Nazwisko i imię

1993 .01. 20

Th. Bretagne

Nr. 000225772
jest link

Wypożyczalnia przyjmuje
zwrot
tylko tej samej pozycji

HANDBUCH

DER

INGENIEURWISSENSCHAFTEN

in fünf Teilen.

Fünfter Teil:

Der Eisenbahnbau.

Ausgenommen Vorarbeiten, Unterbau und Tunnelbau.

Herausgegeben

von

F. Loewe und Dr. H. Zimmermann.

Zweiter Band.

Zweite, vermehrte Auflage.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1906.

Staatsbauschule Memel
Bestandverz. 1613
Nr. No III 65

DER

EISENBAHNBAU.

Ausgenommen Vorarbeiten, Unterbau und Tunnelbau.

V. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften.

Zweiter Band:

Berechnung, Konstruktion, Ausführung und Unterhaltung des Oberbaues.

SZKOŁA INŻYNIERSKA
BIBLIOTEKA
w Szczecinie

Bearbeitet von

Hermann Zimmermann, Alfred Blum, Hermann Rosche,

herausgegeben von

F. Loewe
Ord. Professor
an der technischen Hochschule
in München

und

Dr. H. Zimmermann
Wirklicher Geheimer Oberbaurat
und vortragender Rat im Ministerium der
öffentlichen Arbeiten in Berlin.

Zweite, vermehrte Auflage.

Mit drei Tafeln, 296 Abbildungen im Text und ausführlichem Namen- und Sachverzeichnis.

Staatsbauschule Bücherei Memel

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1906.

625.14

Biblioteka Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie

CZ - III. 901/2

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung,
sind vorbehalten.

Vorwort.

Da die erste Auflage dieses Bandes den Beifall der Fachgenossen gefunden hatte, lag kein Grund vor, an der Einteilung und Behandlung des Stoffes wesentlich zu ändern. Dagegen ist selbstverständlich darauf Bedacht genommen worden, Veraltetes auszusondern und alle wichtigeren neuen Erfindungen und Erfahrungen in den Kreis der Besprechung zu ziehen. Es ist nicht zu verkennen, daß das Verständnis für die Bedingungen einer guten Oberbauanordnung im letzten Jahrzehnt erfreuliche Fortschritte gemacht hat; diese Klärung der Anschauungen dürfte auch in der vorliegenden neuen Auflage zum Ausdruck gekommen sein. Im zweiten Kapitel hat außerdem eine teilweise Umordnung zu dem Zwecke stattgefunden, verwandte Gegenstände mehr zusammen zu bringen und dadurch die Übersicht zu erleichtern. Manche Anordnungen, die früher noch eine eingehendere Behandlung erfahren hatten, konnten hierbei dem geschichtlichen Teile überwiesen und kurz erledigt werden. So ist es gelungen, das Buch reichhaltiger zu gestalten, ohne seinen Umfang erheblich zu vermehren. Möge es jetzt eine ebenso freundliche Aufnahme finden, wie bei seinem ersten Erscheinen!

Berlin und München, im Februar 1906.

Die Herausgeber.

Inhaltsübersicht.

Zweiter Band.

I. Kapitel.

Berechnung des Oberbaues.

Bearbeitet vom Wirklichen Geheimen Oberbaurat Dr.-Ing. Dr. Hermann Zimmermann in Berlin.

(Hierzu 29 Textabbildungen.)

Seite

§ 1. Grundlagen und Ziel der Berechnung 1
§ 2. Die Wirkungsweise der Oberbautelle.
a. Die Schiene 4
b. Die Schienenunterlagen 5
c. Die Bettung 6
d. Die Laschen und sonstigen Verbindungsmittel 8

A. Senkrechte Belastung.

§ 3. Die Berechnung der Schienenunterlagen im allgemeinen. 8
§ 4. Der endlose Stab mit durchgehender elastischer Unterstützung (Schiene und Langschwelle) 13
§ 5. Die Eigenschaften der Einflußlinien des endlosen Stabes mit durchgehender elastischer Unterstützung 17
a. Stetigkeitsunterbrechungen, die einer Querkraft gleichwertig sind 20
b. Stetigkeitsunterbrechungen, die einem Moment gleichwertig sind 21
§ 6. Der elastisch gelagerte Stab von endlicher Länge mit beliebig verteilten Einzellasten 22
§ 7. Der elastisch gelagerte Stab von endlicher Länge mit symmetrischer Belastung . . . 24
§ 8. Der elastisch gelagerte Stab von endlicher Länge mit zwei gleichen und gleichweit von der Mitte abstehenden Lasten (Querschwelle) 27
§ 9. Der Stab auf elastischen Einzelstützen. Allgemeine Entwicklung der Grundformeln . 29
§ 10. Der Stab auf elastischen Einzelstützen mit gleichen Mittelfeldern (Schienen auf Querschwellen) 35
§ 11. Der Stab auf elastischen Einzelstützen in gleichem Abstande (Näherungsverfahren für die Schienen auf Querschwellen) 40
§ 12. Anwendungen 43
Beanspruchung der Schiene 45
Druck der Schiene auf die Unterlagen 47
Senkungen der Stützpunkte und Durchbiegung der Schiene 48
Die Größen B, D und γ 49
§ 13. Die Wirkungsweise der Schienenlaschen und allgemeine Berechnung der Laschendrücke 50
§ 14. Die Berechnung der Laschen für Langschwellen- und Querschwellen-Oberbau 56

B. Wagerechte Belastung.

§ 15. Verhältnis der Seitenkräfte zur senkrechten Belastung. Angriffspunkt der Mittelkraft. Einfluß auf die Beanspruchung des Oberbaues 61
Übersicht der wichtigsten in vorstehendem Kapitel regelmäßig angewendeten Bezeichnungen und der Stellen, wo sie zuerst vorkommen 67
Fachschriften. 68

II. Kapitel.

Konstruktion des Oberbaues.

Bearbeitet vom Geheimen Oberbaurat Alfred Blum in Berlin.

(Hierzu 246 Textabbildungen.)

I. Geschichtliche Einleitung.

Seite

§ 1. Vorgeschichtliches. Einführung des Spurrandes 69
§ 2. Einführung gußeiserner Schienen und des Spurkranzes 69
§ 3. Entwicklung der Schienenformen, der Schienenunterlagen und der Befestigungsmittel. 70
a. Entwicklung des Stuhlschienenoberbaues 71
b. Entwicklung des Oberbaues mit Breitfußschienen 73
§ 4. Verschiedene Oberbauarten, die trotz zeitweiser großer Verbreitung als verlassen gelten
a. Flachschienenoberbau 73
b. Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau.
1. Langschwellenoberbau mit Brückschienen 74
2. Langschwellenoberbau von Hilf, Menne, Hohenegger und Haarmann 74
3. Schwellenschienenoberbau 79
§ 5. Rückblick 81

II. Allgemeines über die Konstruktionsgrundlagen und Systeme.

§ 6. Allgemeine Konstruktionsgrundlagen 82
§ 7. Besondere Konstruktionsgrundlagen 85
§ 8. Spurweite. Grundsätze für die Bemessung der Spurerweiterung und der Schienenüberhöhung.
a. Spurweite 87
b. Spurerweiterung 88
c. Schienenüberhöhung 93
§ 9. Die verschiedenen Oberbausysteme 102

III. Die Schiene.

§ 10. Stoff der Schiene; Ansprüche an die Güte des Stoffes. Dauer der Schienen.
a. Arten und Unterschiede des Stoffes 105
b. Schweißeisen und Schweißstahl 106
c. Flußeisen und Flußstahl 106
d. Die Anforderungen, die in den verschiedenen Ländern an die Güte des Schienenstahles gestellt werden 107
e. Maß der Festigkeit 110
f. Abnutzung und Dauer der Schienen 112
§ 11. Zurichtung, Fertigstellung und Abnahme der Schienen.
a. Zurichtung und Fertigstellung 113
b. Abnahme 115
§ 12. Form und Abmessungen des Schienenquerschnittes. Schienengewicht.
a. Allgemeines 116
b. Die Form des Schienenkopfes.
1. Die Form der von den Rädern berührten Kopfteile 116
2. Übergang vom Kopf zum Steg 120
3. Verhältnis zwischen der Breite und der Höhe des Schienenkopfes 120
c. Die Gesamtform des Schienenquerschnittes.
A. Breitfußschienen.
1. Querschnittsgestalt; Massenverteilung 122
2. Vielgestaltigkeit der Schienen; Schienenverstärkung 125
B. Stuhlschienen 131
C. Schwellenschienen 133
D. Gewicht und Leistungsfähigkeit der Breitfuß- und Stuhlschienen 133

Seite

§ 13. Länge der Schienen.
a. Schienen gewöhnlicher Länge 138
b. Größere Schienenlängen 140
c. Gekürzte Schienen; Ausgleichschienen 140
§ 14. Neigung der Schienen 143

IV. Die Schienenunterlagen.

§ 15. Einteilung 144

A. Holzquerschwellen.

§ 16. Holzarten; deren Verhalten und Wert 145
§ 17. Maß und Form der Schwellen 146
§ 18. Abstand der Schwellen 148
§ 19. Herstellung und Zubereitung der Schwellen 150
§ 20. Tränken der Schwellen.
a. Zweck des Tränkens; Ursache des natürlichen Holzverderbs 152
b. Die verschiedenen Tränkungsverfahren 153
1. Tränken mit Quecksilbersublimat 153
2. Tränken mit Kupfervitriol 153
3. Tränken unter Hochdruck 153
α. Zinkchlorid 154
β. Teeröl 155
γ. Zinkchlorid und Teerölzusatz 156
δ. Sonstige Tränkungsverfahren 157
c. Einfluß des Tränkens auf Gewicht und Beschaffenheit der Schwellen. Aufnahme an Tränkungsmasse 157
d. Verbreitung und Kosten 158
§ 21. Verhalten und Dauer der rohen und der getränkten Schwellen 160

B. Eiserne Querschwellen.

§ 22. Entwicklung der Querschnittsform 164
§ 23. Die heutigen Querschnittsformen 166
§ 24. Länge und Längenform 168
§ 25. Lochen der Schwellen 171
§ 26. Form der Schwellen in Hinsicht auf die Forderungen des Walzens und des Unterstopfens 172
§ 27. Gewicht, Material und Leistungsfähigkeit. Vergleich mit Holzschwellen 173

C Querschwellen aus anderen Stoffen.

§ 28. Eisenbetonschwellen usw. 178

D. Einzelunterstützungen.

§ 29. Steinwürfel 178
§ 30. Eiserne Einzelunterstützungen 179
§ 31. Einzelunterstützungen aus anderen Stoffen 181

V. Befestigung der Schienen auf den Unterlagen, sowie der Schienen und Schwellen untereinander.

§ 32. Befestigung der Schienen auf Stein- und Holzunterlagen.
a. Befestigung auf Steinunterlagen 181
b. Unterlagsplatten und Schienenstühle bei Holzschwellen.
1. Unterlagsplatten 182
2. Schienenstühle 188
c. Die Befestigung der Schienen, Unterlagsplatten und Stühle auf den Schwellen.
1. Nägel 189
2. Holzschrauben 193
3. Schrauben mit Muttern 194
4. Hartholzdübel in Weichholzschwellen 194
d. Die Befestigung der Schienen auf den Unterlagsplatten und in den Stühlen . . . 195
e. Mittel zur Herstellung und Sicherung der Spur 196

Seite

§ 33. Befestigung der Schienen auf Eisenunterlagen.
a. Befestigung auf eisernen Querschwellen.
1. Breitfußschienen . . . 198
2. Stuhlschienen . . . 205
b. Befestigung auf eisernen Langschwellen. Querverbindungen . . . 206
c. Befestigung auf eisernen Einzelunterstützungen. Querverbindungen . . . 207
d. Befestigungsmittel beim Schwellenschienenoberbau . . . 207
§ 34. Mittel gegen das Wandern der Schienen und des ganzen Gleises . . . 208
§ 35. Mittel gegen das Lockern der Schraubenmuttern . . . 212
§ 36. Befestigung der Schienen untereinander; Schienenstoß; beim Langschwellenoberbau auch Schwellenstoß.
a. Stoßlage.
1. Ruhender Stoß und schwebender Stoß . . . 215
2. Gleichstoß und Wechselstoß . . . 222
b. Stoßausrüstung.
1. Ergänzung der Tragfähigkeit durch Laschen.
α. Laschenquerschnitt . . . 223
β. Bearbeitung der Laschen; Laschenschrauben . . . 229
γ. Verlaschung beim Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau . . 231
2. Laschen besonderer Form.
α. Verschleiß des gewöhnlichen Laschenstoßes . . . 232
β. Laschen mit Arbeitsleisten . . . 233
γ. Laschen mit Keil unter dem Schienenfuß . . . 234
δ. Radtragende Laschen; Laschenschienen . . . 234
3. Überblattung der Schienen . . . 236
4. Stoßbrücken . . . 240
c. Vergleich über die Leistungsfähigkeit verschiedener neueren Laschenstöße . . 245

VI. Die Bettung und die Entwässerung des Oberbaues.

§ 37. Notwendigkeit und Beschaffenheit der Bettung . . . 249
§ 38. Wert der Bettung; Bettungsdruck; Bettungsziffer . . . 251
§ 39. Allgemeine Gestalt des Bettungskörpers . . . 253
§ 40. Abmessungen des Bettungskörpers. Verhalten der Bettung bei verschiedenen Oberbauarten . . . 255
§ 41. Entwässerung des Gleises und der Bettung.
a. Oberflächenentwässerung . . . 259
b. Besondere Entwässerungsanlagen . . . 259

VII. Der Oberbau als Ganzes.

§ 42. Einleitung . . . 261
§ 43. Querschwellengleise. Vergleich zwischen Gleisen mit Stuhlschienen und mit Breitfußschienen . . . 261
§ 44. Langschwellen- und Schwellenschienengleise; Vergleich mit Querschwellengleisen . . . 270
§ 45. Schutzmittel gegen Entgleisungen in besonderen Fällen . . . 272
§ 46. Schlußbetrachtungen . . . 274
Fachschriften . . . 275

III. Kapitel.

Ausführung und Unterhaltung des Oberbaues.

Bearbeitet von Hermann Rosche, Generaldirektor der Außig-Teplitzer Eisenbahn in Teplitz-Schönau.

(Hierzu Tafel I bis III und 21 Textabbildungen.)

§ 1. Einleitung . . . 276

I. Die Ausführung des Oberbaues.

§ 2. Absteckungsarbeiten . . . 278
§ 3. Gewinnung und Verteilung des Bettungsstoffes. Herstellung des Bettungskörpers . . 282

Seite

§ 4. Beförderung der Oberbauteile auf der Strecke 294
§ 5. Verlegen des Oberbaues 296

A. Querschwellenoberbau.

1. Auslegen der Schwellen und Unterlagsplatten 297
2. Auslegen und Zurechtrücken der Schienen 298
3. Einlegen der Stoßbleche; vorläufige Verlaschung der Schienen 298
4. Nageln und Festschrauben der Schienen; Vorbohren der Schwellen 300
5. Unterstopfen der Schwellen, Heben und Richten des Gleises 301
6. Vervollständigen der Schienenverlaschung, Nachstopfen und Verfüllen des Gleises 302
7. Oberbaulegen auf eisernen Brücken 303
8. Oberbaulegen auf Wegeübergängen 304
9. Oberbaulegen in Krümmungen.
   a. Biegen der Schienen 304
   b. Länge und Verteilung der Bogenschienen 305
   c. Spurerweiterung und Überhöhung 305
10. Verlegen von Arbeitsgleisen, Bau eines zweiten Gleises 306

B. Langschwellenoberbau 307

C. Schwellenschienenoberbau 307

§ 6. Oberbauwerkzeuge und Geräte.
   a. Werkzeuge und Geräte für die Beförderung der Oberbauteile 309
   b. Werkzeuge und Geräte für das Anarbeiten und Zurichten 310
   c. Werkzeuge und Geräte für die Herstellung und Unterhaltung 311
   d. Geräte zum Messen und Prüfen der richtigen Lage und des Verhaltens des Oberbaues 313
   e. Erfordernis an Geräten beim Neulegen und für die Unterhaltung der Gleise . . . 315

II. Die Unterhaltung des Oberbaues.

§ 7. Verhalten des Oberbaues während des Betriebes.
   a. Allgemeines 317
   b. Lotrechte und wagerechte Bewegungen des Gleises 320
   c. Längsverschiebungen des Gleises (Wandern) 328
   d. Einfluß der Witterung 330
   e. Veränderungen der Bettung 333
§ 8. Abnutzung und Dauer der Schwellen.
   a. Holzschwellen 334
   b. Eisenschwellen 347
§ 9. Abnutzung und Dauer der Schienen und Befestigungsmittel.
   a. Abnutzung und Dauer der Schienen im allgemeinen 350
   b. Schienenstatistik des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen 352
   c. Internationale Schienenstatistik 353
   d. Abhängigkeit der Schienendauer von verschiedenen Einflüssen. Ergebnisse der Statistik.
      1. Die Güte des Schienenstoffes, die Herstellungsart der Schienen und ihre Behandlung beim Versenden und Verlegen 354
      2. Die Art der Gleisanordnung und die Sorgfalt der Gleisunterhaltung . . . 358
      3. Die über die Schienen gerollte Last, die Radbelastung der Fahrzeuge, die Zahl und Fahrgeschwindigkeit der Züge 359
      4. Die Bauart der Fahrzeuge und die Sorgfalt ihrer Erhaltung 360
      5. Die Neigungs- und Krümmungsverhältnisse 360
      6. Die Witterungs- und örtlichen Verhältnisse 362
   e. Schienenbrüche 363
   f. Abnutzung der Schienenverbindungs- und Befestigungsmittel 367
§ 10. Ermittlung der Schienendauer.
   a. Berechnung nach der Auswechslung.
      1. Vereinsstatistik 368

Seite

2. Berechnungsweise von Stockert 369
3. Vergleich mit der tatsächlichen Dauer 370
b. Berechnung nach der Abnutzung 370
c. Vorrichtungen zum Messen der Schienenabnutzung.
1. Vorrichtungen, bei denen die Kopfform mit Stichmaß bestimmt wird 372
2. Vorrichtungen, die die Kopfform aufzeichnen 373
3. Vorrichtungen, die nur die Höhenverminderung in der Kopfmitte messen . . 374
§ 11. Unterhaltung des Oberbaues im allgemeinen.
a. Aufgaben der Oberbauunterhaltung 374
b. Überwachung des Gleiszustandes und Arten der Oberbauunterhaltung 375
c. Veranschlagung der jährlichen Unterhaltungskosten 379
§ 12. Die einzelnen Arbeiten der Oberbauunterhaltung.
a. Durchführung der gewöhnlichen Unterhaltungsarbeiten 381
1. Instandhaltung der Bettung 384
2. Behebung von Mängeln in der Schienenbefestigung und Schienenverbindung 384
3. Berichtigung der Spurweite 385
4. Berichtigung seitlicher Verschiebungen 385
5. Berichtigung von Längsverschiebungen 386
6. Berichtigung der Höhenlage 386
7. Erneuerung schadhaft gewordener Teile 387
b. Umbau eines Gleises 389
c. Verstärkung eines Gleises 391
§ 13. Kosten der Herstellung des Oberbaues.
a. Die Herstellungskosten im allgemeinen. Abhängigkeit von verschiedenen Einflüssen.
1. Die Bauart des Gleises 392
2. Beschaffungspreise 394
3. Arbeitslohn, Jahreszeit usw. 400
b. Herstellungskosten des Querschwellenoberbaues für Hauptbahnen 402
c. Desgl. des eisernen Langschwellenoberbaues 402
d. Desgl. des Schwellenschienenoberbaues 403
e. Herstellungskosten des Oberbaues vollspuriger Nebeneisenbahnen mit eigenem Bahnkörper 403
§ 14. Kosten der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues.
a. Unterhaltungs- und Erneuerungskosten im allgemeinen 404
b. Tatsächliche Ausgaben.
1. Im Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen 405
2. In Deutschland 406
3. In Österreich-Ungarn 408
4. In anderen Ländern 410
c. Kostenvergleiche für verschiedene Bauarten.
1. Querschwellenoberbau mit Holzschwellen und mit Eisenschwellen 411
2. Eiserner Langschwellenoberbau 414
3. Schwellenschienenoberbau 414
d. Einfluß der Kosten auf den Zeitpunkt des Umbaues 414
e. Wirtschaftlicher Wert einer Bauart; Rücklageberechnung; Rechnungslegung . . . 415
Fachschriften 416
Namenverzeichnis zu allen drei Kapiteln 417
Sachverzeichnis desgl. 420

Berichtigungen 427

1. Kapitel.

Berechnung des Oberbaues[1]).

Bearbeitet vom Geheimen Oberbaurat **Dr. H. Zimmermann** in Berlin.

(Mit 29 Textabbildungen.)

§ 1. Grundlagen und Ziel der Berechnung. — Wenn es sich darum handelt, die Abmessungen eines neu zu entwerfenden Oberbaues festzustellen, so befindet sich der Ingenieur in einer ähnlichen Lage, wie etwa beim Entwerfen einer kleinen Brücke. Denn die Schiene überbrückt tatsächlich die Zwischenräume der einzelnen Querschwellen und übt selbst beim Langschwellenoberbau eine druckverteilende Trägerwirkung aus. Die Schwellen dienen ihrerseits als Auflager, wie die Pfeiler der Brücke. Es ist beim Oberbau wie bei der Brücke darauf Bedacht zu nehmen, daß eine Längsverschiebung des Ganzen durch feste Lager verhütet, daß die freie Ausdehnung und Zusammenziehung bei Wärmewechsel dagegen möglichst wenig behindert wird. An beiden Konstruktionen wirken außer den vorwiegenden senkrechten Lasten auch mehr oder weniger erhebliche Seiten- und Längskräfte. All diesen Einwirkungen muß der Oberbau widerstehen können und deshalb nach ähnlichen Gesetzen angepaßt werden, wie die Brücke. Am augenfälligsten wird die nahe Verwandtschaft durch den Umstand, daß bei den Eisenbahnbrücken ein Zusammenwirken stattfindet, indem der Oberbau die von den Fahrzeugen ausgeübten Kräfte zunächst aufnimmt und ihre Wirkungen auf die Brücke überträgt[2]).

Hiernach könnte es scheinen, als ob beim Oberbau der Berechnung dieselbe Bedeutung zukäme, wie bei der Brücke. Dem ist jedoch nicht so; denn außer den vorher aufgezählten Ähnlichkeiten bestehen auch wesentliche Unterschiede. Daß die Theorie dem unendlich verwickelten Kräftespiel der Natur nicht genau zu folgen vermag, das gilt zwar grundsätzlich für die Brücke wie für den Oberbau. Es ist aber bei der ersteren viel leichter, die einzelnen Wirkungen in Klassen von verschiedener Größenordnung zu bringen, von denen immer die höhere gegen die vorhergehende vernachlässigt werden darf. So kann z. B. bei den meisten eisernen Brücken die Größe, Lage und Richtung des Auflagerdruckes ziemlich genau angegeben werden, während in dieser Hinsicht beim Oberbau wegen der im Verhältnis

[1]) Die Abbildungen 2, 3, 5 bis 7 und 12 bis 24 dieses Kapitels sind dem Werke des Verfassers „Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues", Berlin 1888, Ernst u. Korn (Wilhelm Ernst), die Abbildungen 27, 28 und 29 dem Jahrgange 1892 der Zeitschrift für Bauwesen mit freundlicher Bewilligung des Verlages entnommen.

[2]) Insofern die Bettung ein wesentlicher Teil des Oberbaues ist, gilt das natürlich in aller Strenge nur für Brücken mit übergeführtem Kies- oder Schotterbett.

zur Lichtweite sehr großen Breite und der Wandelbarkeit des Auflagers naturgemäß eine große Unsicherheit herrscht. Aus der Lehre vom Träger auf mehreren Stützen darf als bekannt vorausgesetzt werden, daß eine Abweichung der Höhenlage der einzelnen Stützen von der Rechnung im allgemeinen um so größere Fehler zur Folge hat, je kleiner die Stützweite ist. In dieser Beziehung bildet der Oberbau das äußerste Glied in der Reihe der möglichen Fälle. Neben der Unsicherheit der Stützung ist es aber auch die der Art des Angriffes, die beim Oberbau viel größer ist, als bei der Brücke. Die Lage der Berührungsflächen zwischen dem Rade und dem Schienenkopfe und die Richtung des Druckes, den beide aufeinander ausüben, ist sehr veränderlich und von den Zufälligkeiten der Bewegung während der Fahrt abhängig[3]). Aus denselben Gründen schwankt die Größe jenes Druckes in weiten Grenzen. Ferner bedingen die durch Unstetigkeiten der Bahn verursachten Stöße einen wesentlichen Unterschied; denn die Stoßwirkungen der Räder gehen auf die Schiene in voller Größe, auf die ferner liegenden Tragteile dagegen sehr gemildert über.

Die aufgezählten Umstände haben zur Folge, daß die rechnerische Bestimmung der Maße eines neu zu entwerfenden Oberbaues auf viel größere Hindernisse stößt und dabei unsicherer ist, als die Berechnung einer Brücke[4]). Hierzu kommt aber noch eine weitere, und zwar grundsätzliche Verschiedenheit beider Konstruktionen. Während nämlich in einem gut entworfenen und ausgeführten Brückenkörper gewöhnlich nur elastische Formänderungen auftreten, also gegenseitige Verschiebungen und Reibungen der einzelnen Teile nicht vorkommen, ist es beim Oberbau nicht möglich, die Teile so fest miteinander zu verbinden, daß jede Reibung und daraus entspringende Abnutzung vermieden wird. Infolge davon hängt die Dauer der Brücke fast nur von der ausreichenden Sicherung gegen Rost ab, wogegen der Oberbau außerdem einer verhältnismäßig schnellen mechanischen Zerstörung unterliegt; und zwar nicht nur durch den in früheren Zeiten fast allein beachteten Verschleiß der Lauffläche der Schienen, sondern auch durch die Abnutzung aller Befestigungsmittel, einschließlich der Laschen und der entsprechenden Anlageflächen der Schienen. Daneben geht die allmähliche Zerstörung der Holzschwellen durch Fäulnis und der Bettung durch Witterungseinflüsse, sowie beider durch Druck und Stoß einher. Dieser Vorgang beginnt mit dem ersten Tage der Befahrung und mindert die Leistungsfähigkeit des Gestänges stetig herab, bis sie endlich erschöpft ist. Es ist daher beim Entwerfen eines Oberbaues nicht nur für eine genügende Tragfähigkeit, sondern auch für eine möglichst große Dauer zu sorgen, soweit dies durch Wahl zweckmäßiger Stoffe, Formen und Abmessungen geschehen kann. Hierbei bilden die mit den vorhandenen Anordnungen gemachten Erfahrungen die beste Richtschnur. Und wenn es auch zulässig ist, etwaige Lücken derselben durch eine theoretische Zergliederung der Abnutzungsvorgänge auszufüllen[5]), und von den Er-

---

[3]) S. den Aufsatz des Verf. über die Seitenkräfte zwischen Schiene und Rad in d. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing., Band 34 (1890), Seite 1387.

[4]) Es möge, das Obige ergänzend, auch auf die Schwierigkeit hingewiesen werden, welche gerade beim Oberbau die zweckmäßige Wahl der Beanspruchung bietet. Näheres hierüber findet man in den Aufsätzen d. Verf. zur Frage der Schienenbeanspruchung auf S. 241 und 448 des Zentralblattes der Bauverwaltung für 1891.

[5]) Als Beispiel hierfür kann der Aufsatz des Verf. über den Einfluß der Biegung auf die Abnutzung usw. auf Seite 437 des Zentralbl. der Bauverw. für 1890 dienen. Weitere Beispiele für die Verwertung

gebnissen einer solchen Betrachtungsweise verständigen Gebrauch zu machen, so ist doch klar, daß die unmittelbare Nachahmung bewährter Anordnungen beim Oberbau eine viel größere Rolle spielen muß als bei den Brücken, und daß dagegen die Berechnung — d. h. die Ableitung der erforderlichen Maße aus den mechanischen Grundbedingungen auf theoretischem Wege — sehr zurücktritt. Der Umstand, daß diese Bedingungen nur einem geringen Wechsel unterworfen sind, begünstigt ein solches Verfahren, oder macht dasselbe vielmehr überhaupt erst möglich. So liegen z. B. die Stützweiten beim Querschwellenoberbau im Bereich eines Meters, während Brücken von 100 Meter Weite nicht zu den Seltenheiten gehören. Ebenso verschieden sind natürlich auch die Grenzen, innerhalb deren sich die Größe der aufzunehmenden Last bewegt. Ferner spielt bei der Brücke das stark wechselnde Eigengewicht eine wesentliche Rolle, während es beim Oberbau als Last gar nicht in Betracht kommt. — Schließlich mag zur Vervollständigung des Vergleiches noch die Tatsache Erwähnung finden, daß der Bruch eines Oberbauteiles in der Regel viel weniger verderbliche Folgen für den fahrenden Zug hat, als der Bruch eines Brückengliedes. Es brechen jahraus jahrein viele Schienen, ohne daß dadurch der geringste Unfall entsteht. Auch hieraus folgt, daß eine peinlich genaue Festigkeitsberechnung — vorausgesetzt, daß sie möglich wäre — für den Oberbau von viel geringerer Bedeutung ist, als für die Brücke.

Wir haben bisher angenommen, daß die Aufgabe gestellt sei, einen ganz neuen Oberbau — etwa aus Anlaß einer Änderung in der Betriebsweise — zu entwerfen. Das kommt heutzutage nicht oft mehr vor. Viel häufiger handelt es sich darum, einen vorhandenen Oberbau zu *verbessern*. Das wäre nun nicht schwer, wenn irgendeine der zahlreichen Anordnungen sich vollkommen bewährt hätte. Man brauchte diese dann nur unter Berücksichtigung der etwaigen Unterschiede in den Bau- und Betriebsverhältnissen möglichst genau nachzubilden. Leider liegt aber die Sache nicht so einfach, da es bisher nicht gelungen ist und voraussichtlich auch nie gelingen wird, einen von allen Mängeln freien Oberbau zu erfinden. Gehen doch die Meinungen selbst der erfahrensten Fachleute oft sogar bezüglich der Richtungen, in welchen eine Verbesserung zweckmäßig anzustreben sein würde, weit auseinander[6]). Derartige Meinungsverschiedenheiten werden, wenn man aus der Vergangenheit auf die Zukunft schließen darf, vermutlich nicht durch die praktische Erfahrung allein gehoben werden, sondern es wird dazu besonderer *Versuche* bedürfen, deren zweckmäßige Anordnung und fruchtbringende Verwertung ohne Hilfe der Wissenschaft nicht wohl denkbar ist[7]). Hier ist der Punkt, wo die *Theorie* einsetzen kann und

---

der Theorie zu praktischen Zwecken bietet in großer Zahl die sehr gehaltvolle und lehrreiche große Abhandlung von *Ast* über die Beziehung zwischen dem Gleis und den Betriebsmitteln auf Seite 3483 u. ff. d. Jahrg. 1892 d. Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses. Daselbst (S. 3718) findet sich auch ein Verzeichnis der einschlägigen Literatur. Ferner sind hier noch zu erwähnen die Abhandlung von *Schroeter* über die Leistungsfähigkeit der gebräuchlichen Oberbauarten im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1894, S. 271 u. ff. und die in Fußnote 32 näher bezeichnete Arbeit von *Blum*, sowie das IV. Kapitel. Die wichtigen Untersuchungen von *Loewe* werden wir in § 12 eingehender erörtern.

[6]) Wir erinnern hier nur an die vor einiger Zeit wieder aufgetauchte Streitfrage, ob die Breitfußschiene oder die Stuhlschiene den Vorzug verdient, und ferner an die günstigere Beurteilung, die der ruhende Stoß neuerdings erfahren hat.

[7]) Versuche und Messungen am Oberbau zu Zwecken der Ermittlung der Beanspruchungen und der Tragfähigkeit sind früher nur selten angestellt worden. Erst in neuerer Zeit hat man dem Gegenstande mehr Interesse entgegengebracht. Als Forscher auf diesem Gebiete erwähnen wir hier *Weber*, der seine

muß. In solchen Fällen wird der Forscher auch vor verwickelten und umfangreichen mathematischen Untersuchungen nicht zurückschrecken dürfen. Eine Anleitung zu derartigen besonderen wissenschaftlichen Forschungen zu geben, ist aber nicht der Zweck des vorliegenden Handbuches, das vielmehr die Bedürfnisse der großen Praxis im Auge zu behalten hat. Wir werden uns deshalb darauf beschränken, hier nur die Grundzüge der Theorie und ihre wichtigsten, zur praktischen Anwendung geeignet scheinenden Ergebnisse vorzuführen, sowie die Quellen zu bezeichnen, aus denen im Bedarfsfalle weitere Belehrung geschöpft werden kann. Die vorstehenden Ausführungen werden dazu beitragen, den Leser einerseits vor einer Überschätzung des Wertes der Rechnungsergebnisse, andrerseits aber auch vor der Ansicht zu bewahren, daß beim Oberbau jede Theorie aussichtslos und entbehrlich sei.

§ 2. Die Wirkungsweise der Oberbauteile. — Für die Berechnung empfiehlt es sich, die einzelnen Teile des Oberbaues gesondert zu behandeln. Da aber jedes Glied das angrenzende beeinflußt, und da erst das Ganze den angestrebten Zweck erfüllt, so möge hier eine kurze Betrachtung des Zusammenwirkens der Oberbauteile voransgeschickt werden.

a. Die Schiene ist der Hauptteil des Oberbaues, da man aus Schienen allein, bei angemessener Ausbildung, ein brauchbares Gleis herstellen kann. Die Schiene hat erstens den Zweck, die Unebenheiten des die Fahrzeuge tragenden Erdkörpers in höherem Grade auszugleichen, als es durch eine andere Glättung der Oberfläche (mittels Beschotterung, Pflasterung usw.) möglich sein würde. Sie leistet dies vermöge ihrer Wirkung als Träger, der auf den Erhöhungen aufliegt und die Vertiefungen überbrückt; und zwar bildet sie im allgemeinen einen durchgehenden Träger auf sehr vielen Stützpunkten. Da diese — seien es die natürlichen oder künstlich hergestellte Punkte — stets nahe beieinander liegen, so ist ihre Höhenlage von großem Einflusse hinsichtlich der Beanspruchung der Schiene durch die Radlasten; es muß daher nicht nur Sorge getragen werden, daß die Stützpunkte beim Verlegen des Gleises möglichst genau in die richtige Höhenlage gebracht und dauernd darin erhalten werden, sondern es ist auch zu berücksichtigen, daß der Stoff, aus dem sie bestehen, nicht vollkommen starr ist, also durch die Belastung selber Höhenänderungen erleidet. Hiernach würde die Schiene als durchgehender Träger mit senkrechter Belastung auf Stützen von veränderlicher Höhe zu berechnen sein.

Die Schiene hat zweitens die Aufgabe, die Fahrzeuge zu lenken, d. h. als Führung zu wirken, von der ebenfalls möglichste Glätte verlangt wird. Das Verhalten der Schiene muß also in wagrechtem Sinne ein ganz ähnliches sein wie in senkrechtem, nur mit dem Unterschiede, daß die wagrechten Führungsdrücke nicht in solcher Bestimmtheit wie die Radlasten gegeben, sondern mehr von Zufälligkeiten abhängig sind und unter Umständen auch ganz verschwinden können. Die wagrechte Trägerwirkung der Schiene tritt daher gegen die senkrechte Wirkung meist erheblich zurück.

Ergebnisse in dem Buche über die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise (Weimar, 1869) niedergelegt hat; ferner Coüard (Revue générale d. Chem. d. fer, Dec. 1887, Juli 1888, Sept. 1889, Aug. 1896); Bräuning (Zeitschr. f. Bauwesen 1892, S. 247; 1893, S. 445; 1896, S. 546; 1900, S. 105; 1904, S. 591; — sodann Ast und Wasiutyński, deren umfangreiche und vielseitige Untersuchungen in den Verhandlungen d. internat. Eisenbahnkongr. (1895 und 1898) und im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., Beilage 1898 u. Ergänzungsheft 1899 veröffentlicht sind. Vgl. auch die Fußnoten 32 u. 52. — Auf die Untersuchungen von Häntschel und Schubert kommen wir an anderer Stelle zurück.

Schließlich muß die Schiene auch imstande sein, Kräfte in ihrer Längsrichtung aufzunehmen und nötigenfalls in solcher Weise auf die Unterlage zu übertragen, daß Verschiebungen, die den ordnungsmäßigen Zustand des Oberbaues stören könnten, vermieden werden. Außer mancherlei zufälligen Kräften wirkt in der bezeichneten Art besonders der Gegendruck, den die Schiene dem Rade beim Anfahren und Anhalten (Bremsen) zu bieten hat.

b. Die Schienenunterlagen. Wenn es, wie schon bemerkt, auch möglich ist, die Schiene unmittelbar in den (angemessen zugerichteten) Boden zu betten, so hat man doch von einer derartigen Anordnung bisher nur ausnahmsweise in besonderen Fällen Gebrauch gemacht, weil sie bei stärkerem Verkehr keine hinreichende Dauer besitzt. Trotz der durch die Steifigkeit der Schiene bewirkten Verteilung sind nämlich die auf die stützenden Flächen wirkenden Druckkräfte meist so groß, daß ihnen die Festigkeit oder der innere Zusammenhang des Bettungsstoffes auf die Dauer nicht gewachsen ist. Um dem abzuhelfen, vergrößert man die Stützflächen durch Einfügung besonderer Unterlagen zwischen Schiene und Bettung[8]). Als solche unterscheidet man bekanntlich Einzelunterlagen, Quer- und Langschwellen. Die statische Wirkung dieser Oberbauteile entspricht ganz derjenigen der Pfeiler einer Brücke: sie verteilen den in einer kleinen (Lager-) Fläche aufgenommenen Druck auf eine größere (Boden-) Fläche.

Die Einzelunterlagen schaffen für die beiden Schienenstränge des Gleises zwei getrennte Reihen von Stützpunkten. Sie sind von gedrungener Form und meistens als Glocken, Schalen oder Kästen aus Gußeisen, zeitweilig auch als Steinwürfel, hergestellt worden. Für Deutschland hat nur die letztere, jetzt verlassene Anordnung einige Bedeutung gehabt. Zu statischen Erwägungen geben uns die Einzelunterlagen keinen Anlaß.

Die Querschwellen unterstützen jeweils zwei gegenüberliegende Punkte der beiden Stränge eines Gleises. Sie sind Körper, deren Länge die übrigen Maße bedeutend überwiegt und die in den erwähnten zwei Punkten dieser Länge von oben belastet sind, während die ganze untere Fläche den Druck der aufgenommenen Last auf die Bettung verteilt. Daraus folgt, daß die Querschwelle, wenn man sie sich mit den an ihr wirkenden Kräften umgedreht denkt, als ein Träger auf zwei Stützen mit verteilter Last betrachtet werden kann. Da sich die Schwelle natürlich unter der Einwirkung dieser Kräfte durchbiegt, die Eindrückung in das Bett also nicht überall dieselbe ist, so muß auch der Gegendruck des letzteren ein ungleichförmiger sein. Außer den senkrechten Kräften hat die Querschwelle auch wagrechte in der Quer- und Längsrichtung des Gleises aufzunehmen, wie sich dies aus dem früher über die Wirkungsweise der Schiene Gesagten ergibt. Diese beiden Arten der Beanspruchung geben indes mehr zu gewissen konstruktiven Maßnahmen, als zu statischen Betrachtungen Anlaß.

Während die Querschwelle als durch Verschmelzung zweier, einander gegen-

[8]) Ein Beispiel für die Verlegung der Schienen ohne Unterlagen ist der Hartwich-Oberbau. Ein anderes Beispiel liefert die Haarmannsche Sehwellenschiene, bei der durch eine starke Verbreiterung des Fußes das Entstehen zu hoher Bettungsdrücke verhindert ist. In neuerer Zeit hat man auch Landstraßen mit Schienen ausgerüstet, die unmittelbar in die Straßendecke eingebettet sind. Hier liegen die Verhältnisse insofern günstiger, als die viel geringeren Raddrucke der Fuhrwerke durch die verhältnismäßig breiten und starken, meist kastenförmigen Schienen hinreichend verteilt werden. S. Zentralbl. d. Bauverwaltung 1898, S. 495; 1904, S. 250; Zeitschr. f. Kleinbahnen 1904, Heft 3: Fuhrwerksgleise.

überliegender Einzelunterlagen entstanden gedacht werden kann, führt die Vereinigung aller zu demselben Schienenstrange gehörigen Unterlagen auf die Langschwelle. Diese stützt also die Schiene nicht nur in einzelnen Punkten, sondern durchlaufend, und beteiligt sich daher naturgemäß an ihren senkrechten Durchbiegungen, also auch an ihrer Tragwirkung. Hinsichtlich des Druckes auf die Bettung wirkt die Langschwelle wie eine Verbreiterung des Schienenfußes; bei dem Schwellenschienen-Oberbau ist sie tatsächlich durch eine solche ersetzt. Was die wagrechten Kräfte betrifft, so gilt hier dasselbe, wie für die Querschwelle.

c. Die Bettung ist das „Fundament" des Oberbaues. Sie hat in statischer Beziehung zwei Bedingungen zu erfüllen: erstens muß der Stoff, aus dem sie besteht, von solcher Festigkeit sein, daß nicht schon in kurzer Zeit eine Zerstörung durch den Druck der Schienenunterlagen herbeigeführt wird; und zweitens müssen die einzelnen Teilchen zwar gegeneinander verschiebbar genug sein, um das Einbringen und Stopfen zu ermöglichen, aber doch auch, nachdem dies bewirkt ist, so fest an- und ineinander haften, daß ein Einsinken des unmittelbar belasteten Körpers in die umgebende Masse nicht stattfinden kann. Der auf die obere Fläche der Bettung wirkende Druck wird dann durch diese auf eine um so größere Fläche des darunter liegenden Bodens verteilt, je größer die Bettungshöhe ist. Durch angemessene Wahl der letzteren läßt sich hiernach der Bodendruck so weit herabmindern, daß das allmähliche Einsinken des ganzen Oberbaues selbst bei weicheren Bodengattungen, wenn auch nicht ganz beseitigt, doch auf längere Zeit hinausgeschoben werden kann. Die hierfür geltenden Gesetze auf theoretischem Wege zu ermitteln, ist nur mit Hilfe von mehr oder minder willkürlichen Annahmen gelungen, so daß die Bettung nicht wohl zum Gegenstande einer zuverlässigen Festigkeitsberechnung gemacht werden kann. Man muß sich einstweilen darauf beschränken, die Bettungshöhe und den Druck, den die Unterlagen auf die Bettung ausüben, in gewissen, erfahrungsmäßig für den betreffenden Stoff als angemessen befundenen Grenzen zu halten [9]).

Da aber dieser Druck und die Formänderung der Bettung insofern sich gegenseitig bedingen, als der Druck, den die Schiene auf ihre Stützpunkte ausübt, von der Höhenlage der letzteren abhängt, so ist es für die Berechnung des ganzen Oberbaues von grundlegender Wichtigkeit, die Beziehung zwischen dem von einer Unterlage auf die Bettung ausgeübten Druck und der zugehörigen Einsenkung wenigstens ungefähr zu kennen. Diese Beziehung wird im wesentlichen durch die Beschaffenheit der Bettung und des Untergrundes, zum Teil auch durch die Art der Belastung bestimmt und kann natürlich nur durch Versuche gefunden werden. M. M. von Weber ist der erste Forscher, der in dieser Richtung tätig gewesen ist; die von ihm angestellten und im Jahre 1869 veröffentlichten Messungen haben jedoch nur wenig brauchbare Ergebnisse geliefert. Erst durch die im Auftrage der Verwaltung der Reichseisenbahnen im Jahre 1877 von G. Häntzschel ausgeführten Untersuchungen ist die Frage so weit geklärt worden, daß mit Aussicht auf Erfolg zu einer rechnungsmäßigen Behandlung des Oberbaues geschritten werden konnte. Im Jahre 1888 sind dann diese Untersuchungen wieder aufgenommen und in plan-

[9]) Hierfür sind die Untersuchungen Schuberts über die Umbildungen und die Tragfähigkeit des Planums — Zeitschrift für Bauwesen, 1889, S. 555; 1891, S. 62 — und über den Einfluß des Querschnittes einer Eisenbahnschwelle auf den Kiesverbrauch — daselbst, 1896, S. 79 — von Bedeutung. S. auch daselbst 1897, S. 207 u. Org. f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897, S. 116 u. 133; ferner die schon erwähnte Abhandlung von Bräuning das. 1904, S. 591.

mäßig erweitertem Umfange durchgeführt worden[10]). Wir können hier auf die Einzelheiten nicht näher eingehen, sondern müssen uns begnügen, diejenigen Ergebnisse anzuführen, die inzwischen als Grundlage für die Berechnung des Oberbaues benutzt worden sind, wobei wir bemerken, daß sie bis jetzt noch unverändert in Geltung stehen.

Aus den Messungen Häntzschels folgt zunächst, daß sich die Schienenunterlagen bei den im Betriebe vorkommenden Belastungen ganz beträchtlich in die Bettung eindrücken, daß also die Annahme einer vollkommen starren Auflagerung zu großen Fehlern führen würde. Ferner lehren die Versuche in Übereinstimmung mit theoretischen Betrachtungen, daß die durch einmalige Belastung erzeugten Formänderungen des Bettes bei Gleisen, die durch wiederholtes Befahren und Stopfen in einen gewissen Beharrungszustand gelangt sind, unter gewöhnlichen Umständen fast nur elastische sein können, daß dagegen die im Betriebe beobachteten bleibenden Senkungen wahrscheinlich größtenteils Folge des oftmals wiederholten Lastwechsels, also Dauererscheinungen sind, die für die Berechnung des Einflusses einer einmaligen Belastung nicht in Betracht kommen. Dieser Umstand ermöglicht es, die Einsenkung eines bestimmten Punktes einer Schienenunterlage in die Bettung bei gegebener Belastungsweise der Größe der Last proportional zu setzen. Dies reicht zur Berechnung des Oberbaues aus, wenn die Unterlage sehr steif, die Senkung in allen Punkten derselben also wenigstens annähernd gleich ist, wie das etwa bei den Einzelunterlagen der Fall sein würde. Bei den Querschwellen und noch mehr bei den Langschwellen ist dagegen die Annahme völliger Starrheit so wenig zutreffend, daß die aus der Verschiedenheit der Senkung der einzelnen Punkte entspringende Ungleichheit des Flächendruckes nicht außer acht bleiben darf.

Es liegt nun nahe, das, was für den ganzen Bereich einer starren Fläche als zulässig erkannt ist, auf die einzelnen Teile einer biegsamen Fläche auszudehnen, also anzunehmen, daß bei einer solchen in jedem Punkte der Druck p auf die Flächeneinheit der Senkung y dieses Punktes proportional sei, daß also

$$p = Cy \tag{1}$$

[10]) Die ersten Versuche sind vom Verfasser in dem Aufsatze über die Wirkungsweise der Bettung im 5. Heft des Organs f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. für 1888 beschrieben und eingehend besprochen worden, wobei auch die in der Wirklichkeit auftretenden Abweichungen von den oben mitgeteilten allgemeinen Ergebnissen erörtert sind. — Über die 1888 ausgeführten Versuche hat Häntzchel selbst im 4. Heft des Organs für 1889 berichtet. — S. auch das IV. Kap. des vorliegenden Bandes. — Die Versuche und Messungen, die Flamache angestellt hat, scheinen insofern nicht einwandfrei, als der Stützpunkt seiner Meßvorrichtung nicht hinlänglich gegen Verschiebungen gesichert war. (Derselbe Umstand war schuld an der geringen Brauchbarkeit der vorher erwähnten Messungen M. M. v. Webers.) S. Verhandl. d. internat. Eisenbahnkongresses f. 1903, S. 905. Die Betrachtungen, die Flamache an seine Messungen geknüpft hat, können deshalb nicht als stichhaltig anerkannt werden. Dies gilt besonders hinsichtlich seiner Kritik der gebräuchlichen, oben erörterten Berechnungsweise. Die Einwürfe, die er gegen diese erhebt, sind teils schon durch die eben erwähnten Untersuchungen im „Organ“ erledigt, teils beruhen sie auf Mißverständnissen von seiner Seite. Auf die Mängel der Messungsweise hat auch Wasiutynski in den Verhandl. des internat. Eisenbahnkongresses f. 1898, S. 1439 aufmerksam gemacht. Daß die übliche Theorie auf Annahmen beruht, die nicht in aller Strenge gültig sind, daß sie also nur den Wert einer Näherung beanspruchen darf, ist übrigens oben in § 1 deutlich ausgesprochen. In dieser Hinsicht kann den Bemerkungen beider Forscher nur rückhaltlos zugestimmt werden. Vgl. auch die folgende Fußnote und den im Engineering vom 2. Sept. 1904 (Seite 312: On rail stresses) über die Messungen von Flamache und Dudley erstatteten Bericht. Letzterer hat seine Ergebnisse in der Railroad Gazette, 1903, S. 86, und neuerdings in den Verhandl. des internat. Eisenbahnkongr. f. 1904, S. 2067 u. 2078 mitgeteilt.

gesetzt werden dürfe. Die Richtigkeit oder den Näherungsgrad dieser Gleichung durch unmittelbare Messungen zu erproben, würde schwierig sein. Man hat deshalb bis jetzt die gute Übereinstimmung, die sich zwischen den aus der Gleichung (1) auf theoretischem Wege gefolgerten und den gemessenen Formänderungen verschiedener Arten von Oberbau ergeben hat, als ausreichende Bestätigung der Zulässigkeit der in Rede stehenden Annahme und der ihr entsprechenden, als Ausgangspunkt für alle Oberbauberechnungen dienenden Gleichung (1) gelten lassen[11]). Die Größe C ist vorwiegend von der Beschaffenheit der Bettung (in nicht unbeträchtlichem Grade allerdings auch von der des Untergrundes) abhängig und deswegen mit dem Namen Bettungsziffer belegt worden. Ihr Wert ist ein ziemlich schwankender, so daß es angezeigt erscheint, ihn nur mit ganz abgerundeten Zahlen in die Rechnung einzuführen; und zwar kann nach den Messungen auf den Reichseisenbahnen in ungünstigen Fällen etwa $C = 3$, bei sehr guter Bettung und festem Untergrunde aber höchstens $C = 8$ gesetzt werden, wobei als Maßeinheiten das Zentimeter und das Kilogramm zu benutzen sind. $C = 5$ will hiernach z. B. besagen, daß ein Bettungsdruck von 5 kg/qcm erforderlich ist, um eine Senkung von 1 cm herbeizuführen.

d. Die Laschen und sonstigen Verbindungsmittel sind der Berechnung nur schwer zugänglich und deshalb bisher meist mehr nach den Bedürfnissen der Praxis, als nach statischen Gesichtspunkten ausgebildet worden. Ihre Wirkungsweise ergibt sich teils unmittelbar aus der Anschauung, teils ist sie, wie bei den Laschen, eine so verwickelte und veränderliche, daß wir hier von einem näheren Eingehen Abstand nehmen und uns damit begnügen müssen, sie im Zusammenhange mit den Rechnungsregeln kurz zu besprechen, soweit sich solche überhaupt geben lassen.

A. Senkrechte Belastung.

§ 3. Die Berechnung der Schienenunterlagen im allgemeinen. — Nach dem Vorausgehenden ist eine Schienenunterlage — sei es nun eine Lang- oder eine Querschwelle — als ein biegsamer Stab aufzufassen, der auf einer elastischen, stetigen Masse ruht und eine oder mehrere Lasten trägt. Die von diesen ausgeübten Drücke können senkrecht oder auch schräg wirken, während rein wagrechte

---

11) Eine genauere Untersuchung des Vorganges der Eindrückung lehrt, daß des inneren Zusammenhanges der Teile wegen der Druck auf ein Flächenteilchen nicht nur von der Formänderung an der betreffenden Stelle, sondern auch von der Formänderung der Umgebung abhängig sein muß. Hieraus folgt, daß die Zahl C eigentlich keine unveränderliche Größe sein kann, sondern daß sie vielmehr von der Gestalt und den Abmessungen des gestützten Körpers abhängig sein muß. Die Wahrnehmungen einzelner Beobachter haben dies auch bestätigt. Schon Häntzschel hat a. a. O. hierauf hingewiesen. Noch eingehender hat sich Wasiutynski mit dieser Frage beschäftigt, auf deren weitere Erörterung wir hier verzichten müssen. Vergl. dessen ausführliche Abhandlung im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, Ergänzungsheft. Die von ihm mit einer sehr vollkommenen Einrichtung angestellten Versuche haben wesentlich zur Bereicherung unserer Kenntnisse über das statische Verhalten des Oberbaues beigetragen und sind daher von großem Werte, wenn auch nicht allen Folgerungen zugestimmt werden kann, die Wasiutynski daraus gezogen hat. — Im allgemeinen weichen die Ergebnisse der Versuche Wasiutynskis nicht so weit von den theoretischen ab, daß man daraus die Unbrauchbarkeit der hier vorgetragenen Theorie folgern dürfte. Im einzelnen Fall kann sogar eine gute Übereinstimmung erreicht werden, wenn man für die in die Rechnung einzusetzenden Festwerte nicht Durchschnittszahlen, sondern durch besondere Versuche bestimmte Werte einsetzt. Die Gleichung (1) gilt hiernach nicht in aller Strenge; ihr Näherungsgrad darf aber als genügend bezeichnet werden.

Kräfte gewöhnlich nicht vorkommen. Die schrägen Drücke kann man in ihren Angriffspunkten nach bekannten Regeln in drei Achsenrichtungen zerlegen; man wird dann meist finden, daß die senkrechten Teilkräfte nicht nur die anderen bedeutend überwiegen, sondern auch wesentlich sicherer ihrer Größe nach zu bestimmen sind, und daß die Beanspruchung des Schwellenquerschnittes und der Bettung vorwiegend gerade durch die senkrechten Kräfte bedingt ist.

Die maßgebenden senkrechten Kräfte entspringen hauptsächlich aus den ziemlich genau bekannten Radlasten der Lokomotiven, neben denen insbesondere das Eigengewicht des Oberbaues unbedenklich außer acht gelassen werden darf. Infolge der Wirkung der Gegengewichte und des Federspieles, sowie der Massenkräfte der unter den Federn liegenden Teile können die von den Rädern während der Fahrt ausgeübten Drücke zwar jenen Lasten nicht ohne weiteres gleich, und strenggenommen auch nicht einmal proportional gesetzt werden; vielmehr lehrt die Rechnung und die Beobachtung gleichmäßig, daß ein schnell bewegtes Fahrzeug erheblich größere Drücke erzeugen kann, als wenn es ruht. Die Grenzen hierfür festzustellen oder den Einfluß der Geschwindigkeit allgemein zu ermitteln, ist aber nicht Aufgabe der Oberbautheorie. Für die Zwecke der letzteren genügt es, mit einer Last von unbestimmter Größe zu rechnen und ihren Zahlenwert im Einzelfalle auf Grund weiterer Erwägungen oder von Messungen festzusetzen. Nicht selten wird es ausreichen, die Ruhelast mit einem geschätzten Zuschlage in Rechnung zu stellen[12]).

Die wagrechten Kräfte quer zur Bahnrichtung sind teils Führungsdrücke, teils Folge zufälliger Seitenwirkungen, wie z. B. des Windes, oder von Unregelmäßigkeiten der Bahn. Sie beanspruchen die Querschwelle unter Umständen (in sehr geringem Grade) auf Zug und Druck, die Langschwelle auf Verdrehung und Verbiegung und wirken auf beide im Sinne einer Verschiebung in der Querrichtung. Sie vermögen die Gleislage insbesondere bei stoßweisem und oft wiederholtem Wechsel wohl auf die Dauer erheblich zu beeinflussen, können aber bei der Festigkeitsberechnung der Schwelle als zu geringfügig vernachlässigt werden. Man begnügt sich, sie durch möglichst tiefen Eingriff (der Schwellenköpfe bei der Querschwelle und der Längsrippen bei der Langschwelle) in die Bettung unschädlich zu machen. Die wagrechten Kräfte in der Längsrichtung der Bahn sind zwar für die Schienenbefestigung von Wichtigkeit, spielen aber in der Berechnung der Schwelle eine noch untergeordnetere Rolle, als die quergerichteten Kräfte. Bei beiden Arten würde eine genauere Bestimmung des Einflusses die Berücksichtigung der Höhenlage der Angriffspunkte und damit sehr verwickelte Untersuchungen erfordern[13]).

Wir berücksichtigen demgemäß hier nur eine senkrechte Belastung der Schienenunterlagen und nehmen ferner an, daß die Kraftrichtung durch den Schwerpunkt des Angriffsquerschnittes gehe, also mit seiner senkrechten Hauptachse zusammenfalle. Dann erleidet die Stabachse nur senkrechte Verbiegungen und übt die Bettung auch nur senkrechte Gegendrücke aus[14]). Bezeichnen wir für einen Quer-

---

[12]) So hat z. B. Wöhler zur Berücksichtigung des Einflusses der Schwingungen eine Erhöhung der rechnungsmäßigen Ruhelast um $^3/_8$ ihres Wertes in Vorschlag gebracht. Loewe folgert aus Versuchen M. M. v. Webers eine Erhöhung der senkrechten Lastwirkung durch Schwingungen um 0,25 der Ruhelast; den Einfluß der in gekrümmter Bahn bewegten Massen und der Stoßwirkungen findet er durch einen Rückschluß aus dem Verhalten gebräuchlicher Oberbauarten und Betriebsmittel zu 0,69; der Gesamtzuwachs wäre hiernach = 0,94 der Ruhelast (s. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1883, S. 183 und 186). Ast setzt auf Grund z. T. neuerer Beobachtungen den Einfluß der Federschwingungen = 0,63, der Massenwirkungen und Erschütterungen = 0,21, der Gegengewichte der Lokomotive = 0,50, den gesamten aus der Bewegung möglicherweise entspringenden Zuwachs also = 1,34 der Ruhelast (s. Bulletin de la commiss. internat., 1892, p. 3498).

[13]) Die Wirkung wagrechter Querkräfte ist von Engesser in dem Aufsatze zur Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1888, 3. Heft) und von Schwedler in seinen Beiträgen zur Theorie des Eisenbahn-Oberbaues (Zeitschr. f. Bauw., 1889, S. 383) untersucht. Wegen der durch die Reibung der Unterlagen auf der Bettung erzeugten Kräfte s. die folgende Fußnote.

[14]) Dabei ist allerdings von der geringen Querneigung der Schienen und von dem Einflusse der Reibung abgesehen. Das letztere erscheint um so eher zulässig, als schon der innere Zusammenhang der

schnitt im Abstande x von einem beliebigen Anfangspunkte das Biegungsmoment mit M, die Querkraft mit Q, die entsprechenden Werte für einen zweiten Querschnitt im Abstande $+dx$ vom ersteren mit $M+dM$ und $Q+dQ$, wobei Q die Summe aller der äußeren Kräfte darstellt, die an dem (vom betrachteten Querschnitte aus) in der Richtung $-x$ der Stabachse gelegenen Körperteil angreifen, während diejenige Drehrichtung von M als positiv angenommen wird, die der Wirkung einer im Sinne von $+Q$ gerichteten Kraft entspricht. Bestehen dann die äußeren Kräfte in der Nähe des Querschnittes nur aus einer stetig über die Stabachse verteilten Belastung p für die Flächeneinheit, also bp für die Längeneinheit des Stabes, dessen gedrückte Fläche die Breite b hat, so folgt aus den Gleichgewichtsbedingungen für den betrachteten Stabteil (Abb. 1):

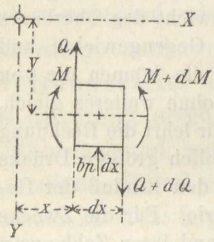


Abb. 1.

$$\frac{dM}{dx} = Q \quad \text{und} \quad \frac{dQ}{dx} = bp,$$

also

$$\frac{d^2M}{dx^2} = \frac{dQ}{dx} = bp.$$

Dabei ist nur vorausgesetzt, daß Q und p in demselben Sinne positiv gerechnet werden. Wir genügen dieser Bedingung, indem wir für die Folge Q sowohl wie p im Sinne des widerstehenden Bettungsdruckes, also in der Richtung nach oben positiv annehmen.

Ferner ist bekanntlich, wenn das Elastizitätsmaß des Schwellenstoffes mit E, das überall gleiche, auf die wagrechte Schwerpunktachse bezogene Trägheitsmoment des Stabquerschnittes mit J bezeichnet wird, allgemein

$$M = -EJ\frac{d^2y}{dx^2},$$

welche Gleichung hinsichtlich der Gültigkeit der Vorzeichen bedingt, daß die Abweichung y der elastischen Linie von der Geraden in derjenigen Richtung negativ gerechnet wird, nach welcher der durch ein positives Moment gekrümmte Stab seine hohle Seite wendet. Es muß daher nach der über das Vorzeichen von Q und M soeben getroffenen Festsetzung eine nach unten gerichtete Abweichung, d. h. eine Senkung als positiv gelten. Durch Wegschaffen von M aus den beiden letzten Gleichungen ergibt sich eine von M und Q freie Beziehung, nämlich

$$EJ\frac{d^4y}{dx^4} = -bp.$$

Dieselbe gilt ganz allgemein für jede beliebige Größe und Verteilung des Bettungsdruckes p. Bestimmen wir nun aber p durch Gleichung (1), so erhalten wir

$$EJ\frac{d^4y}{dx^4} = -Cby \tag{2}$$

als Differentialgleichung der elastischen Linie des zu untersuchenden Stabes. Die zugehörige Integralgleichung sowohl, wie auch alle weiteren Rechnungen werden sehr vereinfacht, wenn man einige abkürzende Bezeichnungen einführt. Setzt man nämlich

---

Bettung (der jedenfalls weit inniger ist, als der durch die Reibung hervorgebrachte Zusammenhang zwischen dem Bettungsstoff und der Schienenunterlage) vernachlässigt wurde. Vergl. S. 8, Fußnote 11. — Ein Versuch, den Einfluß der Reibung zu berücksichtigen, findet sich in dem Beitrage zur Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues von Francke (Zeitschr. d. Arch. u. Ing.-Ver. zu Hannover, 1894, Heft 7).

(3) $$\sqrt[4]{\frac{4EJ}{Cb}} = L \text{ und } \frac{x}{L} = \xi,$$

so geht (2) über in

(4) $$\frac{d^4y}{d\xi^4} = -4y.$$

Es ist wichtig, zu bemerken, daß die unter dem Wurzelzeichen von (3) stehenden Größen Cb und E, mithin auch L und $J^{1/4}$ von gleicher Dimension sind. Demnach ist L eine Länge und ξ ein Längenverhältnis. Wählt man L als die Einheit, mit der die Längen gemessen werden sollen, so kann ξ auch als Länge aufgefaßt und ohne weiteres als Abszisse der durch (4) bestimmten Kurve betrachtet werden.

Wie man durch probeweises Differenzieren leicht bestätigen kann, hat das allgemeine Integral von (4) die Form

(5) $$y = \tfrac{1}{2}\{(U_1 e^{\xi} + U_2 e^{-\xi}) \cos \xi + (V_1 e^{\xi} + V_2 e^{-\xi}) \sin \xi\}.$$

Um die hierin auftretenden Integrationsfestwerte zu bestimmen, sind nähere Festsetzungen über die Art der Belastung des Stabes erforderlich. Als Ausgangspunkt für die weiteren Berechnungen genügt die einfache, in Abb. 2 dargestellte Annahme, daß der Stab, dessen Länge wir mit $2l$ bezeichnen wollen, in der Mitte die Last P trage. Dann ergeben sich die Werte der U und V aus den vier Bedingungen, daß bei A (also für $x = 0$) die elastische Linie wagrecht, die Querkraft $= -\frac{1}{2}P$, und bei B (also für $x = l$) das Biegungsmoment und die Querkraft Null ist[15]). Bei Berücksichtigung der schon oben verwendeten Beziehungen

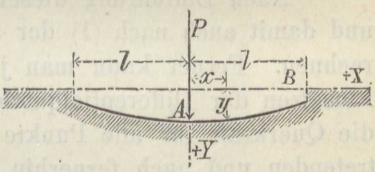


Abb. 2.

$$M = -EJ\frac{d^2y}{dx^2} \text{ und } Q = \frac{dM}{dx} = -EJ\frac{d^3y}{dx^3}$$

und der Gleichungen (3), mit denen diese in

(6) $$M = -\frac{CbL^2}{4}\frac{d^2y}{d\xi^2} \text{ und } Q = -\frac{CbL}{4}\frac{d^3y}{d\xi^3}$$

übergehen, erkennt man leicht, daß den aufgeführten Bedingungen die vier Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \frac{dy}{d\xi} &= 0 \\ -\frac{CbL}{4}\frac{d^3y}{d\xi^3} &= -\tfrac{1}{2}P \end{aligned}\right\} \text{ für } \xi = 0$$

$$\text{und } \left.\begin{aligned} \frac{d^2y}{d\xi^2} &= 0 \\ \frac{d^3y}{d\xi^3} &= 0 \end{aligned}\right\} \text{ für } \xi = \frac{l}{L}$$

entsprechen. Wird zur Abkürzung

(7) $$\frac{l}{L} = \lambda$$

gesetzt, so ergibt sich durch Einführung der vorstehenden besonderen Werte in die allgemeinen Gleichungen, die man durch wiederholtes Differenzieren von (5) erhält,

---

[15]) Die zweite dieser Bedingungen setzt voraus, daß der Schnitt auf der rechten Seite von P geführt wird; andernfalls wäre $Q = +\frac{1}{2}P$. Demgemäß gilt die ganze weitere Entwicklung zunächst nur für die rechte Hälfte des Stabes, d. h. für positive ξ. Mit Rücksicht auf die Symmetrie können aber die Gleichungen für y und M unmittelbar, diejenigen für $dy:dx$ und Q mit Wechsel des Vorzeichens auf die linke Hälfte angewendet werden.

eine Gruppe von vier Gleichungen, aus der die vier Integrationsfestwerte berechnet werden können. Man findet auf diesem Wege, daß die gesuchten Größen in einfacher Weise von P, C, b und L abhängen, aber ziemlich verwickelte Funktionen von λ als Faktoren enthalten, weshalb es sich empfiehlt, für die letzteren eine abkürzende Bezeichnung anzuwenden. Setzt man demgemäß

$$(8)\quad \begin{cases} \dfrac{2+\cos 2\lambda-\sin 2\lambda+e^{-2\lambda}}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda+\sin 2\lambda}=u \\ \text{und} \quad \dfrac{\cos 2\lambda+\sin 2\lambda-e^{-2\lambda}}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda+\sin 2\lambda}=v, \end{cases}$$

so ergeben sich für die gesuchten Größen die Werte

$$U_1=\frac{P}{2\,Cb\,L}u; \quad U_2=\frac{P}{2\,Cb\,L}(2+u);$$
$$V_1=\frac{P}{2\,Cb\,L}v; \quad V_2=\frac{P}{2\,Cb\,L}(2-v).$$

Nach Einführung dieser Werte in die Gleichung (5) läßt sich die Senkung y und damit auch nach (1) der Bettungsdruck p für jeden beliebigen Wert von ξ berechnen. Ferner kann man jetzt aber auch durch wiederholtes Differenzieren und Einsetzen der Differentialquotienten in die Gleichungen (6) das Biegungsmoment und die Querkraft für alle Punkte des Stabes bestimmen. Geben wir den hierbei auftretenden und auch fernerhin häufig vorkommenden Funktionen von ξ die nachstehenden, abgekürzten Bezeichnungen

$$(9)\quad \begin{cases} e^{-\xi}(\cos\xi+\sin\xi)=\eta; & -e^{-\xi}\sin\xi=\eta'; \\ e^{-\xi}(\cos\xi-\sin\xi)=\mu; & -e^{-\xi}\cos\xi=\mu', \end{cases}$$

und nennen wir den Neigungswinkel der elastischen Linie gegen die Wagrechte ν, so liefert das beschriebene Verfahren für den in Abb. 2 dargestellten Belastungsfall die folgenden Gleichungen:

$$(10)\quad \begin{cases} y=\dfrac{P}{2\,Cb\,L}\,(\eta+u\cdot\mathfrak{Cof}\,\xi\cos\xi+v\cdot\mathfrak{Sin}\,\xi\sin\xi); \\ \operatorname{tang}\nu=\dfrac{P}{2\,Cb\,L^2}\,(2\eta'+(u+v)\,\mathfrak{Sin}\,\xi\cos\xi-(u-v)\,\mathfrak{Cof}\,\xi\sin\xi); \\ M=\dfrac{PL}{4}\,(\mu-v\cdot\mathfrak{Cof}\,\xi\cos\xi+u\cdot\mathfrak{Sin}\,\xi\sin\xi); \\ Q=\dfrac{P}{4}\,(2\mu'+(u-v)\,\mathfrak{Sin}\,\xi\cos\xi+(u+v)\,\mathfrak{Cof}\,\xi\sin\xi). \end{cases}$$

Hierin bezeichnen $\mathfrak{Sin}$ und $\mathfrak{Cof}$ die hyperbolischen Sinus und Cosinus, während die Bedeutungen der übrigen Größen, soweit sie nicht unmittelbar gegeben sind, aus (3), (7), (8) und (9) zu ersehen ist[16]).

Die Gleichungen (10) können nun dazu benutzt werden, die Formänderung und Beanspruchung eines in der Mitte mit P belasteten Stabes von der Länge $2\,l$ bei beliebigem l zu berechnen, sowie auch den Druck auf die Bettung für jeden Punkt des Stabes zu ermitteln. Wir müssen uns hier darauf beschränken, die wichtigsten allgemeinen Ergebnisse einer derartigen Untersuchung kurz anzuführen. Man findet, daß die Senkung y überall positiv ist, so lange $\lambda=l:L<\frac{1}{4}\pi$; nimmt λ den letzteren Wert an, so ist die Senkung der Stabenden gerade Null. Wächst die Stablänge weiter, so treten auch negative y, also Hebungen auf; bei $\lambda=\frac{3}{4}\pi$ ist die Senkung der Enden wieder Null usw. Hieraus folgt, daß die elastische Linie bei größerer Stablänge eine Wellenlinie ist, und daß die Anzahl der Wellen mit der Länge wächst. In dieser Erscheinung gelangt zum Ausdruck, daß die Annahme $p=Cy$ auch den Fall umschließt, daß y und damit p negativ wird, d. h. daß die

16) Wegen der Vorzeichen von ν und Q vgl. die Fußnote 15 auf S. 11.

Bettung dem Abheben des Stabes einen Zugwiderstand entgegensetzt. Da dies in Wirklichkeit nicht eintritt, so sind die bisherigen Ableitungen nur für solche Stäbe streng gültig, deren Länge kleiner als πL ist. Auf Stäbe von größerer Länge dürfen sie nur insoweit als Näherungsformeln angewendet werden, als der Einfluß der rechnungsmäßigen Hebung und Zugbeanspruchung — die im Verhältnis zur Senkung und zum Druck nahe der Last immer nur klein ist — vernachlässigt werden kann. Für den Grenzfall $2l = \pi L$ ist in der Mitte des Stabes mit $\xi = 0$

$$(11)\quad \begin{cases} \text{die Senkung} & y_0 = 1{,}090\ \dfrac{P}{2\,C b L}, \\ \text{das Biegungsmoment} & M_0 = 1{,}090\ \dfrac{PL}{4} \end{cases}$$ [17]).

§ 4. Der endlose Stab mit durchgehender elastischer Unterstützung (Schiene und Langschwelle oder Schwellenschiene). — Ein Strang des Langschwellen- oder Schwellenschienen-Oberbaues kann, wenn von den Unvollkommenheiten der Stoßdeckung vorläufig abgesehen wird, als ein Stab von unendlich großer Länge betrachtet werden. Setzen wir demgemäß in den Formeln des § 3

$$\lambda = \infty,$$

so folgt zunächst aus (8) wegen $\mathfrak{Sin}\ \infty = \infty$

$$u = v = 0,$$

und hiermit aus (10)

$$(12)\quad \begin{cases} y = \dfrac{P}{2CbL}\eta; & \operatorname{tang} \nu = \dfrac{P}{CbL^2}\eta'; \\ M = \dfrac{PL}{4}\mu; & Q = \dfrac{P}{2}\mu'. \end{cases}$$

Diese Gleichungen drücken nun in einfacher Weise die Wirkungen aus, die eine Einzellast auf den im Abstande $x = \xi L$ von ihrem Angriffspunkte befindlichen Querschnitt des endlosen Stabes ausübt. Sie gestatten insbesondere dann eine bequeme Berechnung, wenn man die vorhandenen Tabellen oder Kurven der Größen η, η', μ und μ' benutzt [18]). Die Abb. 3 gibt ein Bild des allgemeinen Verlaufes der letzteren und stellt zugleich die (verzerrt gezeichnete) elastische Linie, die Neigungslinie, die Momentenkurve und die Querkraftkurve für den unendlich langen durch eine Einzellast beanspruchten Stab je zur Hälfte dar; denn die Werte x, y, tang ν, M und Q, die zu den einzelnen Punkten der Stabachse gehören, sind den die Kurvenpunkte festlegenden Werten ξ, η, η', μ und μ' proportional. Da aber durch x nicht nur die Abstände verschiedener Stabquerschnitte von dem unveränderlichen Angriffspunkte einer ruhenden Last, sondern auch die Entfernungen einer beweglichen Last von einem und demselben Querschnitte gemessen werden, so geben jene Kurven auch ein Bild der Änderungen, welche die Größen y, tang ν, M und Q erleiden, wenn die Last von diesem aus die ganze Länge des Stabes durchläuft. Die Kurven η, η', μ und μ' sind also zugleich die Einflußlinien für die Senkung, die Neigung, das Biegungsmoment und die Querkraft. Weitere merkwürdige Eigenschaften werden wir später erörtern.

---

[17]) Eine ausführliche Darstellung der in diesem Paragraphen nur angedeuteten Entwicklungen finde sich in dem Buche des Verfassers: Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues (Berlin 1888, Wilhelm Ernst u. Sohn) § 1 bis 3. — Das Buch enthält auch Tabellen der Zahlenwerte aller häufiger auftretenden Größen. Da wir in der Folge öfters auf diese Quelle hinweisen müssen, werden wir zu ihrer kurzen Bezeichnung nur den hier gesperrt gedruckten Titel verwenden.

[18]) D. Berechnung d. Eisenb.-Oberb., Tabelle IIa und b und Tafel I bis IV.

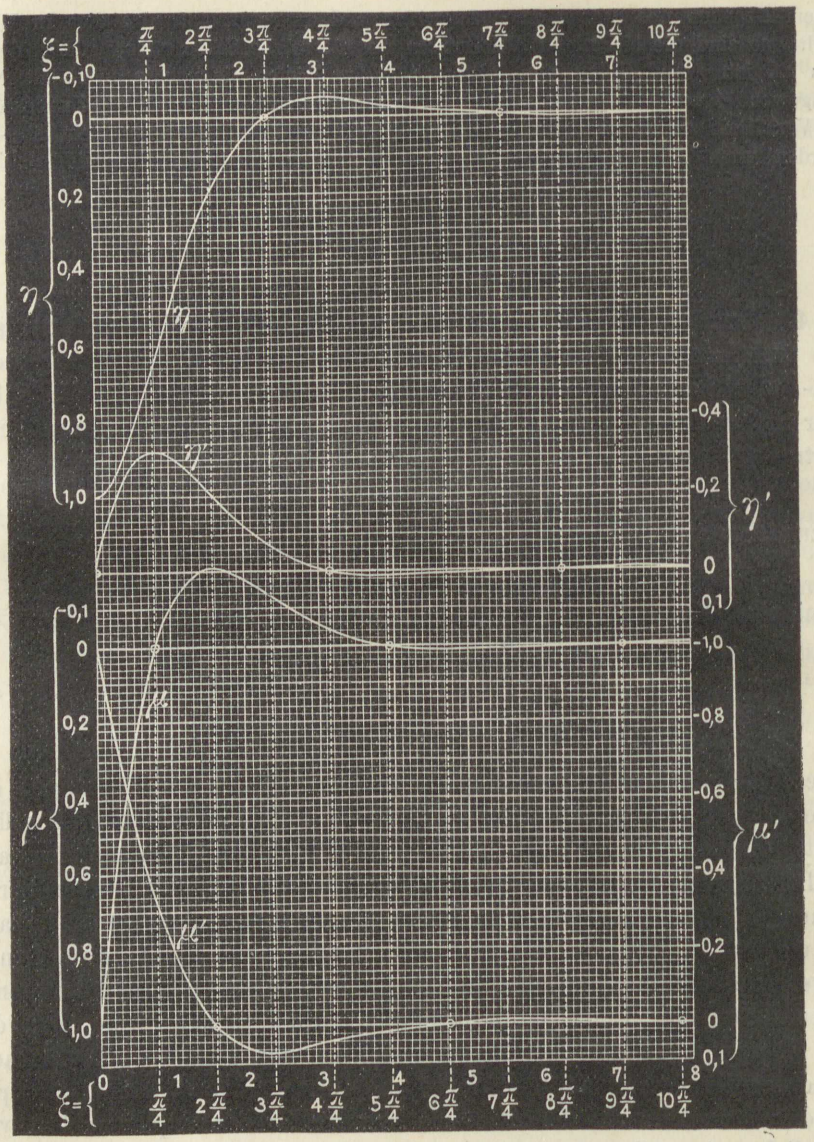


Abb. 3. Darstellung der Hilfsgrößen η, η', μ und μ'.

Aus (12) folgt insbesondere mit $\xi = 0$ für den Lastpunkt (außer tang $\nu = 0$):

$$(13)\qquad \begin{cases} y_0 = \dfrac{P}{2\,C b\,L}; & p_0 = \dfrac{P}{2 b L}; \\ M_0 = \dfrac{PL}{4}; & Q_0 = \dfrac{P}{2}. \end{cases}$$

Es sind dies die größten Werte von y, p, M und Q, die überhaupt vorkommen, solange nur eine einzige Last auf dem Stabe ruht.

Wenn man mit Hilfe dieser Gleichungen P aus (12) entfernt, so gelangt man zu folgenden bemerkenswerten Deutungen für die Hilfsgrößen η, μ und μ':

$$\eta = \frac{y}{y_0} = \frac{p}{p_0}; \qquad \mu = \frac{M}{M_0}; \qquad \mu' = \frac{Q}{Q_0}.$$

Die in Rede stehenden Größen drücken also das Verhältnis aus, in welchem Senkung oder Druck, Biegungsmoment und Querkraft an einem beliebigen Punkte ($x = \xi L$) zu den betreffenden Werten am Lastpunkte ($x = 0$) stehen.

Die Kurven in Abb. 3 zeigen den schon im § 3 erwähnten wellenförmigen Verlauf, sind also nur näherungsweise richtig, wenn eine zugfeste Verbindung zwischen dem Stabe und seiner Unterlage fehlt. Bei einem vollkommen gewichtlosen Stabe würde nur je ein Stück von der Länge $\frac{1}{2}\pi L$ zu beiden Seiten der Last aufruhen; die übrigen Teile des Stabes würden dagegen die Neigung der Endtangenten des mittleren Stückes annehmen, sich also vollständig von der Unterlage abheben. In diesem Falle verhielte sich mithin der endlose Stab statisch, wie ein solcher von der Länge πL. Demgemäß lehrt ein Vergleich zwischen (11) und (13), daß das Abheben der äußeren Teile mit einer Zunahme der Senkung und des Druckes, sowie des Biegungsmomentes im Lastpunkte um 9 v. H. verknüpft sein würde. Da nun aber das Eigengewicht der Langschwelle und der darauf ruhenden Schiene einem solchen Verhalten kräftig entgegenwirkt, so ist der bei Vernachlässigung des Abhebens entstehende Fehler jedenfalls wesentlich kleiner, als die angegebene Zahl. Er verschwindet unter Umständen sogar fast ganz, wenn mehrere Lasten vorhanden sind, so daß auf einer längeren Strecke die Senkungen die Hebungen überwiegen.

Bedeutung der Hilfsgrößen. — Die Größen η, η', μ und μ' sind weiterhin an Hand der Abbildung 3 noch eingehender zu erörtern; es erübrigen daher hier nur einige Bemerkungen über die Ausdrücke, mit denen sie in den Gleichungen (12) multipliziert sind. Wie schon im § 3 hervorgehoben, kann der durch (3) bestimmte Wert von $\boldsymbol{L}$ als eine Länge aufgefaßt werden, die beispielsweise in Zentimetern ausgedrückt ist, wenn E, J, C und b für diese Einheit angegeben sind; und zwar liegt L für die gebräuchlichen Querschnittsformen und Bettungsarten etwa zwischen 50 und 100 cm. Es werde nun ein vollkommen unbiegsamer, gerader Stab von der Länge $2L$ und der Breite b angenommen, der ganz in derselben Weise wie die zu berechnende Langschwelle auf einer elastischen Bettung ruht und in seiner Mitte die Last 1 trägt (Abb. 4). Dann ist der Bettungsdruck natürlich überall gleich. Bezeichnet man ihn für die Flächeneinheit mit q und das Biegungsmoment für die Stabmitte mit $\boldsymbol{N}$, so ergibt sich leicht:

$$q = \frac{1}{2bL} \text{ und } N = qb\frac{L^2}{2} = \frac{L}{4}.$$

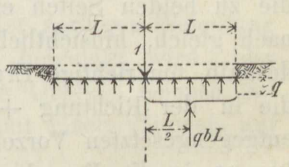


Abb. 4.

Hiernach ist $P : 2bL$ der Flächendruck, den eine Last P in der Mitte eines starren Stabes von der Breite b und der Länge $2L$ auf die Bettung ausüben würde, und $P : 2CbL$ die zugehörige Senkung. Ferner ist $PL : 4$ das dabei in der Mitte des Stabes entstehende Biegungsmoment. Wendet man diese Ergebnisse auf die Gleichungen (13) an, so zeigt sich, daß der Bettungsdruck p_0, die Senkung y_0 und das Biegungsmoment M_0, welche die auf einem endlosen biegsamen Stabe ruhende Last P in ihrem Angriffspunkte erzeugt, ebenso groß ist, wie der (überall gleiche) Druck, die entsprechende Senkung und das Biegungsmoment in der Mitte des gleichbelasteten unbiegsamen Stabes von derselben Breite und der Länge $2L$. Wegen dieser Gleichheit der hauptsächlichsten Wirkungen bezeichnen wir L als die halbe Länge des stellvertretenden unbiegsamen Stabes[19]).

Die Gleichungen (10) im § 3 beruhen auf der Voraussetzung, daß die einzige vorhandene Last in der Mitte des Stabes von der Länge $2l$ angreife. Für einen endlosen Stab ist diese Einschränkung offenbar gegenstandslos, insofern jede beliebige

[19]) Wie leicht nachzuweisen, ist L auch die ganze Länge desjenigen Stabes, der bei Belastung der Mitte mit P und Unterstützung nur an den Enden dasselbe größte Biegungsmoment erleiden würde, wie der endlose, in ganzer Länge elastisch gelagerte Stab mit einer Last P.

Stelle als Mitte angesehen werden kann. Die mit $l = \infty$ aus (10) abgeleiteten Gleichungen (12) gelten daher für jede einzelne einer Gruppe von mehreren Lasten — immer vorausgesetzt, daß die früher erwähnten, beim Abheben von der Bettung eintretenden Störungen vernachlässigt werden dürfen. Sind dann

$P_1\ P_2\ P_3\ \ldots$ die vorhandenen Lasten,
$x_1\ x_2\ x_3\ \ldots$ deren Abstände von einem Punkte A,
$\eta_1\ \eta_2\ \eta_3\ \ldots$
$\eta_1'\ \eta_2'\ \eta_3'\ \ldots$
$\mu_1\ \mu_2\ \mu_3\ \ldots$
$\mu_1'\ \mu_2'\ \mu_3'\ \ldots$ die zugehörigen Werte von η, η', μ und μ' nach (9),

so wird für den Punkt A nach der Regel von der Zusammensetzung der Einzelwirkungen:

$$(14)\quad \begin{cases} y = \frac{1}{2\,C\,b\,L}\left\{P_1\eta_1 + P_2\eta_2 + P_3\eta_3 + \ldots\right\} = \frac{1}{2\,C\,b\,L}\Sigma P\eta; \\ \operatorname{tang}\nu = \frac{1}{C\,b\,L^2}\left\{P_1\eta_1' + P_2\eta_2' + P_3\eta_3' + \ldots\right\} = \frac{1}{C\,b\,L^2}\Sigma P\eta'; \\ M = \frac{L}{4}\left\{P_1\mu_1 + P_2\mu_2 + P_3\mu_3 + \ldots\right\} = \frac{L}{4}\Sigma P\mu; \\ Q = \frac{1}{2}\left\{P_1\mu_1' + P_2\mu_2' + P_3\mu_3' + \ldots\right\} = \frac{1}{2}\Sigma P\mu'. \end{cases}$$

Die Bedeutung der vor den Summenzeichen stehenden Ausdrücke (zu denen, wenn alle Lasten gleich groß sind — etwa $P_1 = P_2 = P_3 = \ldots = P$ — noch P als gemeinschaftlicher Faktor der Summen hinzutritt), ergibt sich auch für diesen Fall aus der vorhergehenden Betrachtung.

Bei Anwendung dieser Gleichungen ist zu beachten, daß ν und Q für Punkte, die zu beiden Seiten einer Last in gleichen Entfernungen liegen, nur der Größe nach gleich, hinsichtlich des Vorzeichens aber entgegengesetzt sind. Man muß deshalb, um richtige Ergebnisse zu erhalten, die Produkte $P\eta'$ und $P\mu'$ für Lasten, die in der Richtung $+\ \xi$ (rechts) vom betrachteten Querschnitte liegen, mit dem entgegengesetzten Vorzeichen von dem, welches den Größen η' und μ' nach (9) zukommt, in die Berechnung einsetzen[20]). Dagegen sind die Produkte $P\eta$ und $P\mu$ für Querschnitte rechts und links von der Last nicht nur der Größe, sondern auch dem Vorzeichen nach gleich, erfordern also keine besondere Rücksichtnahme auf die Lage zur Last. Von der Richtigkeit dieser Regel überzeugt man sich leicht, wenn man sie auf den mitten zwischen zwei gleichen Lasten liegenden Querschnitt anwendet. In diesem müssen offenbar ν und Q Null, y und M aber doppelt so groß sein, als wenn nur eine der Lasten vorhanden wäre. Die Berechnung von y, $p = C\,y$, tang ν, M nnd Q für irgendeine gegebene Belastung ist hiernach bei Anwendung der obenerwähnten Hülfsmittel eine sehr einfache. Auch lassen sich mit Benutzung der in Abb. 3 dargestellten Einflußlinien unschwer diejenigen Stellungen einer unveränderlichen Lastgruppe wenigstens annähernd bestimmen, bei denen die genannten Größen in dem gegebenen Querschnitte ihre höchsten Werte erreichen oder sonstige Bedingungen erfüllen[21]).

---

[20]) Die Notwendigkeit dieser Unterscheidung folgt aus dem in Fußnote 15 auf Seite 11 hervorgehobenen Umstande, daß bei Bestimmung der Integrationsfestwerte ξ als positiv vorausgesetzt worden ist.

[21]) Beispiele hierzu finden sich im § 20 u. 21 der Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues.

Unter der in Formel (3) auftretenden Größe J wurde bisher das Trägheitsmoment des ganzen Stabquerschnittes verstanden. Ist dieser, wie bei dem Langschwellenoberbau üblich, aus mehreren Teilen mit verschiedenem Elastizitätsmaß zusammengesetzt, so tritt nach Regeln der Festigkeitslehre, die wir hier als bekannt voraussetzen dürfen, an Stelle von EJ die Summe der entsprechenden, für jeden einzelnen Teil gebildeten Produkte, d. h. es ist

$$EJ = E_1 J_1 + E_2 J_2,$$

wenn die auf die Schiene und die Schwelle bezüglichen Größen durch die Zeiger 1 und 2 unterschieden werden. Bezeichnet man ferner die betreffenden Anteile an dem gesamten Biegungsmoment mit M_1 und M_2, die Abstände der äußersten Querschnittspunkte von der Biegungsachse mit s_1 und s_2, die zugehörigen Spannungen mit σ_1 und σ_2, so ist

$$M_1 = \frac{E_1 J_1}{EJ} M; \qquad M_2 = \frac{E_2 J_2}{EJ} M;$$

$$\sigma_1 = \frac{M_1 s_1}{J_1} = \frac{E_1 s_1}{EJ} M; \qquad \sigma_2 = \frac{M_2 s_2}{J_2} = \frac{E_2 s_2}{EJ} M.$$

Sind die Werte von E für Schiene und Schwelle gleich, wie dies häufig wenigstens annähernd der Fall ist, so wird einfacher

$$J = J_1 + J_2; \quad \sigma_1 = s_1 \frac{M}{J}; \quad \sigma_2 = s_2 \frac{M}{J}.$$

Hiernach sind die Spannungen im Querschnitt leicht zu berechnen. Bei der geringen Dicke der stets plattenförmig gestalteten Langschwellen und des breiten Fußes der Schwellenschienen treten indes auch im Längenschnitte unter Umständen erhebliche Spannungen infolge der Querbiegung auf. Der Bettungsdruck kann meist als über die ganze Breite der stützenden Fläche gleichmäßig verteilt angenommen werden; in diesem Falle ist die Berechnung der Spannungen im Längenschnitt eine so einfache, daß sie der näheren Erörterung nicht bedarf. Eine genauere Untersuchung der Querbiegung, auf die wir wegen der geringen Bedeutung die gegenwärtig dem Langschwellen-Oberbau im allgemeinen beigelegt wird, hier nicht eingehen wollen, findet sich in der unten angegebenen Quelle. Ebenso begnügen wir uns hinsichtlich der zahlenmäßigen Berechnung mit einem Hinweis auf die Beispiele in den dort genannten Veröffentlichungen[22]).

§ 5. Die Eigenschaften der Einflußlinien des endlosen Stabes mit durchgehender elastischer Unterstützung. — Diese sind von solcher Wichtigkeit für die weiteren Berechnungen, und zwar auch für die des Stabes von endlicher Länge, daß wir sie etwas eingehender besprechen müssen. Zunächst lehrt Abb. 3, daß der Einfluß einer Last mit wachsender Entfernung des Angriffspunktes sehr schnell abnimmt[23]). Ferner zeigt sie, daß die Kurven eine Reihe ausgezeichneter

[22]) Den Einfluß der Querbiegung behandelt § 16 d. Berechnung d. Eisenbahn-Oberbaues. — Zahlenbeispiele für den Langschwellen-Oberbau finden sich u. a. in § 19 bis 23 daselbst, sowie in Schwedlers Beiträgen zur Theorie des Eisenbahn-Oberbaues (Zeitschr. f. Bauwesen, 1889, S. 366 ff.).

[23]) Bezeichnet man die Lastwirkung für den Angriffspunkt mit 1, so ist sie beispielsweise im Abstande $l = \pi L$ nur noch — 0,0432. Bei Versuchen der Reichseisenbahnen fand sich als größter Wert $L = 98$ cm, womit $l = 309$ cm; d. h. wenn die Last P mehr als 309 cm von einem Punkte A entfernt ist, so übt sie dort weniger als 4,3 v. H. der Wirkung aus, welche sie im Punkte A selbst angreifend haben würde. Für die Anwendung bedeutet dies, daß man im ungünstigsten Falle etwa fünf Lasten berücksichtigen muß, wenn die angegebene Fehlergrenze nicht überschritten werden soll. Bei größerem Radstande als 1,5 m oder kleinerem l wird die Zahl der in Rechnung zu stellenden Lasten meist auf vier oder selbst drei vermindert werden können.

Szkoły Szczecińskie

Punkte haben. In der nachfolgenden Übersicht sind die Eigenschaften dieser Punkte sowie die Werte der zu ihnen gehörigen ξ, die sich leicht aus (9) ergeben, zusammengestellt.

		ξ
Senkung oder Hebung $= 0$: (Schnittpunkte der elastischen Linie m. d. Achse)	$\cos \xi = -\sin \xi$	$^3/_4\pi \; ^7/_4\pi \; ^{11}/_4\pi \ldots$
Neigung der elastischen Linie $= 0$: (Senkung oder Hebung am größten)	$\sin \xi = 0$	$0 \quad \pi \quad 2\pi \ldots$
Biegungsmoment $= 0$: (Wendepunkte der elastischen Linie)	$\cos \xi = \sin \xi$	$^1/_4\pi \; ^5/_4\pi \; ^9/_4\pi \ldots$
Querkraft $= 0$: (Moment ein Größtwert)	$\cos \xi = 0$	$^1/_2\pi \; ^3/_2\pi \; ^5/_2\pi \ldots$

Die Kurven η, η', μ und μ' sind hiernach Wellenlinien mit überall gleicher Wellenlänge $l = \pi L$, und es haben alle Punkte von gleichartiger Bedeutung in den einzelnen Wellen immer den gleichen Abstand vom Anfang und Ende. Insbesondere folgt in jeder Welle auf den Schnittpunkt mit der Achse in der Richtung $+\xi$ und im Abstande $^1/_4 l$, $^1/_2 l$, $^3/_4 l$, l ein Punkt größter Abweichung, ein Wendepunkt, ein Punkt größter Krümmung und schließlich der nächste Schnittpunkt mit der Achse. Weiter lehren die Gleichungen (9), daß einer Änderung eines beliebigen Wertes von ξ um π eine Änderung der Funktionen η, η', μ und μ' um ein bestimmtes unveränderliches Vielfaches ihres Wertes entspricht; man erhält nämlich die zu $\xi + \pi$ gehörigen Werte, indem man die für ξ mit $-e^{-\pi} = -0{,}0432$ multipliziert.

Hiernach bilden die zu gleichartigen Punkten gehörenden ξ, wenn man vom Nullpunkt an die sämtlichen Wellen der elastischen Linie durchläuft, eine arithmetische Reihe mit der Differenz π, die zu jenen Punkten gehörenden, durch die Gleichungen (9) bestimmten vier Funktionen von ξ aber eine geometrische Reihe mit dem Exponenten $-e^{-\pi}$. Diese eigentümliche Übereinstimmung im Verhalten der Funktionen erklärt sich bei näherer Prüfung durch den Umstand, daß sie dem gleichen Bildungsgesetz unterliegen, also gar nicht vier verschiedene Funktionen, sondern nur eine darstellen, die je nach der Wahl des Anfangspunktes für die Zählung der ξ die eine oder die andere Form annimmt. Demgemäß sind auch die vier Kurven, welche die Funktionen veranschaulichen, nicht der Art nach, sondern nur hinsichtlich des Maßstabes der Höhen und des Nullpunktes der Grundlinien verschieden. Man erkennt dies sofort, wenn man in den Gleichungen (9) der Reihe nach

$$\xi = \zeta + \frac{\pi}{4}; \quad \xi = \zeta + \frac{\pi}{2}; \quad \xi = \zeta + \frac{3\pi}{4}$$

einführt. Von den so gewonnenen neuen Formen läßt sich noch ein weiterer Gebrauch machen; man kann sie nämlich in Verbindung mit den Gleichungen (12) dazu benutzen, die Formänderung und Beanspruchung des Stabes unter anderen Einflüssen als der bisher allein betrachteten senkrechten Last zu bestimmen[24]). Wir müssen

[24]) Eine ausführliche Darstellung der hierzu nötigen Entwicklungen findet sich in der Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues, § 6 bis 9. Dort sind besonders die verschiedenen Arten von Stetigkeitsunterbrechungen behandelt.

uns hier darauf beschränken, zwei solche Fälle kurz vorzuführen, die für die späteren Entwicklungen als Grundlage dienen.

Für den Punkt A im Abstande $^1/_4\,\pi\,L$ vom Angriffspunkte der Last P ergibt sich nach obigem, wenn man die zugehörigen Werte von M und Q mit dem Zeiger 1 versieht, mit $\xi = {}^1/_4\,\pi$ aus (9) und (12):

$$M_1 = 0 \quad \text{und} \quad Q_1 = -\frac{P}{2}\,e^{-\frac{\pi}{4}}\sin\frac{\pi}{4}\,. \tag{15}$$

Es wird nun der Punkt A als neuer Anfangspunkt gewählt, der Abstand eines beliebigen anderen Punktes der Stabachse von A mit z und $z : L$ mit ζ bezeichnet, so daß also

$$\xi = \zeta + \frac{\pi}{4}.$$

Setzt man diesen Wert in (9) ein und drückt man P nach (15) durch Q_1 aus, so nehmen die Gleichungen (12) die nachstehende Form an:

$$\left\{\begin{array}{rlll} y = & -\frac{2\,Q_1}{Cb\,L}\,e^{-\zeta}\cos\zeta & = & \frac{2\,Q_1}{Cb\,L}\,\mu'; \\ \operatorname{tang}\nu = & \frac{2\,Q_1}{Cb\,L^2}\,e^{-\zeta}(\cos\zeta + \sin\zeta) & = & \frac{2\,Q_1}{Cb\,L^2}\,\eta\,; \\ M = & Q_1 L\,e^{-\zeta}\sin\zeta & = & -\,Q_1 L\,\eta'; \\ Q = & Q_1\,e^{-\zeta}(\cos\zeta - \sin\zeta) & = & Q_1\,\mu\,. \end{array}\right. \tag{16}$$

Die auf der rechten Seite dieser Gleichungen stehenden Ausdrücke ergeben sich aus den in der Mitte stehenden bei Anwendung der durch (9) eingeführten abgekürzten Bezeichnungsweise. Die hier auftretenden veränderlichen Größen η, η', μ und μ' unterscheiden sich von den früheren nur dadurch, daß ihre unabhängig Veränderliche ζ sich nicht auf den Lastpunkt, sondern den Punkt A im Abstande $^1/_4\,\pi L$ davon bezieht.

An dem Gleichgewichtszustande des Stabes wird nichts geändert, wenn man ihn durchschneidet und an der Schnittstelle statt der vorher durch den Zusammenhang der Teile erzeugten inneren Kräfte gleichwertige äußere anbringt. Denkt man sich den einen Teil entfernt, so gewährt der übrigbleibende ein Bild des Einflusses, den äußere, an dem Ende eines einseitig unendlich langen Stabes angreifende Kräfte auf diesen ausüben. In der Folge soll der Einfachheit wegen immer der in der Richtung $-x$ (d. h. links) liegende Teil entfernt gedacht werden, so daß die an dem übriggebliebenen (rechts liegenden) Teile zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtszustandes anzubringenden äußeren Kräfte in demselben Sinne wirken, wie die bisherigen, von vornherein als Einwirkungen des linken auf den rechten aufgefaßten inneren Kräfte. Führen wir nun einen solchen Schnitt im Punkte A. An inneren Kräften ist nach (15) nur Q_1 vorhanden. Demgemäß drücken die Gleichungen (16) die Wirkungen aus, die eine am Ende eines einseitig begrenzten, unendlich langen Stabes angreifende (nach oben gerichtete) Kraft Q_1 auf den Stab ausübt.

Wiederholen wir die ganze Betrachtung, indem der Punkt A im Abstande $^1/_2\,\pi\,L$ von dem Angriffspunkte der Last P gewählt und der zugehörige Wert von M und Q durch den Zeiger 2 hervorgehoben wird, so ergibt sich zunächst mit $\xi = {}^1/_2\,\pi$ aus (9) und (12)

$$M_2 = -\frac{PL}{4}\,e^{-\frac{\pi}{2}} \quad \text{und} \quad Q_2 = 0\,. \tag{17}$$

An Stelle von (16) erhalten wir für einen beliebigen Punkt der Stabachse im Abstande z von A mit

$$\xi = \zeta + \frac{\pi}{2}$$

aus (9) und (12), indem P nach (17) durch M_2 ausgedrückt wird,

$$(18)\quad \begin{cases} y = -\dfrac{2M_2}{CbL^2} e^{-\zeta} (\cos\zeta - \sin\zeta) = -\dfrac{2M_2}{CbL^2}\mu; \\ \operatorname{tang}\nu = \dfrac{4M_2}{CbL^3} e^{-\zeta} \cos\zeta = -\dfrac{4M_2}{CbL^3}\mu'; \\ M = M_2\, e^{-\zeta} (\cos\zeta + \sin\zeta) = M_2\,\eta; \\ Q = -\dfrac{2M_2}{L} e^{-\zeta} \sin\zeta = \dfrac{2M_2}{L}\eta'. \end{cases}$$

Diese Gleichungen drücken die Wirkungen aus, die ein am Ende eines einseitig begrenzten, unendlich langen Stabes angreifendes (nach rechts drehendes) Moment M_2 auf den Stab ausübt.

Die vorstehenden Ergebnisse können nun dazu benutzt werden, den Einfluß gewisser Stetigkeitsunterbrechungen für den endlosen Stab zu bestimmen, wie sie durch eine teilweise oder gänzliche Aufhebung des Zusammenhanges einzelner Stabquerschnitte erzeugt werden[25]). Eine derartige Störung kann sich als verminderte Widerstandsfähigkeit gegen Biegung oder gegen Verschiebung aneinander grenzender Querschnitte geltend machen. Da diese beiden Fälle eine verschiedene Behandlung erfordern, so möge zunächst jeder für sich untersucht werden. Die Verbindung der Ergebnisse gestattet dann die Berechnung des Einflusses auch solcher Unterbrechungen des Zusammenhanges, bei welchen die Widerstandsfähigkeit des Stabes nach beiden Richtungen vermindert oder ganz aufgehoben ist.

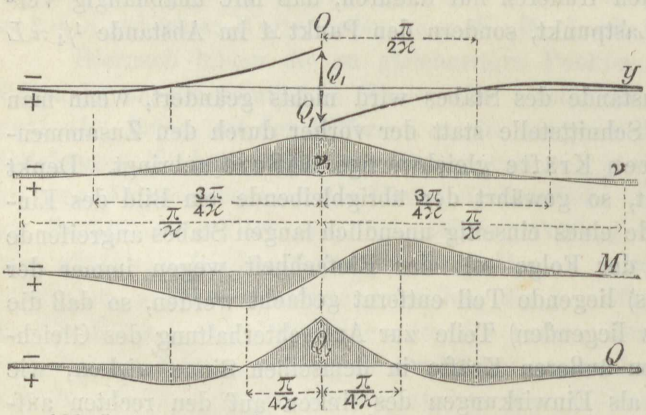


Abb. 5. Einfluß einer Änderung der Querkraft. (Verschiebung.)

a. Stetigkeitsunterbrechungen, die einer Querkraft gleichwertig sind. — Fügt man zu einem einseitig begrenzten, unendlich langen Stabe, an dessen Ende die Kraft Q_1 wirkt, einen zweiten, der ganz gleich beansprucht, jedoch um 180 Grad in senkrechter Ebene gegen den ersteren gedreht ist, so erhält man die in Abb. 5[26]) dargestellte Anordnung, bei welcher die Stabenden im Punkte O um den doppelten Betrag desjenigen Wertes von y gegeneinander verschoben sind, der sich aus der

[25]) Solche innere Stetigkeitseunterbrechungen treten in der Wirklichkeit an den Stößen der Langschwellen und Schienen in mehr oder minder hohem Grade auf, je nachdem die Verlaschung, insbesondere der Langschwellen, entweder ganz fehlt, oder zwar vorhanden, aber doch nicht so wirksam ist, wie es nötig wäre, wenn ein dem unverschwächten Querschnitte vollkommen gleichwertiges Gefüge erreicht werden sollte. Noch wichtiger aber ist der Fall der gänzlichen Aufhebung des Zusammenhanges, in welchem der Stab von endlicher Länge als ein Teil des endlosen Stabes erscheint. Die obige Entwicklung führt die Berechnung des ersteren auf die (wesentlich einfachere) des letzteren zurück.

[26]) In Abb. 5 u. 6 ist der Wert L mit $1 : \varkappa$ bezeichnet.

ersten Gleichung der Gruppe (16) mit $\zeta = 0$, $\mu' = -1$ ergibt, d. h. um $-4\,Q_1 : CbL$. Werden die Enden in dieser Lage fest miteinander verbunden, so heben sich die beiden entgegengesetzten Kräfte Q_1 auf; der nunmehr endlose Stab behält also die bisherige Form seiner Teile bei, ohne daß es hierzu der Einwirkung anderer Kräfte als der inneren Spannungen und des Widerstandes der Bettung bedarf. Im Querschnitt O ist das Biegungsmoment Null, die Querkraft $= -Q_1$; den weiteren Verlauf der inneren Kräfte zeigt der untere Teil der Abbildung 5. Sobald Q_1 gegeben ist, können nämlich die Gleichungen (16) angewendet werden, durch die der Gleichgewichtszustand des Stabes vollkommen bestimmt ist. Insbesondere läßt die hiernach entworfene Abbildung erkennen, daß Q und ν auf beiden Seiten von O dasselbe Vorzeichen haben, daß dagegen M in O stetig, also unter Vorzeichenwechsel durch Null geht.

b. Stetigkeitsunterbrechungen, die einem Moment gleichwertig sind, lassen sich in ganz ähnlicher Weise behandeln, wenn man von den Gleichungen (18) Gebrauch macht. Wird zu einem einseitig begrenzten, unendlich langen Stabe, an dessen Ende das Moment M_2 wirkt, ein zweiter, ganz gleich beanspruchter, jedoch um 180 Grad in wagerechter Ebene gedrehter hinzugefügt, wie Abbildung 6 zeigt, und eine feste Verbindung zwischen den vorher freien Stabenden in O hergestellt, so halten sich die beiden Momente im Gleichgewicht. Der endlose Stab behält also auch hier die bisherige Form seiner Teile, ohne daß dazu die Mitwirkung besonderer Kräfte, außer den inneren Spannungen und dem Widerstande der Bettung erforderlich ist. Da Q im Punkte O Null ist, so hat M an dieser Stelle einen Größtwert; im übrigen ist der Verlauf von M und Q im unteren Teile der Abbildung 6 angedeutet. Es verdient bemerkt zu werden, daß im Punkte O die Querkraft Q stetig, die Neigung ν sprungweise durch Null geht, daß also beide ihr Vorzeichen wechseln. Dagegen hat M auf beiden Seiten von O dasselbe Vorzeichen.

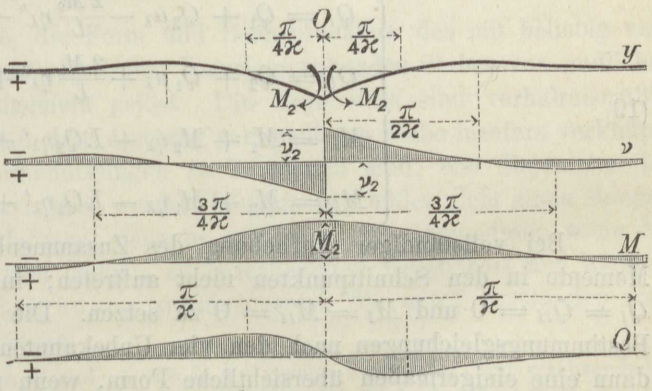


Abb. 6. Einfluß einer Änderung des Biegungsmomentes. (Verdrehung.)

Sind mehrere solche Stetigkeitsunterbrechungen, wie die unter **a.** und **b.** besprochenen, vorhanden, so ist die Wirkung jeder einzelnen in gleicher Weise zu ermitteln; die Gesamtwirkung ergibt sich dann als algebraische Summe der Einzelwirkungen, deren Vorzeichen, soweit es sich um den Einfluß einer Unterbrechung auf den links davon liegenden Teil des Stabes handelt, nach der auf Seite 16 gegebenen Regel oder nach Maßgabe des Verlaufes der in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Einflußlinien besonders zu bestimmen sind. Ist der Stab außerdem noch belastet, so treten die entsprechenden Formänderungen, die ebenso wie für den Stab ohne Stetigkeitsunterbrechungen zu berechnen sind, hinzu. Es handelt sich dann im allgemeinen nur noch darum, die Größe der Querkräfte und Momente zu bestimmen, die der Wirkung jener Stetigkeitsberechnung gleichwertig sind.

§ 6. Der elastisch gelagerte Stab von endlicher Länge mit beliebig verteilten Einzellasten. — Wird ein solcher als Teil eines endlosen Stabes aufgefaßt, so lassen sich die Formänderungen und Beanspruchungen des herausgetrennten Stückes durch Verbindung der in § 5 unter **a.** und **b.** entwickelten Gleichungen in der nachstehend geschilderten Weise berechnen.

An den Punkten I und II des Stabes, Abbildung 7, seien Stetigkeitsunterbrechungen der in Rede stehenden Art vorhanden, während zwischen diesen Punkten sich eine Gruppe von Lasten P_1, P_2, P_3, ... befindet, deren Abstände von den links und rechts gelegenen Unterbrechungen mit z_1, z_2, z_3 ... und x_1, x_2, x_3 ... bezeichnet werden mögen. Der Abstand der Punkte I und II sei l. Die Quotienten aus allen diesen Längen und derjenigen des stellvertretenden unbiegsamen Stabes, also L, benennen wir mit den entsprechenden griechischen Buchstaben. Die an den Punkten I und II anzubringenden, den Einfluß der besonderen Verschiebbarkeit und Verdrehbarkeit der Querschnitte ausdrückenden, vorläufig unbekannten Querkräfte und Momente seien Q_1, Q_2, M_1 und M_2; die Gesamtquerkräfte und Gesamtmomente für diese Stellen sollen mit Q_I, Q_{II}, M_I und M_{II} bezeichnet werden. Dann ergibt sich nach dem, was am Schlusse des § 5 über das Zusammenwirken verschiedener Einflüsse gesagt wurde, durch Verbindung der Formeln (14) (16) und (18) die folgende Gruppe, in der die den Größen η, η', μ und μ' beigefügten Zeiger die Strecken angeben, auf die sie sich beziehen:

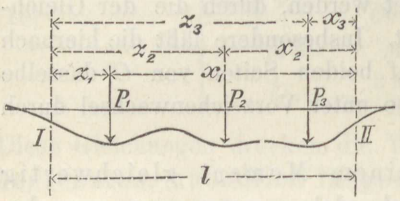


Abb. 7.

$$(19)\quad \begin{cases} Q_I = Q_1 + Q_2\mu_\lambda - \frac{2M_2}{L}\eta_\lambda' - \frac{1}{2}\Sigma P\mu_\zeta'; \\ Q_{II} = Q_2 + Q_1\mu_\lambda + \frac{2M_1}{L}\eta_\lambda' + \frac{1}{2}\Sigma P\mu_\xi'; \\ M_I = M_1 + M_2\eta_\lambda + LQ_2\eta_\lambda' + \frac{L}{4}\Sigma P\mu_\zeta; \\ M_{II} = M_2 + M_1\eta_\lambda - LQ_1\eta_\lambda' + \frac{L}{4}\Sigma P\mu_\xi. \end{cases}$$

Bei vollständiger Aufhebung des Zusammenhanges können Querkräfte und Momente in den Schnittpunkten nicht auftreten; in den Gleichungen (19) ist also $Q_I = Q_{II} = 0$ und $M_I = M_{II} = 0$ zu setzen. Die Auflösung der so entstehenden Bestimmungsgleichungen nach den vier Unbekannten Q_1, Q_2, M_1 und M_2 erhält nur dann eine einigermaßen übersichtliche Form, wenn man abkürzende Bezeichnungen für die mehrfach auftretenden verwickelten Ausdrücke anwendet. Indem wir der bequemeren Schreibung halber den Zeiger λ überall weglassen und nur im Auge behalten, daß sich alle nicht besonders bezeichneten η, η', μ und μ' auf die ganze Stablänge beziehen, setzen wir zunächst

$$(20)\quad [(1-\eta)(1+\mu) - 2\eta'^2]\cdot[(1+\eta)(1-\mu) - 2\eta'^2] = 2e^{-2\lambda}(\mathfrak{Cof}\,2\lambda + \cos 2\lambda - 2) = \Delta,$$

woraus Δ leicht zu berechnen ist. Setzen wir nun ferner

$$(21)\quad \begin{cases} \frac{1-\mu^2-2\eta'^2}{\Delta} = m_1; & \frac{\eta(1-\mu^2)-2\eta'^2\mu}{\Delta} = m_2; \\ \frac{\eta'(\mu-\eta)}{\Delta} = \frac{2\eta'^2}{\Delta} = n_1; & -\frac{\eta'(1-\eta\mu-2\eta'^2)}{\Delta} = n_2; \\ \frac{1-\eta^2-2\eta'^2}{\Delta} = o_1; & -\frac{\mu(1-\eta^2)-2\eta'^2\eta}{\Delta} = o_2, \end{cases}$$

so gestaltet sich die Auflösung der Gleichungen (19) wie folgt:

$$(22)\quad \left\{\begin{aligned} M_1 &= \frac{L}{4}\Big\{ - m_1 \Sigma P\mu_\zeta + m_2 \Sigma P\mu_\xi + 2n_1 \Sigma P\mu_\zeta' - 2n_2 \Sigma P\mu_\xi' \Big\};\\ M_2 &= \frac{L}{4}\Big\{ \quad m_2 \Sigma P\mu_\zeta - m_1 \Sigma P\mu_\xi - 2n_2 \Sigma P\mu_\zeta' - 2n_1 \Sigma P\mu_\xi' \Big\};\\ Q_1 &= \frac{1}{2}\Big\{ - n_1 \Sigma P\mu_\zeta + n_2 \Sigma P\mu_\xi + \quad o_1 \Sigma P\mu_\zeta' - \quad o_2 \Sigma P\mu_\xi' \Big\};\\ Q_2 &= \frac{1}{2}\Big\{ - n_2 \Sigma P\mu_\zeta + n_1 \Sigma P\mu_\xi + \quad o_2 \Sigma P\mu_\zeta' - \quad o_1 \Sigma P\mu_\xi' \Big\}. \end{aligned}\right.$$

Mit Benutzung der hieraus berechneten Werte von M_1, M_2, Q_1 und Q_2 ergibt sich nun alles Weitere durch die Gleichungen (14) (16) und (18). Beispielsweise ist für einen Punkt A im Abstande l_1 und l_2 von den Stabenden I und II — wenn jetzt die mit l_1 und l_2 berechneten Werte der Hilfsgrößen η, η', μ und μ' die Zeiger 1 und 2 erhalten, während die zu den Entfernungen der Lasten P_1, P_2 . . . vom Punkte A gehörigen Werte jener Größen nicht besonders bezeichnet werden —:

$$(23)\quad \left\{\begin{aligned} y &= \frac{1}{2\,Cb\,L}\Big(\Sigma P\eta - \frac{4M_1}{L}\mu_1 - \frac{4M_2}{L}\mu_2 + 4Q_1\mu_1' - 4Q_2\mu_2'\Big);\\ \operatorname{tang}\nu &= \frac{1}{Cb\,L^2}\Big(\Sigma P\eta' - \frac{4M_1}{L}\mu_1' + \frac{4M_2}{L}\mu_2' + 2Q_1\eta_1 + 2Q_2\eta_2\Big);\\ M &= \frac{L}{4}\Big(\Sigma P\mu + \frac{4M_1}{L}\eta_1 + \frac{4M_2}{L}\eta_2 - 4Q_1\eta_1' + 4Q_2\eta_2'\Big);\\ Q &= \frac{1}{2}\Big(\Sigma P\mu' + \frac{4M_1}{L}\eta_1' - \frac{4M_2}{L}\eta_2' + 2Q_1\mu_1 + 2Q_2\mu_2\Big). \end{aligned}\right.$$

Hiermit ist die Aufgabe, die Form und Beanspruchung des mit beliebig verteilten Einzellasten besetzten, auf elastischer Unterlage ruhenden Stabes von endlicher Länge zu bestimmen, ganz allgemein gelöst. Die Ergebnisse sind verhältnismäßig einfach und der Umweg, der mit dem Ausgang vom endlosen Stabe insofern verknüpft ist, als immer erst dessen Formänderungen zu berechnen sind, ehe diejenigen des Stabes von endlicher Länge berechnet werden können, begründet nicht einen Mangel, sondern einen Vorzug des Verfahrens; denn es erleichtert die Anwendung, wenn das gesuchte Ergebnis sich aus einem bequem zu berechnenden Hauptteil und kleinen, daran anzubringenden Berichtigungen zusammensetzt, die unter Umständen auch ganz vernachlässigt werden können.

Da nämlich die Größen η, μ, η' und μ', wie in § 5 gezeigt worden ist, mit wachsendem ξ sehr schnell abnehmen, so sind bei einigermaßen beträchtlichem Abstande des Punktes A von dem einen Ende des Stabes die Glieder der Gleichungen (20) bis (23), die sich auf dieses Ende beziehen, sehr klein. Sie werden natürlich in aller Strenge Null, wenn der Stab überhaupt nur einseitig begrenzt ist, wie dies in Wirklichkeit (wenigstens annähernd) vorkommen kann und bei der Berechnung der Verlaschung des Langschwellen-Oberbaues als Ausgangspunkt anzunehmen sein würde. In solchen Fällen ist einer der Schnittpunkte, etwa II, als unendlich fern anzusehen, womit dann diejenigen Werte von η, η', μ und μ', die sich auf die ganze Stablänge oder auf das Stück l_2 beziehen, aus den obigen Gleichungen verschwinden. So ergibt sich aus (20), (21) und (22):

$$(24)\quad \begin{gathered} \Delta = 1;\quad m_1 = o_1 = 1;\quad m_2 = n_1 = n_2 = o_2 = 0;\\ M_1 = -\frac{L}{4}\Sigma P\mu_\zeta;\qquad Q_1 = \frac{1}{2}\Sigma P\mu_\zeta', \end{gathered}$$

und hiermit aus (23), wenn der jetzt entbehrliche Zeiger 1 weggelassen wird:

$$(25)\quad \begin{cases} y = \dfrac{1}{2\,C b\,L}\left(\Sigma P\eta + \mu\,\Sigma P\mu_\zeta + 2\mu'\,\Sigma P\mu_\zeta' \right); \\ \operatorname{tang}\nu = \dfrac{1}{C b L^2}\left(\Sigma P\eta' + \mu'\,\Sigma P\mu_\zeta + \eta\,\Sigma P\mu_\zeta' \right); \\ M = \dfrac{L}{4}\left(\Sigma P\mu - \eta\,\Sigma P\mu_\zeta - 2\eta'\,\Sigma P\mu_\zeta' \right); \\ Q = \dfrac{1}{2}\left(\Sigma P\mu' - \eta'\,\Sigma P\mu_\zeta + \mu\,\Sigma P\mu_\zeta' \right). \end{cases}$$

Ein gewisses Interesse bietet die Annahme, daß nur eine Last P am Stabende selbst vorhanden sei. Dann wird $\zeta = 0$, $\mu_\zeta = 1$ und $\mu_\zeta' = -1$, so daß mit Rücksicht auf (9):

$$(25^a)\quad \begin{cases} y = \dfrac{P}{2\,C b\,L}(-4\mu') = -\dfrac{2P}{C b\,L}\mu'; \\ \operatorname{tang}\nu = \dfrac{P}{C b L^2}(-2\eta) = -\dfrac{2P}{C b L^2}\eta; \\ M = \dfrac{PL}{4}(+4\eta') = PL\,\eta'; \\ Q = \dfrac{P}{2}(-2\mu) = -P\,\mu. \end{cases}$$

Beachtet man, daß P nach unten, die in den Gleichungen (16) auftretende Querkraft Q_1 dagegen nach oben positiv gerechnet wird, so ergibt sich die völlige Übereinstimmung dieser Gleichungen mit den vorstehenden. In der Tat ist ja auch die Anordnung und Belastung des Stabes hier dieselbe, wie in dem Falle, auf den sich die Gleichungen (16) beziehen; und vorstehende Anwendung der allgemeinen Gleichungen zeigt nur, daß sie den besonderen Fall richtig mit umschließen.

Für das Stabende selber, und zwar für einen Punkt dicht neben der Last und rechts von dieser, ergibt sich mit $\eta = 1$, $\mu = 1$, $\eta' = 0$ und $\mu' = -1$:

$$y_0 = \frac{2P}{C b\,L}; \quad \operatorname{tang}\nu_0 = -\frac{2P}{C b L^2}; \quad M_0 = 0; \quad Q_0 = -P.$$

Ein Vergleich mit den Ergebnissen für den endlosen Stab (Gl. 13) zeigt, daß die Senkung hier viermal, die Querkraft doppelt so groß ist.

Eine wesentliche Vereinfachung der Gleichungen (20) bis (23) tritt ferner ein, wenn der Stab zwar beiderseits begrenzt und nicht sehr lang, aber symmetrisch belastet ist, wie dies insbesondere beim Querschwellen-Oberbau geschieht. Diesen Fall müssen wir seiner Wichtigkeit wegen etwas ausführlicher behandeln.

§ 7. Der elastisch gelagerte Stab von endlicher Länge mit symmetrischer Belastung. — Die symmetrische Belastung ist dadurch gekennzeichnet, daß alle Lasten paarweise auftreten, und daß die Mitte eines jeden Paares in die Stabmitte fällt. Daraus folgt, daß für die eine Last des Paares μ_ζ und μ_ζ' denselben Wert haben, wie $\mu\xi$ und $\mu\xi'$ für die andere; und da hiernach für jedes Lastenpaar die Produkte $P\mu\xi = P\mu_\zeta$ und $P\mu\xi' = P\mu_\zeta'$ sind, so müssen auch die Summen aller dieser Produkte gleich sein. Also ist bei symmetrischer Belastung zu setzen

$$\Sigma P\mu\xi = \Sigma P\mu_\zeta \text{ und } \Sigma P\mu\xi' = \Sigma P\mu_\zeta',$$

womit sich aus (22) ergibt

$$M_1 = \frac{L}{4}\left\{ -(m_1 - m_2)\,\Sigma P\mu_\zeta - 2(n_2 - n_1)\,\Sigma P\mu_\zeta' \right\};$$

$$Q_1 = \frac{1}{2}\left\{ +(n_2 - n_1)\,\Sigma P\mu_\zeta + (o_1 - o_2)\,\Sigma P\mu_\zeta' \right\}.$$

Für die Koeffizienten der Summenglieder möge die abkürzende Bezeichnung

$$m_1 - m_2 = m; \quad n_2 - n_1 = n; \quad o_1 - o_2 = o$$

eingeführt werden. Bei Berechnung dieser Werte aus (20) und (21) hebt sich im Zähler und Nenner der entstehenden Brüche der Faktor $(1 - \eta)(1 + \mu) - 2\eta'^2$ fort, und man erhält nach einigen Umformungen:

$$(26) \quad \begin{cases} m = \dfrac{1-\mu}{(1+\eta)(1-\mu)-2\eta'^2} = \dfrac{-\cos 2\lambda + \sin 2\lambda + e^{2\lambda}}{2(\mathfrak{Sin}\, 2\lambda + \sin 2\lambda)}; \\ n = \dfrac{-\eta'}{(1+\eta)(1-\mu)-2\eta'^2} = \dfrac{\sin 2\lambda}{2(\mathfrak{Sin}\, 2\lambda + \sin 2\lambda)}; \\ o = \dfrac{1+\eta}{(1+\eta)(1-\mu)-2\eta'^2} = \dfrac{\cos 2\lambda + \sin 2\lambda + e^{2\lambda}}{2(\mathfrak{Sin}\, 2\lambda + \sin 2\lambda)}\ ^{27}). \end{cases}$$

Mit diesen drei Hilfsgrößen werden nun die (den Einfluß der Heraustrennung des Stabes aus einem solchen von unbegrenzter Länge ausdrückenden) Moment und Querkräfte

$$(27) \quad \begin{cases} M_1 = -\frac{L}{4}(m\Sigma P\mu_\zeta + 2n\Sigma P\mu_\zeta') = \quad M_2; \\ Q_1 = \quad \frac{1}{2}(n\Sigma P\mu_\zeta + \ o\Sigma P\mu_\zeta') = -\ Q_2. \end{cases}$$

Ferner vereinfachen sich jetzt auch die Gleichungen (23) dadurch, daß man M_2 und Q_2 durch M_1 und Q_1 ersetzt. So ergibt sich:

$$(28) \quad \begin{cases} y = \frac{1}{2CbL}\left[\Sigma P\eta - \frac{4M_1}{L}(\mu_1 + \mu_2) + 4Q_1(\mu_1' + \mu_2')\right]; \\ \text{tang}\,\nu = \frac{1}{CbL^2}\left[\Sigma P\eta' - \frac{4M_1}{L}(\mu_1' - \mu_2') + 2Q_1(\eta_1 - \eta_2)\right]; \\ M = \frac{L}{4}\left[\Sigma P\mu + \frac{4M_1}{L}(\eta_1 + \eta_2) - 4Q_1(\eta_1' + \eta_2')\right]; \\ Q = \frac{1}{2}\left[\Sigma P\mu' + \frac{4M_1}{L}(\eta_1' - \eta_2') + 2Q_1(\mu_1 - \mu_2)\right]. \end{cases}$$

Da die hierin auftretenden Größen η, η', μ und μ' aus vorhandenen Tabellen entnommen oder aus Abbildung 3 ersehen werden können, so gestaltet sich die Rechnung nach (27) und (28) ziemlich einfach. Es ist aber als ein Mangel zu betrachten, daß die bisherigen Ergebnisse die Beziehung zwischen der Größe von y, tang ν, M und Q und der Lage des Punktes A, zu dem diese Werte gehören, nicht klar hervortreten lassen. Es ist das zum Teil die Folge davon, daß die Längen, deren Funktionen in obigen Gleichungen auftreten, von mehreren verschiedenen Anfangspunkten aus gerechnet werden, nämlich für die mit P multiplizierten Größen von den einzelnen Lasten und für die mit den Zeigern 1 und 2 versehenen Werte vom linken und rechten Ende des Stabes aus. Diesem Übelstand ist am besten dadurch abzuhelfen, daß man die Mitte des Stabes als Anfangspunkt der Messung für alle Grundabstände einführt. Bezeichnet man demgemäß den Grundabstand des Punktes A mit x, und x: L wie früher mit ξ; ferner die Abstände der einzelnen Lasten mit r_1 r_2, r_3 ... und die Quotienten aus denselben und L mit ϱ_1, ϱ_2, ϱ_3 . . ., so gehen die Gleichungen (28) in die folgenden über:

---

[27]) Die Zahlenwerte der Größen m, n, o sind vom Verfasser für Stablängen von 0 bis $2\pi L$ berechnet und in dem Werke „Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues" auf Seite 288 in Tabellenform, auf Seite 66 bildlich dargestellt. Für $\lambda = 0$ ist genau $m = \frac{1}{2}$, $n = \frac{1}{4}$, $o = \infty$. Mit wachsender Länge des Stabes wächst m, dagegen nehmen n und o ab, und zwar wird im Grenzfalle $\lambda = \infty$, $m = 1$, $n = 0$, $o = 1$.

$$
(29)\quad
\begin{cases}
y = \dfrac{1}{2\,Cb\,L}\,\Sigma P\eta \\
\quad + \dfrac{1}{Cb\,L}\,\Big(\quad u\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho \quad + v\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Cof}\,\xi\cos\xi \\
\quad + \dfrac{1}{Cb\,L}\,\Big(\quad v\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho \quad + w\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Sin}\,\xi\sin\xi\,; \\
\operatorname{tg}\nu = \dfrac{1}{Cb\,L^2}\,\Sigma P\eta' \\
\quad + \dfrac{1}{Cb\,L^2}\Big((u+v)\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho + (v+w)\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Sin}\,\xi\cos\xi \\
\quad - \dfrac{1}{Cb\,L^2}\Big((u-v)\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho + (v-w)\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Cof}\,\xi\sin\xi\,; \\
M = \dfrac{L}{4}\,\Sigma P\mu \\
\quad - \dfrac{L}{2}\,\Big(\quad v\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho \quad + w\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Cof}\,\xi\cos\xi \\
\quad + \dfrac{L}{2}\,\Big(\quad u\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho \quad + v\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Sin}\,\xi\sin\xi\,; \\
Q = \dfrac{1}{2}\,\Sigma P\mu' \\
\quad + \dfrac{1}{2}\Big((u-v)\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho + (v-w)\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Sin}\,\xi\cos\xi \\
\quad + \dfrac{1}{2}\Big((u+v)\,\Sigma P\,\mathfrak{Cof}\,\varrho\cos\varrho + (v+w)\,\Sigma P\,\mathfrak{Sin}\,\varrho\sin\varrho\Big)\,\mathfrak{Cof}\,\xi\sin\xi\,.
\end{cases}
$$

Die hierin auftretenden Größen u, v und w sind Funktionen nur von λ und durch die Gleichungen

$$
(30)\quad
\begin{cases}
u = \dfrac{2+\cos 2\lambda - \sin 2\lambda + e^{-2\lambda}}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}\,; \\
v = \dfrac{\cos 2\lambda + \sin 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}\,; \\
w = \dfrac{2-\cos 2\lambda + \sin 2\lambda - e^{-2\lambda}}{\mathfrak{Sin}\,2\lambda + \sin 2\lambda}
\end{cases}
$$

bestimmt. Die beiden ersten Gleichungen kamen schon in § 3 bei Untersuchung des durch eine Last in der Mitte beanspruchten Stabes vor (Gl. 8).

Als allgemeine Richtschnur für den Gebrauch der Gleichungen (29) möge das Nachstehende bemerkt werden: Das erste Hauptglied jeder Gleichung stellt der Ableitung gemäß denjenigen Wert dar, den die auf der linken Seite stehende Größe bei einem endlosen Stabe annehmen würde. Die Bedeutung dieses Gliedes ist vollkommen klar auch ohne die Einführung eines festen Anfangspunktes der Zählung für die Grundabschnitte. Die in den Summen auftretenden Produkte werden gebildet, indem man jedes P mit demjenigen Werte von η, η', μ und μ' multipliziert, welcher dem Abstande des Punktes A von diesem P entspricht. Dabei sind in den Gleichungen für tang ν und Q diejenigen Produkte, welche sich auf Lasten beziehen, die rechts von A liegen, mit entgegengesetztem Vorzeichen einzustellen. Im übrigen ist die Lage des Punktes A ohne Einfluß auf die Rechnungsregel. (Bezieht man dagegen die Lasten, wie auch den Punkt A, auf einen festen Nullpunkt, so erhält man die fraglichen Hauptglieder in einer Form, die besondere Rücksichtnahme auf die Unstetigkeiten erheischt, die in dem gesetzmäßigen Verlaufe von y, ν, M und Q an jedem Lastpunkte eintreten. Der größeren Allgemeinheit wegen ist dashalb das erste Hauptglied in jeder der Gleichungen (29) in einer Form beibehalten worden, die von derjenigen der beiden anderen abweicht.) Das zweite und das dritte Hauptglied jeder Gleichung drücken vereint die Änderung aus, welche die auf den endlosen Stab bezogenen Werte von y, ν, M und Q infolge der Heraustrennung eines Stückes von endlicher Länge erleiden. Das Gesetz, nach dem diese Änderung beim Fortschreiten des Punktes A verläuft, muß offenbar für die ganze

Stablänge dasselbe sein; denn da die Änderung nur aus der Beseitigung des Biegungsmomentes und der Querkraft an den Enden des Stabes entspringt, so können Stetigkeitsunterbrechungen an irgendeinem zwischenliegenden Querschnitte nicht vorkommen. Die Summen erstrecken sich im zweiten und dritten Hauptglied immer nur über eine Stabhälfte[28]).

§ 8. Der elastisch gelagerte Stab von endlicher Länge mit zwei gleichen und gleichweit von der Mitte abstehenden Lasten (Querschwelle). — Sind nur zwei gleiche Lasten vorhanden, so wird in (29)

$$\Sigma P \mathfrak{Cof}\, \varrho \cos \varrho = P \mathfrak{Cof}\, \varrho \cos \varrho$$
$$\text{und } \Sigma P \mathfrak{Sin}\, \varrho \sin \varrho = P \mathfrak{Sin}\, \varrho \sin \varrho .$$

Setzt man nun P als gemeinschaftlichen Faktor heraus und zur Abkürzung

$$(31) \quad \begin{cases} \boldsymbol{u \mathfrak{Cof}\, \varrho \cos \varrho + v \mathfrak{Sin}\, \varrho \sin \varrho = u_\varrho} \\ \text{und } \boldsymbol{v \mathfrak{Cof}\, \varrho \cos \varrho + w \mathfrak{Sin}\, \varrho \sin \varrho = v_\varrho}, \end{cases}$$

so nehmen die Gleichungen (29) die nachstehende einfachere Gestalt an:

$$(32) \quad \begin{cases} y = \frac{P}{CbL} \left[\frac{1}{2} \Sigma \eta + u_\varrho \cdot \mathfrak{Cof}\, \xi \cos \xi + v_\varrho \cdot \mathfrak{Sin}\, \xi \sin \xi \right]; \\ \operatorname{tang} \nu = \frac{P}{CbL^2} \left[\Sigma \eta' + (u_\varrho + v_\varrho) \mathfrak{Sin}\, \xi \cos \xi - (u_\varrho - v_\varrho) \mathfrak{Cof}\, \xi \sin \xi \right]; \\ M = \frac{PL}{2} \left[\frac{1}{2} \Sigma \mu - v_\varrho \cdot \mathfrak{Cof}\, \xi \cos \xi + u_\varrho \cdot \mathfrak{Sin}\, \xi \sin \xi \right]; \\ Q = \frac{P}{2} \left[\Sigma \mu' - (u_\varrho - v_\varrho) \mathfrak{Sin}\, \xi \cos \xi + (u_\varrho + v_\varrho) \mathfrak{Cof}\, \xi \sin \xi \right]. \end{cases}$$

Für den Teil des Stabes, der zwischen den beiden Lasten liegt, können die Gleichungen (32) dadurch noch weiter vereinfacht werden, daß man die Abstände des Punktes A von den beiden Lasten durch die Abstände von der Stabmitte ausdrückt, d. h. indem man nach Abb. 8

$$x_1 = x + r \text{ und } x_2 = r - x$$

oder nach Division mit L

$$\xi_1 = \xi + \varrho \text{ und } \xi_2 = \varrho - \xi$$

setzt. Werden noch die abkürzenden Bezeichnungen

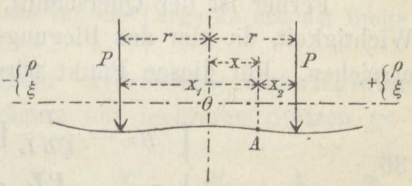


Abb. 8.

$$(33) \quad \eta_\varrho + u_\varrho = [\eta_0] \text{ und } \mu_\varrho - v_\varrho = [\mu_0]$$

eingeführt, so folgt aus (32) nach einigen Umformungen:

$$(34) \quad \begin{cases} y = \frac{P}{CbL} \left[[\eta_0] \cdot \mathfrak{Cof}\, \xi \cos \xi - [\mu_0] \cdot \mathfrak{Sin}\, \xi \sin \xi \right]; \\ \operatorname{tang} \nu = \frac{P}{CbL^2} \left[([\eta_0] - [\mu_0]) \mathfrak{Sin}\, \xi \cos \xi - ([\eta_0] + [\mu_0]) \mathfrak{Cof}\, \xi \sin \xi \right]; \\ M = \frac{PL}{2} \left[[\mu_0] \cdot \mathfrak{Cof}\, \xi \cos \xi + [\eta_0] \cdot \mathfrak{Sin}\, \xi \sin \xi \right]; \\ Q = \frac{P}{2} \left[([\eta_0] + [\mu_0]) \mathfrak{Sin}\, \xi \cos \xi + ([\eta_0] - [\mu_0]) \mathfrak{Cof}\, \xi \sin \xi \right]^{29}). \end{cases}$$

[28]) Der zahlenmäßige Gebrauch der Gleichungen (29) wird durch die vom Verfasser berechneten Tabellen der Größen η, η', μ, μ', u, v und w, sowie der Sinus- und Cosinusprodukte sehr erleichtert. S. die Berechnung des Eisenb.-Oberb., S. 282 bis 288. — Eine ausführliche Ableitung der obigen Formeln enthält § 11 des genannten Werkes.

[29]) Eine ausführlichere Darstellung des oben angedeuteten Entwicklungsganges enthält § 12 der Berechnung des Eisenb.-Oberb. — Tabellen der Zahlenwerte von $[\eta_0]$ und $[\mu_0]$ finden sich daselbst auf Seite 294 und 295.

Mit Hilfe dieser Gleichungen lassen sich die Werte von y, tang ν, M und Q für alle zwischen den Lasten liegenden Querschnitte leicht bestimmen. Für den außerhalb der Lasten gelegenen Teil des Stabes würden die Gleichungen (32) anzuwenden sein. Da indessen der größte Wert von M und Q stets im Angriffspunkte der Last auftritt, während y auch außerhalb der Lasten seinen größten Wert erreichen kann, so kommt für die Anwendung meist nur die erste Gleichung der Gruppe (32) in Betracht. Die Senkung von Punkten außerhalb der Lasten kann aber mit Hilfe des Satzes von der Gegenseitigkeit der Verschiebungen ohne weiteres auf diejenige eines innerhalb liegenden Punktes zurückgeführt werden[30]). Wäre z. B die Senkung y_l der Stabenden zu bestimmen, so setze man in (31) und (33) an Stelle von ϱ den Wert λ; ferner setze man in der ersten Gleichung der Gruppe (34) ϱ an Stelle von ξ, dann ergibt diese Gleichung den gesuchten Wert y_l.

Um für die weitere Anwendung bequemere Ausdrücke zu gewinnen, bezeichnen wir die auf der rechten Seite der Gleichungen (34) innerhalb der großen Klammern stehenden Funktionen der Reihe nach allgemein mit

$$[\eta];\ [\eta'];\ [\mu];\ [\mu'],$$

und sofern sie sich auf einen besonderen Punkt beziehen, mit dem betreffenden Zeiger wie dies für die zur Stabmitte gehörigen Werte schon in den Gleichungen (33) geschehen ist. Denn mit $\xi = x : L = 0$ ergibt sich in der Tat aus (34)

$$y_0 = \frac{P}{CbL}[\eta_0] \quad \text{und} \quad M_0 = \frac{PL}{2}[\mu_0]. \tag{35}$$

Ferner ist der Querschnitt, in welchem die Last angreift, von besonderer Wichtigkeit, da hier das Biegungsmoment M und die Querkraft Q ihren größen Wert erreichen. Für diesen Punkt wird mit $\xi = r : L = \varrho$:

$$\begin{cases} y_r = \frac{P}{CbL}[\eta_\varrho]; & \text{tang } \nu = \frac{P}{CbL^2}[\eta_\varrho']; \\ M_r = \frac{PL}{2}[\mu_\varrho]; & Q = \frac{P}{2}[\mu_\varrho']. \end{cases} \tag{36}$$

Aus der ersten Gleichung der vorstehenden Gruppe ergibt sich noch für den Druck D, welcher in seinem Angriffspunkte die Senkung $y = 1$ herbeiführen würde, der Wert

$$D = \frac{CbL}{[\eta_\varrho]}, \text{ womit dann } y_r = \frac{P}{D}. \tag{37}$$

Von dieser einfachen Beziehung läßt sich, wie später gezeigt werden soll, bei Berechnung der Schiene und Bestimmung des Druckes P, den sie auf die Querschwelle ausübt, mit Nutzen Gebrauch machen[31]).

Wendet man dieselbe Bezeichnungsweise auch auf die Gleichungen (32) an, so erhält man schließlich für die Stabenden mit $\xi = l : L = \lambda$:

$$y_l = \frac{P}{CbL}[\eta_\lambda]. \tag{38}$$

---

[30]) Im vorliegenden Falle hätte der Satz zu lauten: Die Senkung, die ein in den Punkten B angreifendes Lastenpaar in den (symmetrisch zur Mitte, aber sonst beliebig gelegenen) Punkten A erzeugt, ist ebenso groß wie die Senkung, die dieselben Lasten, an den Punkten A angreifend, in B hervorrufen würden.

[31]) S. § 9, Gl. (45), und § 12.

Besonderen Vorteil gewähren diese Abkürzungen für die Zahlenrechnung, wenn man die Werte von $[\eta_0]$, $[\mu_0]$, $[\eta_Q]$, $[\mu_Q]$ und $[\eta_\lambda]$ aus den vorhandenen Tabellen entnimmt[32]).

Es ist bisher vorausgesetzt worden, daß der Stab in seiner ganzen Länge stetig unterstützt sei. Beim Querschwellen-Oberbau ist eine solche Lagerung in manchen Fällen nicht zulässig, da bei sparsam bemessener Länge und geringer Steifigkeit der Schwelle eine starke Aufbiegung in der Mitte eintritt, die übermäßige Spannungen und Änderungen der Spurweite zur Folge haben könnte. Man hat dem häufig durch ein weniger festes Unterstopfen des mittleren Teiles der Schwelle abzuhelfen gesucht. Um den Einfluß dieses Verfahrens wenigstens näherungsweise zu ermitteln, möge angenommen werden, daß die Schwelle von der Mitte aus nach beiden Seiten hin auf eine kurze Strecke von der Gesamtlänge $2a$ überhaupt nicht unterstützt sei. Ist der hier ausfallende Gegendruck $= P_0$, so wird sich die hohlliegende Schwelle annähernd in demselben Zustande befinden, wie eine durchweg unterstützte, auf deren Mitte die Last P_0 gelagert ist. Dieser Fall läßt sich durch Verbindung der soeben entwickelten Gleichungen mit den Ergebnissen des § 3 behandeln. Bezeichnet man den Wert des Klammerausdrucks auf der rechten Seite der ersten Gleichung der Gruppe (10) kurz mit (η) und für die Stabmitte mit (η_0), dann wird nach (10) und (35):

$$y_0 = \frac{P_0}{2\,CbL}(\eta_0) + \frac{P}{CbL}[\eta_0].$$

Die Kraft P_0 ist dieser Senkung proportional, und zwar ist zu setzen

$$P_0 = 2ab \cdot p_0 = 2Cab \cdot y_0.$$

Entfernt man y_0 aus diesen beiden Gleichungen, so ergibt sich mit $a : L = \alpha$:

$$(39) \qquad P_0 = 2\alpha P \frac{[\eta_0]}{1 - \alpha(\eta_0)} \quad \text{und} \quad y_0 = \frac{P_0}{2aCb} = \frac{P}{CbL} \frac{[\eta_0]}{1 - \alpha(\eta_0)}.$$

Mit diesem Werte von P_0 kann man nun aus (10) die Beträge ermitteln, um die sich die nach (34) für den stetig unterstützten Stab berechneten Größen y, tang ν, M und Q dadurch ändern, daß der Gegendruck der Bettung in der Mitte auf einer Fläche von der Länge $2a$ und der Breite b aufgehoben wird[33]).

§ 9. Der Stab auf elastischen Einzelstützen. Allgemeine Entwicklung der Grundformeln. — Die Berechnung eines Trägers auf mehreren Stützen gestaltet sich im allgemeinen am einfachsten und übersichtlichsten, wenn man von den Clapeyronschen Gleichungen für die Stützenmomente Gebrauch macht. Auf den elastisch gestützten Träger lassen sich diese Gleichungen jedoch nicht ohne weiteres anwenden, da die in ihnen enthaltenen Höhenunterschiede der Stützen nicht von vornherein bekannt, sondern von der Größe der erst zu ermittelnden Stützendrücke abhängig sind. Es müssen deshalb noch die allgemeinen Beziehungen

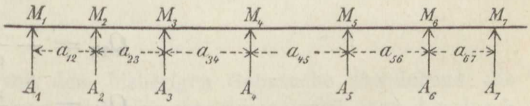


Abb. 9.

[32]) S. d. Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues, S. 294 bis 299. Diese Tabellen gelten für beliebige Spurweite. Die Vollspur ($r = 75$ cm) berücksichtigen besondere Tabellen auf S. 300 bis 305, durch welche die Zahlenrechnung noch weiter vereinfacht wird. Beispiele für die Anwendung finden sich in den Paragraphen 24 bis 26 daselbst, sowie in dem Berichte von Ast über die Verstärkung der Eisenbahngleise (Verhandl. d. internat. Eisenb.-Kongr. 1895, Frage I), und besonders zahlreich in der Abhandlung von Blum: Vergleichende Betrachtungen über die Werte verschiedener Oberbauanordnungen auf Querschwellen (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1896). Weiter verdient hier Erwähnung der Aufsatz von Ast über die Querschwelle und ihr Lager (Verhandl. d. internat. Eisenb.-Kongr. 1895, S. 1 ff., sowie Organ. f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1898, Beilage), in dem der Einfluß einer nur teilweisen Unterstopfung der Schwelle nach einem von Helly entwickelten Verfahren untersucht ist. Vgl. auch das IV. Kapitel.

[33]) Eine Tabelle der Zahlenwerte von (η_0) findet sich auf S. 289 d. Berechnung des Eisenb.-Oberb. Wegen einer anderen Art der Berechnung des Einflusses einer nur teilweisen Unterstopfung vgl. Fußnote 32.

zwischen den Stützendrücken und Stützenmomenten hinzugezogen werden. Da die meisten die Lehre vom Träger auf mehreren Stützen behandelnden Werke diesen Teil nur kurz oder gar nicht erörtern, so wollen wir hier etwas näher darauf eingehen [33a]).

Wir nehmen einen Träger auf sieben, von 1 bis 7 bezifferten Stützen an. Die zu den einzelnen Stützen gehörigen Auflagerdrücke und Biegungsmomente bezeichnen wir mit den Buchstaben A und M und der betreffenden Nummer, die Stützenabstände mit a und den Nummern der begrenzenden Stützen, wie dies in Abbildung 9 durchgeführt ist. Die dicht neben den Stützen auftretenden Querkräfte mögen mit Q und den Ziffern der Felder bezeichnet werden, innerhalb deren sie liegen.

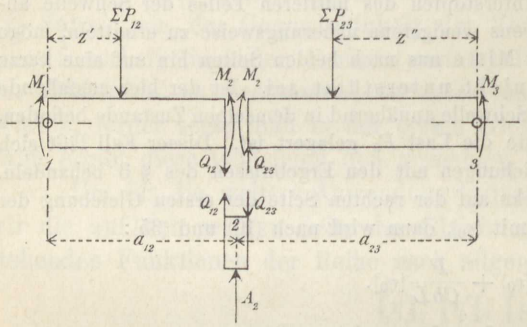


Abb. 10.

Denkt man sich den Träger bei beliebiger Belastung in der Weise zerlegt, daß über jeder Stütze rechts und links von ihr zwei unendlich nahe Schnitte geführt werden und denkt man sich die inneren Kräfte M und Q in den Schnitten durch gleichwertige äußere ersetzt, so wird ohne Änderung des vorhandenen Gleichgewichtes ein Belastungszustand herbeigeführt, wie ihn Abb. 10 beispielsweise für die Stütze 2 und die beiden angrenzenden Felder veranschaulicht. Hierin ist die Mittelkraft der in den Feldern 12 und 23 befindlichen Lasten mit ΣP_{12}, bzw. ΣP_{23} bezeichnet, und das über der Stütze 2 herausgeschnittene (unendlich kurz zu denkende) Stabstück der Deutlichkeit wegen etwas nach unten gerückt. Bei diesem Zustande lauten die Bedingungen des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Punkte 1 und 3 für die Stabstücke 12 und 23, sowie gegen Verschiebung des unendlich kleinen Auflagerstückes:

$$Q_{12} = -\frac{z'}{a_{12}}\Sigma P_{12} - \frac{M_1 - M_2}{a_{12}};$$

$$Q_{23} = \frac{z''}{a_{23}}\Sigma P_{23} - \frac{M_2 - M_3}{a_{23}};$$

$$Q_{23} - Q_{12} = A_2 = \frac{z'}{a_{12}}\Sigma P_{12} + \frac{M_1 - M_2}{a_{12}} + \frac{z''}{a_{23}}\Sigma P_{23} - \frac{M_2 - M_3}{a_{23}}.$$

Hierin stellen die Glieder mit P offenbar den Wert dar, den der Auflagerdruck A_2 bei Wegfall der Stützenmomente, also bei Ersatz des wirklichen

33a) Es liegt in der Natur der Sache, daß durch die Annahme einer großen Zahl elastischer Stützen die Aufgabe verwickelter wird, als bei Voraussetzung weniger, starrer Stützen. Um nun trotzdem die Rechnung möglichst klar und übersichtlich zu gestalten, empfiehlt es sich, das im Brückenbau übliche und berechtigte, für den vorliegenden Zweck aber zu schwerfällige Verfahren der Anwendung allgemeiner Bezeichnungen für die Anzahl und die Ordnungsnummern der aufeinander folgenden Felder zu verlassen, und statt dessen gleich eine bestimmte Zahl und Reihenfolge der Stützen anzunehmen, also gewissermaßen ein Lösungsbeispiel zu geben. Der Allgemeinheit wird hierdurch in keiner Weise Abbruch getan, da der regelmäßige Bau der Endgleichungen die unmittelbare Übertragung auf jede beliebige andere Stützenzahl gestattet. Nach diesen Gesichtspunkten ist die obige Entwicklung durchgeführt.

Trägers durch eine Reihe frei auf den Stützen ruhender Einzelträger annehmen würde. Wir wollen diesen Wert mit $\mathfrak{A}_2$, und für die übrigen Stützpunkte ähnlich bezeichnen.

Durch Anwendung derselben Betrachtungsweise auf die übrigen Zwischenstützen ergibt sich eine Reihe von Gleichungen, die sich von den vorstehenden nur durch die Bezifferung der einzelnen Größen unterscheiden. Dagegen erhält man etwas abweichende Ergebnisse bei den Endstützen, und zwar wird, wie leicht nachzuweisen,

$$\text{für die Stütze 1:}\quad A_1 = \frac{z''}{a_{12}}\Sigma P_{12} - \frac{M_1 - M_2}{a_{12}}$$

$$\text{und für die Stütze 7:}\quad A_7 = \frac{z''}{a_{67}}\Sigma P_{67} + \frac{M_6 - M_7}{a_{67}}.$$

Mit Anwendung der vorher erläuterten abgekürzten Bezeichnung erhalten wir also jetzt als allgemeinen Ausdruck für die Beziehungen zwischen den Auflagerdrücken und den Stützenmomenten die nachstehende Gruppe von Gleichungen:

(40)
$$\begin{cases} A_1 = \mathfrak{A}_1 - \dfrac{M_1 - M_2}{a_{12}}; \\ A_2 = \mathfrak{A}_2 + \dfrac{M_1 - M_2}{a_{12}} - \dfrac{M_2 - M_3}{a_{23}}; \\ A_3 = \mathfrak{A}_3 + \dfrac{M_2 - M_3}{a_{23}} - \dfrac{M_3 - M_4}{a_{34}}; \\ A_4 = \mathfrak{A}_4 + \dfrac{M_3 - M_4}{a_{34}} - \dfrac{M_4 - M_5}{a_{45}}; \\ A_5 = \mathfrak{A}_5 + \dfrac{M_4 - M_5}{a_{45}} - \dfrac{M_5 - M_6}{a_{56}}; \\ A_6 = \mathfrak{A}_6 + \dfrac{M_5 - M_6}{a_{56}} - \dfrac{M_6 - M_7}{a_{67}}; \\ A_7 = \mathfrak{A}_7 + \dfrac{M_6 - M_7}{a_{67}}. \end{cases}$$

In vorstehenden Gleichungen haben wir (von dem bisherigen Gebrauche abweichend) die Momente an den Endstützen 1 und 7 von Null verschieden angenommen, weil man hierdurch die volle Allgemeinheit erreicht. Es wird dadurch nämlich nicht nur der Fall einer festen oder elastischen Einspannung, sondern auch der des Vorhandenseins überstehender und in beliebiger Weise belasteter Enden berücksichtigt, wie er z. B. bei dem Schienenstrange mit schwebender Stoßverbindung auftritt. Bezeichnen wir das Biegungsmoment und die Querkraft, die in einem beliebigen Punkte im Abstande a' von der Endstütze wirken mögen, mit M' und Q', die Mittelkraft aus allen etwa auf dem überstehenden Stücke ruhenden Lasten mit $\Sigma P'$, ihren Abstand von der Endstütze 1 mit z', die Querkraft links von der letzteren mit Q_1, dann ist nach Abbildung 11 das Drehmoment für den Punkt 2:

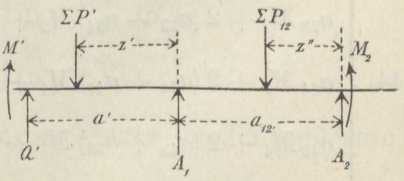


Abb. 11.

$$M' + Q'(a' + a_{12}) + A_1 a_{12} - (z' + a_{12})\Sigma P' - z''\Sigma P_{12} = M_2.$$

Da nun

$$M' + Q' a' - z' \cdot \Sigma P' = M_1$$

und

$$Q' - \Sigma P' = Q_1,$$

(41) so folgt:

$$A_1 = \frac{z''}{a_{12}}\Sigma P_{12} - Q_1 - \frac{M_1 - M_2}{a_{12}}.$$

Die ersten beiden Glieder der rechten Seite dieser Gleichung drücken zusammen den Wert aus, den der Auflagerdruck A_1 annehmen würde, wenn die Stützenmomente M_1 und M_2 Null wären; ihre algebraische Summe kann also wie früher mit $\mathfrak{A}_1$ bezeichnet werden. Dann stimmt aber die letzte Gleichung völlig mit der ersten der Gruppe (40) überein. In ähnlicher Weise läßt sich für das andere Ende des Stabes bei Vorhandensein eines Überstandes und Bezeichnung der Querkraft rechts von der Stütze 7 mit Q_7 die Gleichung

$$A_7 = \frac{z'}{a_{67}} \Sigma P_{67} + Q_7 + \frac{M_6 - M_7}{a_{67}} \tag{42}$$

ableiten, in der die Summe der ersten beiden Glieder der rechten Seite mit $\mathfrak{A}_7$ bezeichnet werden kann.

Mit dem Vorbehalt, daß die Größen $\mathfrak{A}$ den Anforderungen des einzelnen Falles gemäß bestimmt werden, gelten hiernach die Gleichungen (40) in der Tat ganz allgemein.

Der obigen Annahme, daß die Endmomente M_1 und M_7 von Null verschieden seien, entspricht es, daß in den Clapeyronschen Gleichungen auch die Neigung der Endtangenten der elastischen Linie auftritt; wir führen daher für diese die Bezeichnung ν_1 und ν_7 ein. Ferner nehmen wir an, daß in jedem Felde höchstens eine Einzellast G wirken könne (wie dies bei der Schiene stets der Fall ist), wobei G für die einzelnen Felder verschieden sein mag. Die Entfernung der Last von der linken Grenze des Feldes nennen wir z. Wird nun noch zur Abkürzung allgemein

$$\left\{\begin{array}{l} \dfrac{G}{a} z\,(a - z) \cdot (a + z) = N' \\ \text{und } \dfrac{G}{a} z\,(a - z)\,(2a - z) = N'' \end{array}\right. \tag{43}$$

gesetzt und die Höhe der einzelnen Stützen durch den Abstand y von einer beliebigen wagerechten Linie — etwa der Achse des unbelasteten Stabes — festgelegt, wobei die auf die verschiedenen Stützen und Felder bezüglichen Größen durch die betreffenden Nummern zu kennzeichnen sind, so erhalten wir die Clapeyronschen Gleichungen in nachstehender Form:

$$\left\{\begin{array}{l}
2(0 + a_{12})M_1 + a_{12}M_2 = -6EJ\left\{-\nu_1 - \dfrac{y_1 - y_2}{a_{12}}\right\} - N_{12}'' ; \\
a_{12}M_1 + 2(a_{12} + a_{23})M_2 + a_{23}M_3 = -6EJ\left\{\dfrac{y_1 - y_2}{a_{12}} - \dfrac{y_2 - y_3}{a_{23}}\right\} - N_{12}' - N_{23}'' ; \\
a_{23}M_2 + 2(a_{23} + a_{34})M_3 + a_{34}M_4 = -6EJ\left\{\dfrac{y_2 - y_3}{a_{23}} - \dfrac{y_3 - y_4}{a_{34}}\right\} - N_{23}' - N_{34}'' ; \\
a_{34}M_3 + 2(a_{34} + a_{45})M_4 + a_{45}M_5 = -6EJ\left\{\dfrac{y_3 - y_4}{a_{34}} - \dfrac{y_4 - y_5}{a_{45}}\right\} - N_{34}' - N_{45}'' ; \\
a_{45}M_4 + 2(a_{45} + a_{56})M_5 + a_{56}M_6 = -6EJ\left\{\dfrac{y_4 - y_5}{a_{45}} - \dfrac{y_5 - y_6}{a_{56}}\right\} - N_{45}' - N_{56}'' ; \\
a_{56}M_5 + 2(a_{56} + a_{67})M_6 + a_{67}M_7 = -6EJ\left\{\dfrac{y_5 - y_6}{a_{56}} - \dfrac{y_6 - y_7}{a_{67}}\right\} - N_{56}' - N_{67}'' ; \\
a_{67}M_6 + 2(a_{67} + 0)M_7 = -6EJ\left\{\dfrac{y_6 - y_7}{a_{67}} + \nu_7\right\} - N_{67}' .
\end{array}\right. \tag{44}$$

Es ist nunmehr die Annahme der elastischen Stützung in die Rechnung einzuführen. Bezeichnen wir den Auflagerdruck, der die Stützensenkung 1 erzeugt, mit D, so besteht für jede Stütze eine Gleichung von der Form

$$y = \frac{A}{D}, \tag{45}$$

mit deren Hilfe sich aus (40) sieben Gleichungen für die sieben Größen y_1 bis y_7 ergeben, die allerdings noch die Unbekannten M_1 bis M_7 enthalten[34]). Durch Verbindung dieser Gleichungen mit (40) werden dann aber sowohl die Momente, als auch die Senkungen der Stützpunkte bestimmt.

Für den praktischen Bedarf würde es genügen, bei allen Mittelstützen das gleiche D und nur bei den Endstützen davon verschiedene Werte D_1 und D_7 anzunehmen, womit der Möglichkeit der Verwendung einer besonderen Schwellenform oder Bettungsart an den Stößen Rechnung getragen wäre. Es empfiehlt sich das aber vorläufig deshalb [nicht, weil damit allein eine wesentliche Vereinfachung der Formeln nicht erreicht, ihre Allgemeinheit und Regelmäßigkeit aber beeinträchtigt werden würde[35]). Wir nehmen deshalb alle D verschieden an und suchen die Übersicht und Einfachheit dadurch zu wahren, daß wir eine Reihe abkürzender Bezeichnungen einführen, mit deren Hülfe die Rechnung schrittweise fortgesetzt werden kann.

Berechnet man zunächst die aus (40) und (45) folgenden Werte, der in (44) auf der rechten Seite stehenden mit $6EJ$ multiplizierten Klammergrößen, so erhält man Ausdrücke, die sich nach Funktionen von $\mathfrak{A}$ und von M sondern lassen. Die ersteren Funktionen wollen wir mit $\mathfrak{a}$ und den Ordnungsziffern 1 bis 7 bezeichnen; in den anderen mögen die Koeffizienten der M die Bezeichnung $\mathfrak{m}$ und je zwei von 1 bis 7 fortschreitende Ziffern erhalten, deren erste die Zeile andeutet, während die zweite mit der Ziffer des zugehörigen M übereinstimmt. Dann ergeben sich zunächst für die Hilfsgrößen $\mathfrak{a}$ die folgenden Gleichungen:

$$
(46)\qquad
\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{a}_1 &= 6EJ\left\{\quad 0 \quad + \left(0 + \frac{1}{a_{12}}\right)\frac{\mathfrak{A}_1}{D_1} - \frac{1}{a_{12}}\frac{\mathfrak{A}_2}{D_2}\right\};\\
\mathfrak{a}_2 &= 6EJ\left\{-\frac{1}{a_{12}}\frac{\mathfrak{A}_1}{D_1} + \left(\frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{23}}\right)\frac{\mathfrak{A}_2}{D_2} - \frac{1}{a_{23}}\frac{\mathfrak{A}_3}{D_3}\right\};\\
\mathfrak{a}_3 &= 6EJ\left\{-\frac{1}{a_{23}}\frac{\mathfrak{A}_2}{D_2} + \left(\frac{1}{a_{23}} + \frac{1}{a_{34}}\right)\frac{\mathfrak{A}_3}{D_3} - \frac{1}{a_{34}}\frac{\mathfrak{A}_4}{D_4}\right\};\\
\mathfrak{a}_4 &= 6EJ\left\{-\frac{1}{a_{34}}\frac{\mathfrak{A}_3}{D_3} + \left(\frac{1}{a_{34}} + \frac{1}{a_{45}}\right)\frac{\mathfrak{A}_4}{D_4} - \frac{1}{a_{45}}\frac{\mathfrak{A}_5}{D_5}\right\};\\
\mathfrak{a}_5 &= 6EJ\left\{-\frac{1}{a_{45}}\frac{\mathfrak{A}_4}{D_4} + \left(\frac{1}{a_{45}} + \frac{1}{a_{56}}\right)\frac{\mathfrak{A}_5}{D_5} - \frac{1}{a_{56}}\frac{\mathfrak{A}_6}{D_6}\right\};\\
\mathfrak{a}_6 &= 6EJ\left\{-\frac{1}{a_{56}}\frac{\mathfrak{A}_5}{D_5} + \left(\frac{1}{a_{56}} + \frac{1}{a_{67}}\right)\frac{\mathfrak{A}_6}{D_6} - \frac{1}{a_{67}}\frac{\mathfrak{A}_7}{D_7}\right\};\\
\mathfrak{a}_7 &= 6EJ\left\{-\frac{1}{a_{67}}\frac{\mathfrak{A}_6}{D_6} + \left(\frac{1}{a_{67}} + 0\right)\frac{\mathfrak{A}_7}{D_7} - 0 \quad\right\}.
\end{aligned}\right.
$$

Da die $\mathfrak{A}$ nach (40) Auflagerdrücke darstellen, so hängen die Hülfsgrößen $\mathfrak{a}$ vom Belastungszustand ab.

Ferner erhält man für die mit $\mathfrak{m}$ bezeichneten Koeffizienten der M die weiteren Gleichungen:

---

[34]) Dabei ist angenommen, daß ν_1 und ν_7 gegeben seien. Wären umgekehrt M_1 und M_7 bekannt, so würden statt ihrer die ersteren Größen als Unbekannte auftreten. Wegen D vgl. § 8, Gl. (37). Bei Holzschwellen ist außer der Einsenkung in das Bett auch noch die Zusammendrückung des Holzes zu berücksichtigen.

[35]) Als fernerer Nachteil der Einführung gleicher D für die Mittelschwellen ist noch zu erwähnen, daß die so gewonnenen Grundformeln nicht mehr ohne weiteres auf jede beliebige Stützenzahl angewende werden können, sondern bei weniger als vier Stützen durch eine besondere Rechnung ersetzt werden müssen. Vgl. Fußnote 38.

(47)
$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{m}_{11} &= 6EJ\left\{0 + 0 + \frac{\frac{1}{D_1}+\frac{1}{D_2}}{a_{12}^2}\right\};\\
\mathfrak{m}_{22} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_1}+\frac{1}{D_2}}{a_{12}^2} + \frac{2\frac{1}{D_2}}{a_{12}a_{23}} + \frac{\frac{1}{D_2}+\frac{1}{D_3}}{a_{23}^2}\right\};\\
\mathfrak{m}_{33} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_2}+\frac{1}{D_3}}{a_{23}^2} + \frac{2\frac{1}{D_3}}{a_{23}a_{34}} + \frac{\frac{1}{D_3}+\frac{1}{D_4}}{a_{34}^2}\right\};\\
\mathfrak{m}_{44} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_3}+\frac{1}{D_4}}{a_{34}^2} + \frac{2\frac{1}{D_4}}{a_{34}a_{45}} + \frac{\frac{1}{D_4}+\frac{1}{D_5}}{a_{45}^2}\right\};\\
\mathfrak{m}_{55} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_4}+\frac{1}{D_5}}{a_{45}^2} + \frac{2\frac{1}{D_5}}{a_{45}a_{56}} + \frac{\frac{1}{D_5}+\frac{1}{D_6}}{a_{56}^2}\right\};\\
\mathfrak{m}_{66} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_5}+\frac{1}{D_6}}{a_{56}^2} + \frac{2\frac{1}{D_6}}{a_{56}a_{67}} + \frac{\frac{1}{D_6}+\frac{1}{D_7}}{a_{67}^2}\right\};\\
\mathfrak{m}_{77} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_6}+\frac{1}{D_7}}{a_{67}^2} + 0 + 0\right\}.
\end{aligned}\right.$$

(48)
$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{m}_{12} &= 6EJ\left\{0 + \frac{\frac{1}{D_1}+\frac{1}{D_2}}{a_{12}^2} + \frac{\frac{1}{D_2}}{a_{12}a_{23}}\right\} = \mathfrak{m}_{21};\\
\mathfrak{m}_{23} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_2}}{a_{12}a_{23}} + \frac{\frac{1}{D_2}+\frac{1}{D_3}}{a_{23}^2} + \frac{\frac{1}{D_3}}{a_{23}a_{34}}\right\} = \mathfrak{m}_{32};\\
\mathfrak{m}_{34} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_3}}{a_{23}a_{34}} + \frac{\frac{1}{D_3}+\frac{1}{D_4}}{a_{34}^2} + \frac{\frac{1}{D_4}}{a_{34}a_{45}}\right\} = \mathfrak{m}_{43};\\
\mathfrak{m}_{45} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_4}}{a_{34}a_{45}} + \frac{\frac{1}{D_4}+\frac{1}{D_5}}{a_{45}^2} + \frac{\frac{1}{D_5}}{a_{45}a_{56}}\right\} = \mathfrak{m}_{54};\\
\mathfrak{m}_{56} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_5}}{a_{45}a_{56}} + \frac{\frac{1}{D_5}+\frac{1}{D_6}}{a_{56}^2} + \frac{\frac{1}{D_6}}{a_{56}a_{67}}\right\} = \mathfrak{m}_{65};\\
\mathfrak{m}_{67} &= 6EJ\left\{\frac{\frac{1}{D_6}}{a_{56}a_{67}} + \frac{\frac{1}{D_6}+\frac{1}{D_7}}{a_{67}^2} + 0\right\} = \mathfrak{m}_{76};
\end{aligned}\right.$$

(49)
$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{m}_{13} &= 6EJ\,\frac{\frac{1}{D_2}}{a_{12}a_{23}} = \mathfrak{m}_{31};\\
\mathfrak{m}_{24} &= 6EJ\,\frac{\frac{1}{D_3}}{a_{23}a_{34}} = \mathfrak{m}_{42};\\
\mathfrak{m}_{35} &= 6EJ\,\frac{\frac{1}{D_4}}{a_{34}a_{45}} = \mathfrak{m}_{53};\\
\mathfrak{m}_{46} &= 6EJ\,\frac{\frac{1}{D_5}}{a_{45}a_{56}} = \mathfrak{m}_{64};\\
\mathfrak{m}_{57} &= 6EJ\,\frac{\frac{1}{D_6}}{a_{56}a_{67}} = \mathfrak{m}_{75}.
\end{aligned}\right.$$

Die Größen $\mathfrak{m}$ sind von der Belastung unabhängig; ihre Berechnung aus (47) bis (49) gestaltet sich ziemlich einfach, wenn man beachtet, daß sie sich aus einer nur geringen Zahl verschiedener Ausdrücke (nämlich 11) zusammensetzen lassen.

Hiermit ergeben sich für die mit $6EJ$ multiplizierten Teile der rechten Seite von (44) die Gleichungen

$$6EJ\left\{-\nu_1 - \frac{y_1-y_2}{a_{12}}\right\} = -\mathfrak{a}_1 - 6EJ\nu_1 + \mathfrak{m}_{11}M_1 - \mathfrak{m}_{12}M_2 + \mathfrak{m}_{13}M_3;$$

$$6EJ\left\{\frac{y_1-y_2}{a_{12}} - \frac{y_2-y_3}{a_{23}}\right\} = -\mathfrak{a}_2 + - \mathfrak{m}_{21}M_1 + \mathfrak{m}_{22}M_2 - \mathfrak{m}_{23}M_3 + \mathfrak{m}_{24}M_4;$$

$$6EJ\left\{\frac{y_2-y_3}{a_{23}} - \frac{y_3-y_4}{a_{34}}\right\} = -\mathfrak{a}_3 + \mathfrak{m}_{31}M_1 - \mathfrak{m}_{32}M_2 + \mathfrak{m}_{33}M_3 - \mathfrak{m}_{34}M_4 + \mathfrak{m}_{35}M_5;$$

$$6EJ\left\{\frac{y_3-y_4}{a_{34}}-\frac{y_4-y_5}{a_{45}}\right\}=-\mathfrak{a}_4+\mathfrak{m}_{42}M_2-\mathfrak{m}_{43}M_3+\mathfrak{m}_{44}M_4-\mathfrak{m}_{45}M_5+\mathfrak{m}_{46}M_6;$$

$$6EJ\left\{\frac{y_4-y_5}{a_{45}}-\frac{y_5-y_6}{a_{56}}\right\}=-\mathfrak{a}_5+\mathfrak{m}_{53}M_3-\mathfrak{m}_{54}M_4+\mathfrak{m}_{55}M_5-\mathfrak{m}_{56}M_6+\mathfrak{m}_{57}M_7;$$

$$6EJ\left\{\frac{y_5-y_6}{a_{56}}-\frac{y_6-y_7}{a_{67}}\right\}=-\mathfrak{a}_6+\mathfrak{m}_{64}M_4-\mathfrak{m}_{65}M_5+\mathfrak{m}_{66}M_6-\mathfrak{m}_{67}M_7;$$

$$6EJ\left\{\frac{y_6-y_7}{a_{67}}+\nu_7\right\}=-\mathfrak{a}_7+\mathfrak{m}_{75}M_5-\mathfrak{m}_{76}M_6+\mathfrak{m}_{77}M_7+6EJ\nu_7.$$

Setzt man nun diese Werte in die Gleichungen (44) ein, und ordnet man nach den Unbekannten M_1 bis M_7, so erhält man schließlich die folgende Gleichungsgruppe, aus der die M nach den Regeln der Determinantenlehre berechnet werden können, sobald die Zahlenwerte der übrigen Größen gegeben sind.

$$(50)\quad\left\{\begin{array}{r}
(2(0+a_{12})+\mathfrak{m}_{11})M_1+(a_{12}-\mathfrak{m}_{12})M_2+\mathfrak{m}_{13}M_3=\mathfrak{a}_1+6EJ\nu_1-N_{12}'';\\
\hline
(a_{12}-\mathfrak{m}_{12})M_1+(2(a_{12}+a_{23})+\mathfrak{m}_{22})M_2+(a_{23}-\mathfrak{m}_{23})M_3+\mathfrak{m}_{24}M_4=\mathfrak{a}_2-N_{12}'-N_{23}'';\\
\mathfrak{m}_{13}M_1+(a_{23}-\mathfrak{m}_{23})M_2+(2(a_{23}+a_{34})+\mathfrak{m}_{33})M_3+(a_{34}-\mathfrak{m}_{34})M_4+\mathfrak{m}_{35}M_5=\mathfrak{a}_3-N_{23}'-N_{34}'';\\
\mathfrak{m}_{24}M_2+(a_{34}-\mathfrak{m}_{34})M_3+(2(a_{34}+a_{45})+\mathfrak{m}_{44})M_4+(a_{45}-\mathfrak{m}_{45})M_5+\mathfrak{m}_{46}M_6=\mathfrak{a}_4-N_{34}'-N_{45}'';\\
\mathfrak{m}_{35}M_3+(a_{45}-\mathfrak{m}_{45})M_4+(2(a_{45}+a_{56})+\mathfrak{m}_{55})M_5+(a_{56}-\mathfrak{m}_{56})M_6+\mathfrak{m}_{57}M_7=\mathfrak{a}_5-N_{45}'-N_{56}'';\\
\mathfrak{m}_{46}M_4+(a_{56}-\mathfrak{m}_{56})M_5+(2(a_{56}+a_{67})+\mathfrak{m}_{66})M_6+(a_{67}-\mathfrak{m}_{67})M_7+=\mathfrak{a}_6-N_{56}'-N_{67}'';\\
\hline
\mathfrak{m}_{57}M_5+(a_{67}-\mathfrak{m}_{67})M_6+(2(a_{67}+0)+\mathfrak{m}_{77})M_7=\mathfrak{a}_7-N_{67}'-6EJ\nu_7.
\end{array}\right.$$

Sind die Endmomente M_1 und M_7 Null oder durch irgendwelche sonstige Bedingungen, wie z. B. etwa durch die Belastung frei überstehender Enden gegeben, so genügen die zwischen den wagerechten Linien stehenden Gleichungen zur Bestimmung der übrigen Stützenmomente, während aus der ersten und letzten Gleichung die Neigungen ν_1 und ν_7 der elastischen Linie an den Endstützen berechnet werden können.

Dank der gewählten Bezeichnungsweise haben die entwickelten Gleichungen einen so symmetrischen Bau, daß sie sich nicht nur leicht dem Gedächtnis einprägen, sondern auch die Änderungen bequem übersehen lassen, die mit einer Vermehrung oder Verminderung der Stützenzahl verknüpft sind. Die bei Vermehrung der Stützen hinzutretenden Gleichungen entsprechen nämlich ihrer Form nach durchaus den mittleren, regelmäßigen Gleichungen der Gruppen (46) bis (48) und (50). Man braucht also an diese nur eine der Vermehrung der Stützen entsprechende weitere Zahl solcher Gleichungen anzugliedern und die auf die einzelnen Stützen und Felder bezüglichen Werte in ihrer wirklichen Reihenfolge einzusetzen. Der Schluß der Gruppen ist dann wieder nach dem Vorbild der oben angegebenen dadurch herzustellen, daß statt a_{67} die Länge des neuen Endfeldes und statt D_7 der auf die nunmehrige Endstütze bezügliche Druck gesetzt wird. In ähnlicher Weise ist einer Verminderung der Stützenzahl durch Ausschalten der überflüssig werdenden Gleichungen von der Mitte her Rechnung zu tragen.

§ 10. Der Stab auf elastischen Einzelstützen mit gleichen Mittelfeldern (Schiene auf Querschwellen). — Beim Eisenbahn-Oberbau wird in der Regel zu beiden Seiten des möglichst kurz gehaltenen Stoßfeldes noch ein Feld von nur wenig größerer Länge angeordnet, auf das dann die wiederum etwas größeren, unter sich gleichen Mittelfelder folgen. Wir setzen demgemäß in den Gleichungen (46) bis (49)

$$a_{23}=a_{34}=a_{45}=a_{56}=a, \tag{51}$$

so daß wir weiterhin nur noch mit den drei Feldlängen

$$a_{12},\ a,\ a_{67}$$

zu rechnen haben[36]). Ferner ist auch der Druck D, der die Senkung 1 erzeugt, für alle Mittelschwellen gleich anzunehmen, während für die Stoßschwellen davon abweichende Werte in Betracht kommen können, sei es, daß dort eine stärkere Schwelle, oder besserer Bettungsstoff verwendet wird. Wir setzen daher

$$D_2 = D_3 = D_4 = D_5 = D_6 = \boldsymbol{D}, \tag{52}$$

wonach nur noch drei verschiedene Werte, nämlich

$$\boldsymbol{D_1}\,,\ \boldsymbol{D}\,,\ \boldsymbol{D_7}$$

übrigbleiben.

Damit ergibt sich aus (46)

$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{a}_1 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ && \frac{D}{D_1}\frac{a}{a_{12}}\mathfrak{A}_1 - \mathfrak{A}_2\frac{a}{a_{12}} \Big\};\\
\mathfrak{a}_2 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ -\frac{D}{D_1}\frac{a}{a_{12}}\mathfrak{A}_1 + \Big(\frac{a}{a_{12}}+1\Big)\mathfrak{A}_2 - \mathfrak{A}_3 \Big\};\\
\mathfrak{a}_3 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ - \mathfrak{A}_2 + 2\,\mathfrak{A}_3 - \mathfrak{A}_4 \Big\};\\
\mathfrak{a}_4 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ - \mathfrak{A}_3 + 2\,\mathfrak{A}_4 - \mathfrak{A}_5 \Big\};\\
\mathfrak{a}_5 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ - \mathfrak{A}_4 + 2\,\mathfrak{A}_5 - \mathfrak{A}_6 \Big\};\\
\mathfrak{a}_6 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ - \mathfrak{A}_5 + \Big(1+\frac{a}{a_{67}}\Big)\mathfrak{A}_6 - \mathfrak{A}_7\frac{a}{a_{67}}\frac{D}{D_7} \Big\};\\
\mathfrak{a}_7 &= \frac{6EJ}{Da}\Big\{ -\frac{a}{a_{67}}\mathfrak{A}_6 + \frac{a}{a_{67}}\frac{D}{D_7}\mathfrak{A}_7 \Big\}.
\end{aligned}\right. \tag{53}$$

Ferner folgt mit (51) nnd (52) aus (49)

$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{m}_{13} &= \frac{6EJ}{Da^2}\frac{a}{a_{12}};\\
\mathfrak{m}_{57} &= \frac{6EJ}{Da^2}\frac{a}{a_{67}};
\end{aligned}\right. \qquad \mathfrak{m}_{24} = \mathfrak{m}_{35} = \mathfrak{m}_{46} = \frac{6EJ}{Da^2}\,, \tag{54}$$

und aus (48)

$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{m}_{12} &= \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\Big(\frac{D}{D_1}+1\Big)\frac{a^2}{a_{12}^2}+\frac{a}{a_{12}}\Big\};\quad \mathfrak{m}_{23} = \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\frac{a}{a_{12}}+3\Big\};\\
\mathfrak{m}_{67} &= \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\Big(\frac{D}{D_7}+1\Big)\frac{a^2}{a_{67}^2}+\frac{a}{a_{67}}\Big\};\quad \mathfrak{m}_{56} = \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\frac{a}{a_{67}}+3\Big\};\\
&\qquad\qquad \mathfrak{m}_{34} = \mathfrak{m}_{45} = \frac{6EJ}{Da^2}4\,,
\end{aligned}\right. \tag{55}$$

während sich aus (47)

$$\left\{\begin{aligned}
\mathfrak{m}_{11} &= \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\Big(\frac{D}{D_1}+1\Big)\frac{a^2}{a_{12}^2}\Big\};\quad \mathfrak{m}_{22} = \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\Big(\frac{D}{D_1}+1\Big)\frac{a^2}{a_{12}^2}+2\frac{a}{a_{12}}+2\Big\};\\
\mathfrak{m}_{77} &= \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\Big(\frac{D}{D_7}+1\Big)\frac{a^2}{a_{67}^2}\Big\};\quad \mathfrak{m}_{66} = \frac{6EJ}{Da^2}\Big\{\Big(\frac{D}{D_7}+1\Big)\frac{a^2}{a_{67}^2}+2\frac{a}{a_{67}}+2\Big\};\\
&\qquad\qquad \mathfrak{m}_{33} = \mathfrak{m}_{44} = \mathfrak{m}_{55} = \frac{6EJ}{Da^2}6
\end{aligned}\right. \tag{56}$$

---

[36]) Die Felder a_{12} und a_{67} und die Drücke D_1 und D_7 sind zwar meist gleich groß; des regelmäßigeren Baues der Formeln wegen behalten wir aber die verschiedene Bezeichnung bei.

ergibt. Diese Werte sind nun in die Gleichungen (50) einzuführen. Es empfiehlt sich, alsdann durch a zu teilen, den Ausdruck $6\,EJ$: a^3, der (wie später gezeigt werden wird) eine biegende Kraft darstellt, mit $\boldsymbol{B}$ zu bezeichnen, und zur Abkürzung zu setzen:

$$\frac{6\,EJ}{D\,a^3} = \frac{B}{D} = \gamma;\ ^{37)}\ \frac{a}{a_{12}}\gamma = {}'\gamma;\ \frac{a}{a_{67}}\gamma = \gamma', \tag{57}$$

und ferner:

$$\left\{\begin{aligned}
&2\frac{a_{12}}{a} + \left\{\left(\frac{D}{D_1}+1\right)\frac{a^2}{a_{12}^2}\right\}\gamma = {}''\alpha;\\
&2 + 2\frac{a_{12}}{a} + \left\{\left(\frac{D}{D_1}+1\right)\frac{a^2}{a_{12}^2} + 2\frac{a}{a_{12}} + 2\right\}\gamma = {}'\alpha;\\
&4 \qquad\qquad\qquad\qquad + 6\,\gamma = \alpha;\\
&2 + 2\frac{a_{67}}{a} + \left\{\left(\frac{D}{D_7}+1\right)\frac{a^2}{a_{67}^2} + 2\frac{a}{a_{12}} + 2\right\}\gamma = \alpha';\\
&2\frac{a_{67}}{a} + \left\{\left(\frac{D}{D_7}+1\right)\frac{a^2}{a_{67}^2}\right\}\gamma = \alpha'',
\end{aligned}\right. \tag{58}$$

sowie schließlich:

$$\left\{\begin{aligned}
&\frac{a_{12}}{a} - \left\{\left(\frac{D}{D_1}+1\right)\frac{a^2}{a_{12}^2} + \frac{a}{a_{12}}\right\}\gamma = {}''\beta;\\
&1 - \left\{\left(\qquad 3\right) + \frac{a}{a_{12}}\right\}\gamma = {}'\beta;\\
&1 - \qquad\qquad\qquad 4\,\gamma = \beta;\\
&1 - \left\{\left(\qquad 3\right) + \frac{a}{a_{67}}\right\}\gamma = \beta';\\
&\frac{a_{67}}{a} - \left\{\left(\frac{D}{D_7}+1\right)\frac{a^2}{a_{67}^2} + \frac{a}{a_{67}}\right\}\gamma = \beta''.
\end{aligned}\right. \tag{59}$$

Bezeichnet man nun noch die von ν_1 und ν_7 freien Teile der Ausdrücke auf der rechten Seite von (50) mit Z_1 bis Z_7, so folgt

$$\left\{\begin{aligned}
&{}''\alpha M_1 + {}''\beta M_2 + {}'\gamma M_3 = Z_1 + \frac{6\,EJ}{a}\nu_1;\\
&\hline
&{}''\beta M_1 + {}'\alpha M_2 + {}'\beta M_3 + \gamma M_4 = Z_2;\\
&{}'\gamma M_1 + {}'\beta M_2 + \alpha M_3 + \beta M_4 + \gamma M_5 = Z_3;\\
&\gamma M_2 + \beta M_3 + \alpha M_4 + \beta M_5 + \gamma M_6 = Z_4;\\
&\gamma M_3 + \beta M_4 + \alpha M_5 + \beta' M_6 + \gamma' M_7 = Z_5;\\
&\gamma M_4 + \beta' M_5 + \alpha' M_6 + \beta'' M_7 = Z_6;\\
&\hline
&\gamma' M_5 + \beta'' M_6 + \alpha'' M_7 = Z_7 - \frac{6\,EJ}{a}\nu_7\ ^{38)}.
\end{aligned}\right. \tag{60}$$

---

[37]) Die statische Bedeutung dieses wichtigen, in sämtlichen andern Koefizienten enthaltenen Ausdruckes ist am Schluß des § 12 näher erörtert.

[38]) Um etwaigen Irrtümern vorzubeugen, möge hier bemerkt werden, daß diese Gleichungen (im Gegensatz zu der allgemeineren Gruppe (50)) bei Einschränkung der Stützenzahl auf vier oder weniger eine Änderung des Baues der Koeffizienten erleiden. Bei vier Stützen tritt z. B. statt $'\beta$ und β' ein neuer Wert auf, der mit $'\beta'$ bezeichnet und aus $'\beta' = {}'\beta + \beta' - \beta = 1 - \left(\frac{a}{a_{12}} + 2 + \frac{a}{a_{34}}\right)\gamma$ berechnet werden kann. Noch weiter gehende Unterschiede ergeben sich bei drei und zwei Stützen, weshalb in diesen Fällen am besten auf die allgemeinen Gleichungen im § 9 zurückgegriffen wird.

Die Größen Z_1 bis Z_7 setzen sich in der aus (50) zu ersehenden Weise aus den durch (53) und (43) bestimmten Wert der a und N zusammen, hängen also vom Belastungszustande ab. Da die Wirkung einer ganzen Lastgruppe der Summe der Einzelwirkungen der Lasten gleich ist, so genügt es, die Werte der Z für den Fall anzugeben, daß nur eine Last G auf dem Träger ruht. Hierdurch wird nicht allein die Rechnung vereinfacht, sondern auch der weitere Vorteil erreicht, daß der Einfluß der Laststellung klarer hervortritt. Drückt man nämlich die Lage der Last allgemein aus, z. B. durch Angabe des Feldes, in dem sie sich befindet, und des Abstandes x vom linken Ende des letzteren, so erhält man die Größen Z_1 bis Z_7 und damit nach (60) auch die Momente M_1 bis M_7 als Funktionen von x. Mit Hilfe der so gewonnenen Gleichungen der Einflußlinien für die Stützenmomente ist dann die Wirkung einer oder mehrerer Lasten bei jeder beliebigen Stellung bequem zu ermitteln, also auch die gefährlichste Stellung und der zugehörige Wert von M leicht anzugeben.

Beim Vorhandensein nur einer Last sind alle Z bis auf diejenige, welche die Ziffern der zwei links und der zwei rechts von dem belasteten Felde liegenden Stützpunkte tragen, Null. Wir wollen die von Null verschiedenen Werte von Z allgemein mit

$$Z_I \quad Z_{II} \quad Z_{III} \quad Z_{IV}$$

bezeichnen. Wenn dann die Last im Felde oder auf den überstehenden Enden

(61)

	—1;	1—2;	2—3	3—4;	4—5	5—6;	6—7;	7—	liegt,
so ist									
$Z_1 = Z_{II_0}$	Z_{II}	Z_I		0	0	0	0	0	
$Z_2 = Z_{III_0}$	Z_{III}	Z_{II}		Z_I	0	0	0	0	
$Z_3 =$	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_I	0	0	0	
$Z_4 =$	0	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_I	0	0	
$Z_5 =$	0	0	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_I	0	
$Z_6 =$	0	0	0	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{II}	Z_{II_1}	
$Z_7 =$	0	0	0	0	0	Z_{IV}	Z_{III}	Z_{III_1}	

Es sind nun zwei Hauptbelastungsfälle zu unterscheiden. Liegt nämlich die Last irgendwo zwischen den Stützen 3 und 5 oder, allgemeiner ausgedrückt und für eine beliebige größere Stützenzahl geltend, nicht auf den überstehenden Enden und den beiden angrenzenden Feldern, so ist mit x: $a = \zeta$ stets:

(62)
$$\begin{cases} Z_I &= Ga\{-\gamma(1-\zeta)\}; \\ Z_{II} &= Ga\{\gamma(2-3\zeta) - \zeta(1-\zeta)(2-\zeta)\}; \\ Z_{III} &= Ga\{-\gamma(1-3\zeta) - \zeta(1-\zeta)(1+\zeta)\}; \\ Z_{IV} &= Ga\{\gamma(-\zeta)\}. \end{cases}$$

Liegt die Last in dem $\left\{\begin{matrix}\text{links}\\ \text{rechts}\end{matrix}\right\}$ an den angegebenen Bereich grenzenden Felde, so gelten diese Gleichungen auch noch für $\left\{\begin{matrix}Z_{III}\text{ und }Z_{IV}\\ Z_I\text{ und }Z_{II}\end{matrix}\right\}$; rückt die Last ein Feld weiter nach $\left\{\begin{matrix}\text{links}\\ \text{rechts}\end{matrix}\right\}$, also in die Endfelder, so ist nur noch $\left\{\begin{matrix}Z_{IV}\\ Z_I\end{matrix}\right\}$ aus (62) zu be-

stimmen. Diese regelmäßigen Werte der vier Größen Z_I bis Z_{IV} sind in der Gleichungsgruppe (61) durch senkrechte und wagrechte Linien eingerahmt. Danach sind Z_3, Z_4 und Z_5 immer nur regelmäßigen Werten gleich. Die übrigen ergeben sich aus den folgenden Gleichungen.

Last im linken Endfelde:

$$(63)\quad \begin{cases} Z_1 = Z_{II} = Ga\left\{ \frac{D}{D_1}\frac{a}{a_{12}}\gamma(1-\zeta) - \frac{a}{a_{12}} \cdot \gamma\zeta - \frac{a_{12}^2}{a^2}\zeta(1-\zeta)(2-\zeta)\right\}; \\ Z_2 = Z_{III} = Ga\left\{-\frac{D}{D_1}\frac{a}{a_{12}}\gamma(1-\zeta) + \left(\frac{a}{a_{12}}+1\right)\gamma\zeta - \frac{a_{12}^2}{a^2}\zeta(1-\zeta)(1+\zeta)\right\}^{38a)}. \end{cases}$$

Last im Felde rechts davon:

$$(64)\quad \begin{cases} Z_1 = Z_I = Ga\left\{ -\frac{a}{a_{12}}\gamma(1-\zeta)\right\}; \\ Z_2 = Z_{II} = Ga\left\{\left(\frac{a}{a_{12}}+1\right)\gamma(1-\zeta) - \gamma\zeta - \zeta(1-\zeta)(2-\zeta)\right\}. \end{cases}$$

Last im Felde links vom rechten Endfelde:

$$(65)\quad \begin{cases} Z_6 = Z_{III} = Ga\left\{ -\gamma(1-\zeta) + \left(1+\frac{a}{a_{67}}\right)\gamma\zeta - \zeta(1-\zeta)(1+\zeta)\right\}; \\ Z_7 = Z_{IV} = Ga\left\{ -\frac{a}{a_{67}}\gamma\zeta\right\}. \end{cases}$$

Last im rechten Endfelde:

$$(66)\quad \begin{cases} Z_6 = Z_{II} = Ga\left\{\left(1+\frac{a}{a_{67}}\right)\gamma(1-\zeta) - \frac{a}{a_{67}}\frac{D}{D_7}\gamma\zeta - \frac{a_{67}^2}{a^2}\zeta(1-\zeta)(2-\zeta)\right\}; \\ Z_7 = Z_{III} = Ga\left\{ -\frac{a}{a_{67}}\gamma(1-\zeta) + \frac{a}{a_{67}}\frac{D}{D_7}\gamma\zeta - \frac{a_{67}^2}{a^2}\zeta(1-\zeta)(1+\zeta)\right\}^{38a)}. \end{cases}$$

Befindet sich die Last auf einem der überstehenden Enden, so sind nach den Gleichungen (41) und (42) im § 9 die Werte der $\mathfrak{A}$, mithin auch die der Z ebenso groß, wie bei Anbringung der Last auf der Endstütze selber, also links gleich den Werten Z_{II} und Z_{III} für das linke Endfeld mit $\zeta = 0$, rechts gleich den entsprechenden Werten für das rechte Endfeld mit $\zeta = 1$. Demgemäß sind diese Z (in obiger Zusammenstellung) mit Z_{II_0}, Z_{III_0} und Z_{II_1}, Z_{III_1} bezeichnet. Ihre Werte ergeben sich aus den folgenden Gleichungen.

Last auf dem linken überstehenden Ende:

$$(67)\quad \begin{cases} Z_1 = Z_{II_0} = Ga\left\{ \frac{D}{D_1}\frac{a}{a_{12}}\gamma\right\}; \\ Z_2 = Z_{III_0} = Ga\left\{-\frac{D}{D_1}\frac{a}{a_{12}}\gamma\right\}; \end{cases} \qquad (68) \qquad \begin{cases} Z_6 = Z_{II_1} = Ga\left\{-\frac{a}{a_{67}}\frac{D}{D_7}\gamma\right\}; \\ Z_7 = Z_{III_1} = Ga\left\{ \frac{a}{a_{67}}\frac{D}{D_7}\gamma\right\}. \end{cases}$$

Die Gleichungen (60) bieten die Möglichkeit einer sehr genauen Berechnung des Einflusses aller der Umstände, die für die Beanspruchung der Schienen und Schwellen, sowie auch der Bettung in Betracht kommen. So gelangt z. B. der Einfluß der Steifigkeit der Schienen und der Tragfähigkeit der Bettung und der Schwellen in der Größe γ, die Wirksamkeit der Stoßverbindung in den Endmomenten M_1 und M_7 zum Ausdruck, während die Werte D_1 und D_7 und die kurzen Endfelder a_{12} und a_{67} die Wirkung der Maßregeln berücksichtigen, die zur Entlastung der Schienenstoßverbindungen angewendet werden können. Demgemäß ist der Bau

[38a]) In den Gleichungen (63) und (66) ist $\zeta = x : a_{12}$ oder $= x : a_{67}$.

der Gleichungen natürlich nicht ganz einfach, und eine allgemeine Auflösung wegen der Unübersichtlichkeit der Ergebnisse ohne besonderen Wert; man beschränkt sich daher in der Regel auf die im einzelnen Falle leicht durchzuführende Zahlenrechnung. Um jedoch wenigstens einen ungefähren Maßstab für die Größe der wesentlicheren Einwirkungen und ein allgemeines Bild ihrer Abhängigkeit von den Hauptpunkten der Gesamtanordnung zu erhalten, hat man die den Gleichungen zugrunde liegenden Annahmen noch weiter vereinfacht. Bei Berechnung der Stoßverbindung und der Schienenenden geschieht dies am besten durch eine weitgehende Verminderung der Stützenzahl (etwa bis auf zwei oder drei zu beiden Seiten des Stoßes) und Gleichsetzung aller a und D. Wenn es sich andererseits darum handelt, verschiedene Schienenformen in bezug auf ihre Biegungsfestigkeit miteinander zu vergleichen, so ist es meistens gestattet, von der Berücksichtigung des Einflusses der Stoßverbindungen abzusehen und nur das Verhalten der Schienen in ihrem mittleren Teile in Betracht zu ziehen; damit ergibt sich die Gleichsetzung der a und D von selbst, während die Einbeziehung einer nur geringen Zahl von Stützen zwar auch noch zulässig, aber zur Gewinnung einfacher Ergebnisse nicht so notwendig ist, wie bei der Laschenberechnung. Nach diesen Gesichtspunkten hat zuerst Loewe die Gesetze des elastisch gestützten Trägers mit gleichen Feldlängen auf die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues angewendet[39].

§ 11. Der Stab auf elastischen Einzelstützen in gleichem Abstande (Näherungsverfahren für die Schiene auf Querschwellen). — Wird auf Grund der vorstehenden Erwägungen

$$a_{12} = a_{67} = a \text{ und } D_1 = D_7 = D,$$

sowie

$$M_1 = M_7 = 0$$

gesetzt, so treten an Stelle von (57), (58) und (59) die Gleichungen

$$(69) \qquad \begin{cases} \alpha = 4 + 6\gamma \text{ und } \beta = 1 - 4\gamma, \\ \text{worin } \gamma = \frac{B}{D} \text{ ist,} \end{cases}$$

während Gruppe (60) bei Fortfall der jetzt entbehrlichen ersten und letzten Gleichung die vereinfachte Form

$$(70) \qquad \begin{cases} \alpha M_2 + \beta M_3 + \gamma M_4 = Z_2; \\ \beta M_2 + \alpha M_3 + \beta M_4 + \gamma M_5 = Z_3; \\ \gamma M_2 + \beta M_3 + \alpha M_4 + \beta M_5 + \gamma M_6 = Z_4; \\ \gamma M_3 + \beta M_4 + \alpha M_5 + \beta M_6 = Z_5; \\ \gamma M_4 + \beta M_5 + \alpha M_6 = Z_6 \end{cases}$$

annimmt[40]. Werden in der Zusammenstellung (61) die erste und letzte Zeile, sowie die erste und letzte Spalte ebenfalls fortgelassen, so bleiben nur regelmäßige Werte von Z_I bis Z_{IV} übrig; d. h. die Gleichungen (62) gelten jetzt für alle Belastungsfälle. Mit ihrer Hülfe läßt sich nun leicht ein deutliches Bild der Abhängigkeit der Größen Z_I bis Z_{IV} von γ und $\zeta = \xi : a$ gewinnen, wenn man die mit γ multiplizierten

[39] Über die Betriebssicherheit der Eisenbahngleise und die wirkliche Anstrengung der Fahrschienen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1883, S. 124. — Eine ausführlichere Darstellung enthält der Aufsatz desselben Verfassers: Zur Theorie des Eisenbahn-Oberbaues usw. Allgem. Bauzeitung, 1888, Heft 1 bis 3.

[40] Wegen der Bedeutung von γ vgl. § 12.

Glieder getrennt von denen, die nur ζ enthalten, aufträgt. Die ersteren stellen dann offenbar gerade Linien dar, deren Neigung gegen die wagerechte Achse durch die Größe von γ bestimmt ist. Die letzteren ergeben eine Kurve dritten Grades, welche die Achse in den Punkten $\zeta = 0$ und $\zeta = 1$ schneidet. Nach diesem Verfahren haben wir die Abbildung 12 als Beispiel mit $\gamma = 0{,}4$ entworfen. Die Höhen des über der Achse gelegenen, dreieckigen Flächenraumes bestimmen die Werte von $Z_I : Ga$, die Höhen des von einer Geraden und einer Kurve begrenzten Raumes die Werte von $Z_{II} : Ga$, sofern ζ von der linken Seite aus gemessen wird[41]). Dieselbe Darstellung kann aber auch zur Ermittelung von Z_{III} und Z_{IV} dienen. Da nämlich die dritte und vierte Gleichung der Gruppe (62) aus der zweiten und ersten hervorgeht, wenn man $1 - \zeta$ an Stelle von ζ setzt, so sind die Werte von $Z_{III} : Ga$ und $Z_{IV} : Ga$ durch die Höhen bestimmt, welche die fraglichen Flächenräume im Abstande $1 - \zeta$ vom linken, oder — was auf dasselbe hinausläuft — im Abstande ζ vom rechten Endpunkte der wagerechten Teilung besitzen. Demgemäß ist diese Teilung unten von links nach rechts, oben von rechts nach links beziffert. Die Höhen der Flächen sind natürlich mit demselben Maßstabe zu messen, nach welchem γ und die (in Abbildung 12 eingeschriebenen) Höhen der Kurve dritter Ordnung aufgetragen sind. Für die wagerechte Teilung kann derselbe oder auch ein beliebiger anderer Maßstab benutzt werden.

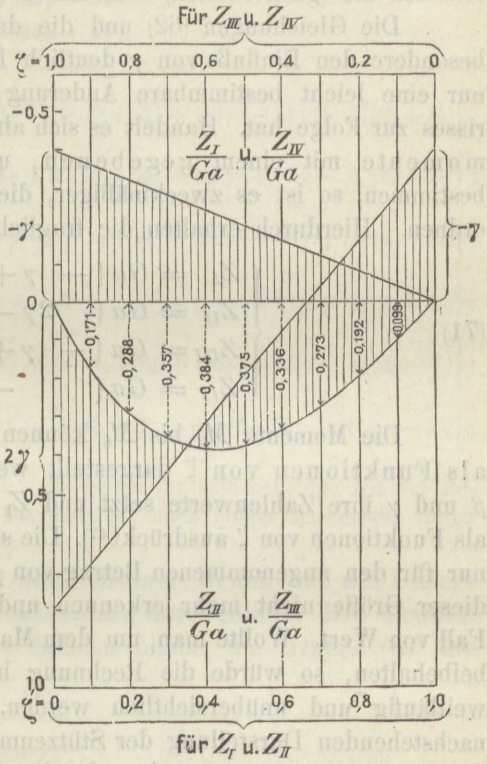


Abb. 12.

Wählt man als Einheit die Stützweite a, so läßt sich eine besonders übersichtliche, die Gleichungen (61) mit umfassende Darstellung dadurch gewinnen, daß man die Werte $Z_I : Ga$ bis $Z_{IV} : Ga$ über vier aufeinander folgenden Feldern in der Weise aufträgt, wie Abbildung 13 zeigt. Durchläuft die so gewonnene Figur zugleich mit der in ihrer Mitte angebrachten Last G die ganze Länge des Stabes, so werden die Lote der zwei links und der zwei rechts von G liegenden Stützen von den Umrißlinien der Figur in je zwei Punkten geschnitten, deren Abstand die der jeweiligen

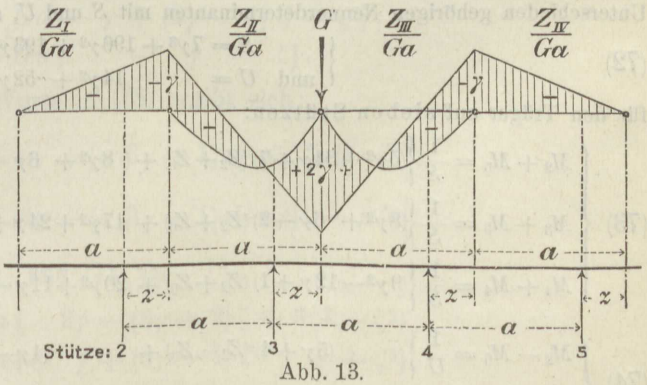


Abb. 13.

[41]) Die Flächen sind in Abbildung 12 mit senkrechten Strichlagen bezeichnet.

Laststellung entstprechenden Werte von Z angibt. Die Zeiger dieser Größen sind in jedem Falle den Stützennummern gleich; hat also die Figur gegen den Träger beispielsweise die durch den unteren Teil der Abbildung 13 angedeutete Lage, so stimmen die (gestrichelten) Stützenlote die Werte Z_2, Z_3, Z_4 und Z_5.

Die Gleichungen (62) und die danach entworfenen Darstellungen lassen insbesondere den Einfluß von γ deutlich hervortreten, da eine Änderung dieser Größe nur eine leicht bestimmbare Änderung der Lage des geradlinigen Teiles des Umrisses zur Folge hat. Handelt es sich aber darum, die Einflußlinien für Stützenmomente mit einem gegebenen, unveränderlichen Werte von γ zu bestimmen, so ist es zweckmäßiger, die einzelnen Glieder nach Potenzen von ζ zu ordnen. Hierdurch erhalten die fraglichen Gleichungen die nachstehende Form:

$$(71)\quad \begin{cases} Z_I = Ga\{-\gamma + \gamma \cdot \zeta\}; \\ Z_{II} = Ga\{2\gamma - (3\gamma+2)\zeta + 3\zeta^2 - \zeta^3\}; \\ Z_{III} = Ga\{-\gamma + (3\gamma-1)\zeta + \zeta^3\}; \\ Z_{IV} = Ga\{-\gamma \cdot \zeta\}. \end{cases}$$

Die Momente M_2 bis M_6 können bei gegebenem γ ohne große Schwierigkeit als Funktionen von ζ dargestellt werden, wenn man überall für die Größen a, β und γ ihre Zahlenwerte setzt und Z_1 bis Z_5 nach (61) oder Abb. 13 und nach (71) als Funktionen von ζ ausdrückt[42]). Die so gewonnenen Ergebnisse gelten aber natürlich nur für den angenommenen Betrag von γ; sie lassen auch den Einfluß einer Änderung dieser Größe nicht mehr erkennen und sind daher nur für den gerade behandelten Fall von Wert. Wollte man, um dem Mangel abzuhelfen, die allgemeine Bezeichnung γ beibehalten, so würde die Rechnung bei einigermaßen großer Stützenzahl äußerst weitläufig und unübersichtlich werden. Wir begnügen uns deshalb hier mit der nachstehenden Darstellung der Stützenmomente als Funktionen der Z, indem wir auf die im folgenden Paragraphen durchgeführte allgemeine Berechnung des Trägers auf nur vier Stützen als Beispiel einer vollständigeren Lösung der Aufgabe hinweisen.

Die Gleichungen (70) sind leicht nach M_2 bis M_6 aufzulösen, wenn man sie (nach Winklers Vorgang) so umformt, daß nur noch die Summen und Unterschiede der symmetrisch zur Trägermitte liegenden M und Z erscheinen. Bezeichnet man zur Abkürzung die zu den Summen und Unterschieden gehörigen Nennerdeterminanten mit S und U, so ergibt sich mit

$$(72)\quad \begin{cases} S = 7\gamma^3 + 196\gamma^2 + 193\gamma + 26 \\ \text{und } U = 14\gamma^2 + 52\gamma + 15 \end{cases}$$

für den Träger auf sieben Stützen:

$$(73)\quad \begin{cases} M_2 + M_6 = \frac{1}{S}\{(5\gamma^2+34\gamma+7)(Z_2+Z_6) + (8\gamma^2+6\gamma-2)(Z_3+Z_5) + (9\gamma^2-12\gamma+1)Z_4\}; \\ M_3 + M_5 = \frac{1}{S}\{(8\gamma^2+6\gamma-2)(Z_2+Z_6) + (17\gamma^2+24\gamma+8)(Z_3+Z_5) + (20\gamma^2+11\gamma-4)Z_4\}; \\ M_4 + M_4 = \frac{1}{S}\{(9\gamma^2-12\gamma+1)(Z_2+Z_6) + (20\gamma^2+11\gamma-4)(Z_3+Z_5) + (26\gamma^2+60\gamma+15)Z_4\}; \end{cases}$$

$$(74)\quad \begin{cases} M_2 - M_6 = \frac{1}{U}\{(5\gamma+4)(Z_2-Z_6) + (4\gamma-1)(Z_3-Z_5)\}; \\ M_3 - M_5 = \frac{1}{U}\{(4\gamma-1)(Z_2-Z_6) + (6\gamma+4)(Z_3-Z_5)\}. \end{cases}$$

42) Ein vollständig durchgerechnetes Beispiel hierzu findet sich auf Seite 178 bis 180 des I. Heftes von Winklers Theorie der Brücken (3. Auflage, 1886). Dort ist auch zuerst das obenerwähnte sinnreiche Verfahren zur Vereinfachung der Auflösung der Gleichungen (70) angewendet.

Hiermit ist M_4 durch die dritte Gleichung der Gruppe (73) unmittelbar gegeben, während die übrigen Momente aus (73) und (74) in einfachster Weise zu berechnen sind.

Dasselbe Verfahren ist auch noch für den Träger auf acht Stützen bequem anwendbar. In diesem Falle wird

$$(75)\qquad \begin{cases} S = 4\gamma^3 + 194\gamma^2 + 330\gamma + 71; \\ U = 84\gamma^3 + 558\gamma^2 + 354\gamma + 41, \end{cases}$$

und hiermit

$$\begin{cases} M_2 + M_7 = \frac{1}{S}\{(3\gamma^2+44\gamma+19)(Z_2+Z_7) + (5\gamma^2+19\gamma-5)(Z_3+Z_6) + (6\gamma^2-11\gamma+1)(Z_4+Z_5)\}; \\ M_3 + M_6 = \frac{1}{S}\{(5\gamma^2+19\gamma-5)(Z_2+Z_7) + (11\gamma^2+38\gamma+20)(Z_3+Z_6) + (14\gamma^2+7\gamma-4)(Z_4+Z_5)\}; \\ M_4 + M_5 = \frac{1}{S}\{(6\gamma^2-11\gamma+1)(Z_2+Z_7) + (14\gamma^2+7\gamma-4)(Z_3+Z_6) + (20\gamma^2+56\gamma+15)(Z_4+Z_5)\}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_2 - M_7 = \frac{1}{U}\{(35\gamma^2+68\gamma+11)(Z_2-Z_7) + (35\gamma^2+3\gamma-3)(Z_3-Z_6) + (14\gamma^2-13\gamma+1)(Z_4-Z_5)\}; \\ M_3 - M_6 = \frac{1}{U}\{(35\gamma^2+3\gamma-3)(Z_2-Z_7) + (59\gamma^2+58\gamma+12)(Z_3-Z_6) + (26\gamma^2+15\gamma-4)(Z_4-Z_5)\}; \\ M_4 - M_5 = \frac{1}{U}\{(14\gamma^2-13\gamma+1)(Z_2-Z_7) + (26\gamma^2+15\gamma-4)(Z_3-Z_6) + (20\gamma^2+56\gamma+15)(Z_4-Z_5)\}; \end{cases}$$

Diese Auflösungen sind offenbar ganz allgemein. Sie gelten für jede beliebige Art der Belastung und erfordern nur noch die Einsetzung der betreffenden, nach obiger Anweisung durch (61) und (62) oder (71) bestimmten Werte der Z.

§ 12. Anwendungen. Beanspruchung der Schiene. Druck auf die Unterlagen. Senkungen der Stützpunkte und Durchbiegung der Schiene. Die Größen B, D und γ. — Für den Stab auf nur vier Stützen nimmt die Gruppe (70) die nachstehende Form an:

$$\alpha M_2 + \beta M_3 = Z_2;$$
$$\beta M_2 + \alpha M_3 = Z_3.$$

Hieraus folgt

$$(78)\qquad M_2 = \frac{\alpha Z_2 - \beta Z_3}{\alpha^2 - \beta^2}; \quad M_3 = \frac{\alpha Z_3 - \beta Z_2}{\alpha^2 - \beta^2}.$$

Last im Felde 1—2. Nach (61) und (71) ist

$$Z_2 = Z_{III} = Ga\{-\gamma + (3\gamma - 1)\zeta + \zeta^3\};$$
$$Z_3 = Z_{IV} = Ga\{\quad -\gamma\cdot\zeta\}.$$

Durch Einsetzung dieser Werte in (78) ergibt sich:

$$(79^a)\qquad \begin{cases} M_2 = \frac{Ga}{\alpha^2-\beta^2}\{-\alpha\gamma + [\alpha(3\gamma-1)+\beta\gamma]\zeta + \alpha\zeta^3\}; \\ M_3 = \frac{Ga}{\alpha^2-\beta^2}\{\quad \beta\gamma - [\beta(3\gamma-1)+\alpha\gamma]\zeta - \beta\zeta^3\}. \end{cases}$$

Last im Felde 2—3. Nach (61) und (71) ist

$$Z_2 = Z_{II} = Ga\{\quad 2\gamma - (3\gamma+2)\zeta + 3\zeta^2 - \zeta^3\};$$
$$Z_3 = Z_{III} = Ga\{-\quad \gamma + (3\gamma-1)\zeta \qquad + \zeta^3\}.$$

Hiermit folgt aus (78):

$$(79^b)\qquad \begin{cases} M_2 = \frac{Ga}{\alpha^2-\beta^2}\{\quad (2\alpha+\beta)\gamma - [\alpha(3\gamma+2)+\beta(3\gamma-1)]\zeta + 3\alpha\zeta^2 - (\alpha+\beta)\zeta^3\}; \\ M_3 = \frac{Ga}{\alpha^2-\beta^2}\{-(\alpha+2\beta)\gamma + [\alpha(3\gamma-1)+\beta(3\gamma+2)]\zeta - 3\beta\zeta^2 + (\alpha+\beta)\zeta^3\}. \end{cases}$$

Die Gruppen (79[a]) und (79[b]) stellen die Gleichungen der Einflußlinien für die Stützenmomente dar, mit deren Hülfe sich alle auf die Laststellung bezüglichen Fragen leicht beantworten lassen. Beispielsweise findet man den Ort der (im Felde 1—2 liegenden) Lastscheide für das Biegungsmoment M_0 in der Mitte des Stabes, indem man M_0 durch M_2 und M_3 ausdrückt und den Wert ζ bestimmt, für den dieser Ausdruck Null wird.

Da $M_0 = \frac{1}{2}(M_2 + M_3)$ ist, so ergibt sich aus (79[a]) die Gleichung

$$M_0 = \frac{\frac{1}{2}Ga}{\alpha+\beta}\left\{-\gamma + (2\gamma - 1)\ \zeta + \zeta^3\right\} = 0,$$

oder

$$-\gamma(1-2\zeta) - \zeta(1-\zeta)(1+\zeta) = 0.$$

Ein Vergleich zwischen dieser und der dritten Gleichung der Gruppe (62) führt zu der folgenden Ermittelung des der vorstehenden Bedingung genügenden Wertes von ζ. Man ziehe in Abb. 12 eine Gerade, welche die zu den Punkten 0 und 1 der oberen Teilung gehörigen Lote in den Abständen $-\gamma$ und $+\gamma$ von der wagerechten Achse schneidet, also durch die Mitte der letzteren geht. Dann gibt ein durch den Schnittpunkt dieser Geraden und der Kurve gelegtes Lot auf der oberen Teilung den gesuchten Wert von ζ an. Wird die Einheit der wagerechten Teilung gleich der Feldlänge a gewählt, so bestimmt der Schnittpunkt unmittelbar den Ort der fraglichen Lastscheide für das Feld 3—4. Um ihn für das Feld 1—2 zu erhalten, braucht man nur die linke und rechte Seite der Zeichnung zu vertauschen. Hiernach wurde die Abb. 14 entworfen, in der das beschriebene Verfahren für mehrere Werte von γ durchgeführt ist. Man erkennt, daß die Lastscheide in die Stütze 2 fällt, wenn $\gamma = 0$, also die Stützung starr ist, und daß sie von da bis in die Mitte des Feldes 1—2 vorrückt, wenn γ von 0 bis ∞ wächst[43]).

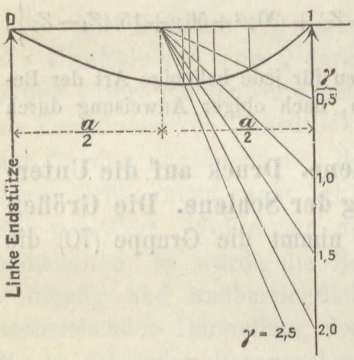


Abb. 14.

Alle zwischen den Lastscheiden liegenden Lasten bewirken eine Steigerung, alle außerhalb liegenden eine Abnahme von $+ M_0$. Ist das gleichzeitige Auftreten mehrerer Lasten innerhalb der angegebenen Grenzen ausgeschlossen, so erhält man den größten Wert von M_0 unter der Annahme, daß nur eine Last, und zwar in der Mitte des Feldes 2—3, vorhanden sei. Für diesen Fall ergibt sich aus (79[b]) mit $\zeta = 1/2$:

$$M_2 = M_3 = \frac{Ga}{\alpha+\beta}\left(\frac{1}{2}\gamma - \frac{3}{8}\right) = \frac{4\gamma - 3}{4\gamma + 10}\,\frac{Ga}{4}.$$

Bei dem vorausgesetzten Belastungszustande ist

$$M_0 = \frac{1}{2}(M_2 + M_3) + \frac{1}{4}Ga,$$

---

[43]) In dem Werke des Verfassers „Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues“ ist eine etwas andere Bezeichnung der Stützen — nämlich von Null anfangend — angewendet. Die von dort entlehnte Abb. 14 zeigt demgemäß statt 1 und 2 die Stützenziffern 0 und 1.

also mit vorstehendem Werte von M_2 und M_3:

$$M_0 = \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \frac{Ga}{4}. \tag{80}$$

Diese Gleichung gibt an, in welchem Verhältnis das Moment M_0 in der Mitte des auf vier elastischen Stützen ruhenden Stabes zu dem entsprechenden Moment $\frac{1}{4} G a = \mathfrak{M}_0$ eines nur in zwei Punkten gestützten Trägers steht. In Abb. 15 ist $M_0 : \mathfrak{M}_0$ als Funktion von γ durch eine Kurve dargestellt. Mit $\gamma = 0$ findet sich für den Träger auf starren (gleich hohen) Stützen) $M_0 = \frac{7}{10} \mathfrak{M}_0$; mit wachsendem γ nimmt M_0 stets zu und nähert sich dem zu $\gamma = \infty$ gehörigen Werte $M = 2\,\mathfrak{M}_0$. Für $\gamma = \frac{3}{4}$ wird nach obiger Rechnung $M_2 = M_3 = 0$ und daher $M_0 = \mathfrak{M}_0$; in diesem Falle sind also die Gegendrücke der Endstützen gerade Null.

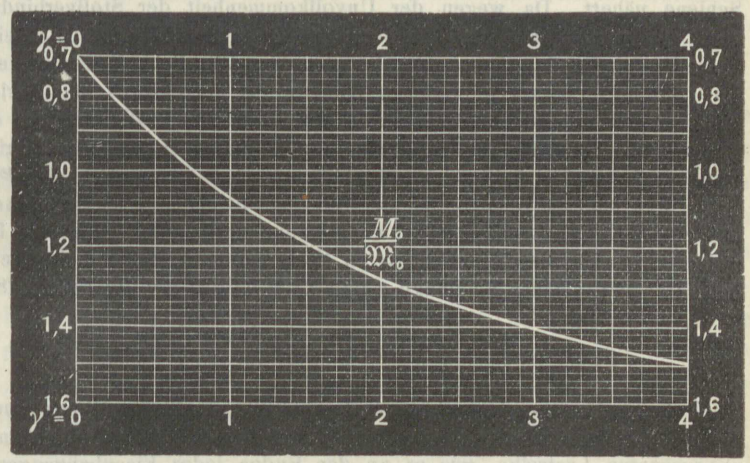


Abb. 15. Abhängigkeit des größten Momentes von $\gamma = B : D$. (Gleichung 80.)

Beanspruchung der Schiene. — Die Gleichung (80) bringt den Einfluß der Nachgiebigkeit der Stützen in der einfachsten Weise zum Ausdruck, die möglich ist, und kann deshalb mit Nutzen angewendet werden, wenn es sich darum handelt, einen Vergleich zwischen den Beanspruchungen verschiedener Schienenquerschnitte anzustellen oder die Wirkung abzuschätzen, die eine Änderung der Stützungsweise auf die fragliche Beanspruchung ausübt[44]). Dagegen kann man nicht erwarten, daß eine so einfache Formel die wirkliche Beanspruchung der Schiene genau angebe; denn diese hängt von einer großen Zahl von Umständen ab, deren Einfluß sich nach den früheren Ausführungen nicht wohl allgemein, sondern nur durch umfangreiche Zahlenrechnungen von Fall zu Fall bestimmen läßt. Die hierzu nötigen Formeln sind, je nach dem gewünschten Grade der Genauigkeit, dem § 10 oder § 11 zu entnehmen.

Eingehende Untersuchungen dieser Art hat, wie bereits im § 10 erwähnt, zuerst Loewe angestellt. Dabei fand sich, daß das größte Moment im mittleren Teil der Schiene nur in geringem Grade von der Anzahl der in Rechnung gezogenen Stützpunkte abhängt. Wird die Schiene z. B. einmal als Träger auf 18 Stützen mit 7 gleichen Lasten in den Mitten der Felder 1—2, 3—4, 7—8, 9—10, 11—12, 15—16, 17—18 behandelt und das Moment im Angriffspunkte der drei mittelsten Lasten nach dem zugehörigen Felde mit M_{7-8}, M_{9-10}, M_{11-12} bezeichnet, so ergibt sich

	für $\gamma =$	0,2	0,6	1,0	2,0	3,0	4,0
(81a)	$M_{9-10} =$	0,187	0,184	0,184	0,193	0,205	0,218 Ga;
	$M_{7-8} = M_{11-12} =$	0,194	0,212	0,223	0,237	0,244	0,249 Ga.

[44]) Als Beispiel hierfür möge der Aufsatz über die Beziehung zwischen Schienenquerschnitt und Schwellenabstand im Centralblatt der Bauverwaltung 1891, S. 223, dienen.

Wird die Schiene dagegen als Träger auf 8 Stützen mit 3 gleichen Lasten in den Mitten der Felder 2—3, 4—5, 6—7 betrachtet, so ergibt sich bei ähnlicher Bezeichnung der Momente in den Angriffspunkten der Lasten

	für $\gamma =$	0,2	0,6	1,0	2,0	3,0	4,0	
(81b)	$M_{4-5} =$	0,187	0,183	0,182	0,185	0,193	0,204	Ga;
	$M_{2-3} = M_{6-7} =$	0,193	0,213	0,227	0,253	0,271	0,286	Ga[45].

Diese Zahlen lehren zunächst, daß bei der angenommenen Belastungsart die größten Momente nicht unter der Mitte, sondern unter den seitlichen Lasten der (mittleren) Gruppe eintreten. Sie zeigen ferner, daß die Größtwerte zunehmen, wenn sich die betreffende Last dem freien Ende der Schiene nähert. Da wegen der Unvollkommenheit der Stoßverbindungen mit der Möglichkeit gerechnet werden muß, daß ein derartiger Belastungsfall tatsächlich eintritt, so erscheint von den beiden vorstehenden Annahmen die erste der Wirklichkeit weniger entsprechend, als die zweite. Daß die mit letzterer gefundenen Zahlenwerte noch durch mancherlei Umstände, wie z. B. das Abheben der unbelasteten Schiene in einer gewissen Entfernung vor dem ersten Rade des Zuges, ferner durch ungenügende Unterstopfung einzelner Schwellen u. dgl. m. beträchtlich gesteigert werden können, hat Loewe a. a. O. selber wiederholt hervorgehoben[46].

Von anderen Belastungs- und Stützungsannahmen geht Engesser aus, indem er die Lasten auf einem ununterbrochenen Schienenstrange von endlos gedachter Erstreckung so verteilt, daß zwischen zwei in der Mitte belasteten Feldern immer zwei unbelastete liegen[47]. Er erhält hierfür bei durchweg gleicher Feldlänge a und Lastgröße G die der Formel (80) ähnliche Gleichung

$$M_0 = \frac{19\gamma + 4}{3\gamma + 1} \frac{Ga}{24}. \tag{82}$$

Auch dieser Forscher bemerkt, daß die aus (82) berechneten Werte von M_0 nicht die größten sind, die im Betriebe auftreten können, und daß insbesondere das Abbrechen der von ihm angenommenen unbegrenzten Lastreihe, wie es an den Enden jedes Eisenbahnzuges notwendig stattfindet, mit einer wesentlichen Steigerung des maßgebenden Biegungsmomentes verknüpft sein muß.

Schwedler hat bei seinen Untersuchungen die Annahme gewählt, daß nur eine Last vorhanden sei, und zwar bringt er diese bei Ermittelung des größten Biegungsmomentes M_0 in der Mitte der auf 8 elastischen Stützen mit gleichem Abstande a ruhend gedachten Schiene an[48]. Für diesen Fall läßt sich M_0 leicht mit Hülfe der Gleichungen (75), (76) und (77) im § 11 als Funktion von γ ausdrücken, indem man zunächst für die Größen Z die dem angenommenen Belastungszustand entsprechenden Werte

$$Z_2 = Z_7 = 0; \qquad Z_3 = Z_6 = -\frac{1}{2} Ga\gamma; \qquad Z_4 = Z_5 = \frac{1}{2} Ga\left(\gamma - \frac{3}{4}\right)$$

setzt, damit das Stützenmoment $M_4 = M_5$ berechnet, und das durch die Last in der Feldmitte erzeugte Moment $Ga : 4$ hinzufügt. Man findet so in Übereinstimmung mit Schwedler:

$$M_0 \frac{32\gamma^3 + 524\gamma^2 + 568\gamma + 97}{4\gamma^3 + 194\gamma^2 + 330\gamma + 71} \frac{Ga}{8}. \tag{83}$$

Um diese verschiedenen Annahmen bequem vergleichen zu können, haben wir in sämtliche Formeln die von Loewe benutzten Werte von γ eingesetzt und die so berechneten Zahlen nachstehend mit den von ihm gefundenen zusammengestellt.

---

[45]) Allgem. Bauzeitung, 1888, Heft 1 bis 3. Diese bemerkenswerte Arbeit enthält u. a. auch eine Ermittelung der in Betracht zu ziehenden Grenzwerte der Größen D und γ, sowie einige Tabellen der Zahlenwerte der Stützenmomente, Auflagerdrücke usw.

[46]) Vgl. auch Fußnote 39 im § 10.

[47]) Zur Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1888, 3. Heft. — Mit Rücksicht auf die Möglichkeit des Abhebens des Schienenstranges von dem Stützpunkte zwischen den beiden unbelasteten Feldern gilt (82) nur so lange, als $\gamma > 1 : 4$. Für $\gamma \leqq 1 : 4$ wird $M_0 = 5Ga : 24$.

[48]) Beiträge zur Theorie des Eisenbahn-Oberbaues. Zeitschr. f. Bauwesen, 1889, S. 103. — Schwedler nennt die von uns schon früher mit γ bezeichnete Größe $1 : \gamma$, was bei einem Vergleiche zu beachten ist.

Biegungsmoment der Schiene.

	Für γ	= 0,2	0,6	1,0	2,0	3,0	4,0	ist
nach (80):	M_0	= 0,199	0,238	0,268	0,319	0,352	0,375	Ga;
„ (81a):	M_{7-8}	= 0,194	0,212	0,223	0,237	0,244	0,249	Ga;
„ (81b):	M_{2-3}	= 0,193	0,213	0,227	0,253	0,271	0,286	Ga;
„ (82):	M_0	= 0,208[49])	0,229	0,240	0,250	0,254	0,256	Ga;
„ (83):	M_0	= 0,200	0,233	0,255	0,291	0,317	0,337	Ga.

Hiernach liefert Formel (80), sofern γ nicht außergewöhnlich klein ist, etwas größere Werte als die übrigen Rechnungsweisen. Da nun die Ergebnisse der letzteren von den betreffenden Verfassern (mit Ausnahme Schwedlers) selbst als unter den im regelmäßigen Betriebe vorkommenden Größtwerten liegend betrachtet werden, so dürfte sich die Formel (80), außer zu den oben angegebenen Zwecken, auch zur Abschätzung des ungefähren Wertes der wirklichen Schienenbeanspruchung eignen.

Druck der Schiene auf die Unterlagen. — Der Auflagerdruck der Schiene wird selbstverständlich am größten, wenn gerade eine möglichst schwere Last über dem betreffenden Stützpunkte ruht. Welche Lastverteilung und Stützenzahl im übrigen für die Berechnung anzunehmen ist, hängt ganz von den Umständen des einzelnen Falles ab. Sobald diese gegeben sind, bietet die Zahlenrechnung nach den Regeln des § 11 keinerlei Schwierigkeiten. Um jedoch zu einer wenn auch nur annäherungsweise richtigen, doch allgemeinen Formel für den Auflagerdruck zu gelangen, dessen Kenntnis insbesondere zur Berechnung der Querschwelle und des Bettungsdruckes erforderlich ist, kann man ihn auf Grund möglichst einfacher Annahmen in ähnlicher Weise berechnen, wie oben das Biegungsmoment M_0. Es erscheint dies um so eher zulässig, als die in die Rechnung einzuführenden Größen selbst zum Teil nicht ganz genau zu ermitteln, zum Teil aber auch ziemlich wandelbar sind.

Eine derartige, ihrem Zwecke ganz gut entsprechende Näherungsformel ist zuerst von L. Hoffmann entwickelt worden[50]). Die hierfür gewählte Lastverteilung ist in Abb. 16 dargestellt; man erkennt, daß ein endloser Stab mit durchweg gleichen

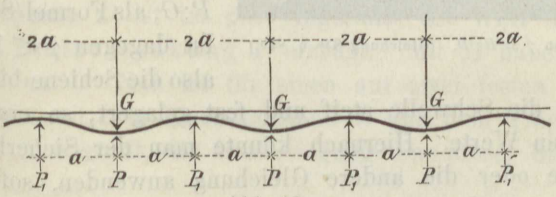


Abb. 16.

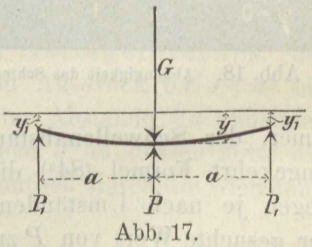


Abb. 17.

Schwellen- und doppelt so großen Lastabständen vorausgesetzt wird. Ferner ist von Schwedler eine Formel zur Berechnung des Schienendruckes angegeben worden, der die Annahme zugrunde liegt, daß sich nur eine Last G auf der Schiene befindet und daß die letztere wie ein Träger auf drei elastischen Stützen wirkt, wobei die Last, wie Abb. 17 zeigt, gerade über der Mittelstütze steht. Beide Annahmen sind so einfach, daß der Wert P des Auflagerdruckes der Schiene sehr leicht berechnet werden kann, ohne daß man auf die Gleichungen im § 11 zurückzugreifen braucht. Halten wir die bisherige Bezeichnungsweise fest, so lautet die Formel von Hoffmann:

[49]) Vgl. Fußnote 47.

[50]) Hoffmann, Der Langschwellen-Oberbau der Rheinischen Eisenbahn. Berlin, 1886.

$$(84^a) \qquad P = \frac{4\gamma + 1}{8\gamma + 1} G,$$

und die Formel von Schwedler:

$$(84^b) \qquad P = \frac{\gamma + 2}{3\gamma + 2} G.$$

Aus diesen beiden Gleichungen haben wir die Werte von $P : G$ berechnet und in Abb. 18 als Funktion von γ aufgetragen. Die Bezifferung auf der rechten Seite des Netzes ergibt die Werte von P für den Fall, daß $G = 7500$ kg angenommen wird. Nach Gleichung (84ª) nimmt $P : G$ mit wachsendem γ sehr schnell ab, wie die zugehörige Linie (*a*) zeigt, und zwar nähert sich $P : G$ der Grenze $\frac{1}{2}$. Nach Gleichung (84ᵇ) und Kurve (*b*) ist die Abnahme von $P : G$ anfänglich eine langsamere, dafür liegt aber die untere Grenze von $P : G$ tiefer, nämlich bei $\frac{1}{3}$. Solange $\gamma > 1{,}5$ ist, d. h. bei steifer Schiene, kleinem Schwellenabstand, biegsamer Schwelle und nachgiebiger Bettung, liefert die Formel (84ª) größere Werte von $P : G$, als Formel (84ᵇ). Ist dagegen $\gamma < 1{,}5$, also die Schiene biegsamer, der Schwellenabstand groß, die Schwelle steif und fest gelagert, so ergibt umgekehrt Formel (84ª) die größeren Werte. Hiernach könnte man der Sicherheit wegen je nach Umständen die eine oder die andere Gleichung anwenden, sofern der gesuchte Wert von P zur Berechnung der Maße eines neu zu entwerfenden Oberbaues dienen soll. Da es jedoch für diesen Zweck genügt, P in runder Zahl anzunehmen, so dürfte die Bedeutung der Formeln mehr in dem Umstande liegen, daß sich mit ihrer Hülfe verschiedene Anordnungen vergleichen und Aufschlüsse darüber gewinnen lassen, welchen Einfluß die einzelnen Abmessungen auf das Gesamtverhalten ausüben.

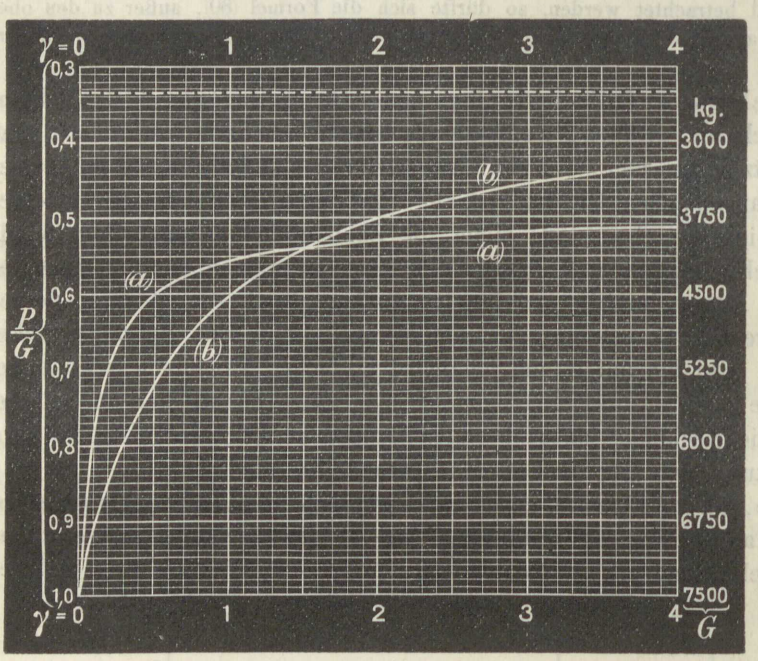


Abb. 18. Abhängigkeit des Schienendruckes von $\gamma = B : D$. (Gleichung 84ª u. 84ᵇ.)

Senkungen der Stützpunkte und Durchbiegung der Schiene. — Wie schon in § 1 erörtert wurde, sind die elastischen Formänderungen des Gestänges von wesentlicher Bedeutung für die Leistung und Dauer eines Gleises. Je steifer das Gestänge und je starrer seine Unterstützung ist, um so kleiner sind natürlich nicht nur seine Schwingungen und die daraus entspringenden Schwankungen der Fahrzeuge, sondern auch die Gleitbewegungen an den Berührungsflächen der einzelnen Teile und die entsprechenden Abnützungen. Als ein geeigneter Maßstab für den Grad

der Steifigkeit bietet sich die Senkung dar, die ein Punkt der Schiene unter dem Einflusse der Last erleidet. Wählt man als solchen den Angriffspunkt der in der Mitte zwischen zwei Schwellen ruhend gedachten Last, so gelangt in der Senkung dieses Punktes sowohl die Nachgiebigkeit der Stützen, als auch die Biegsamkeit der Schiene in passender Weise zum Ausdruck. Um möglichst einfache Formeln zu erhalten, berücksichtigen wir im Anschluß an die im Eingange dieses Paragraphen durchgeführte Rechnung nur vier Stützpunkte. Aus den dort gefundenen Werten der Stützenmomente $M_2 = M_3 = (4\gamma - 3)\, G\alpha : 4\,(4\gamma + 10)$ ergeben sich mit Hülfe der Gleichungen (40) und (45) sofort die Auflagerdrücke A_1 und A_2 und die Stützensenkungen

$$(85^a) \qquad y_1 = \frac{A_1}{D} = \frac{4\gamma - 3}{4(4\gamma + 10)} \frac{G}{D} \quad \text{und} \quad y_2 = \frac{A_2}{D} = \frac{4\gamma + 23}{4(4\gamma + 10)} \frac{G}{D}.$$

Die Durchbiegung δ, die die Schiene zwischen den beiden mittleren Stützen im Angriffspunkte der Last erleidet, berechnet sich, da jetzt alle biegenden Kräfte bekannt sind, in einfachster Weise zu

$$(85^b) \qquad \delta = \frac{a^3}{6EJ}\left(A_1 + \frac{1}{4} A_2\right) = \frac{20\gamma + 11}{16(4\gamma + 10)} \frac{G}{B}.$$

Die Gesamtsenkung des Lastpunktes ist dann mit $G : B = G/D : B/D = G/D : \gamma$:

$$(85^c) \qquad y_2 + \delta = \frac{16\gamma^2 + 112\gamma + 11}{16\gamma(4\gamma + 10)} \frac{G}{D}.$$

In ähnlicher Weise lassen sich auch die Senkungen des Lastpunktes für die in den Abbildungen 16 und 17 dargestellten Fälle berechnen. Ihre Werte ergeben sich sehr einfach aus (84^a) und (85^b) durch Teilung von P mit D.

Die Größen B, D und γ. Das häufige Auftreten dieser Größen in allen auf den Querschwellen-Oberbau bezüglichen Rechnungen läßt es angezeigt erscheinen, ihre Bedeutung etwas näher zu untersuchen. Nach § 10 Gleichung (57) ist $\gamma = \frac{B}{D}$. Die Größe D ist im § 9 eingeführt als Wert desjenigen Auflagerdruckes, der die Stützensenkung 1 erzeugt. Mit B haben wir den Ausdruck $6EJ : a^3$ bezeichnet.[51] Nun ist für einen auf zwei festen Stützen im Abstande $2a$ ruhenden Balken mit dem Elastizitätsmaß E und dem Trägheitsmoment J, in dessen Mitte die Last R angreift, die Durchbiegung δ an dieser Stelle bekanntlich durch die Gleichung

$$\delta = \frac{Ra^3}{6EJ}$$

bestimmt. Mit $\delta = 1$ folgt hieraus

$$R = \frac{6EJ}{a^3} = B.$$

Demnach bedeutet B diejenige Last, die in der Mitte des bezeichneten Trägers angreifend den Biegungspfeil 1 erzeugt.

So wie D zunimmt mit der Starrheit der Stützung, so wächst B mit der Biegungssteifheit des Trägers; beide Größen können daher als Maße für die genannten Eigenschaften dienen. Hiermit folgt aus $\gamma = B : D$ für γ die Erklärung als diejenige Zahl, die angibt, in welchem Verhältnis das Steifheitsmaß des Trägers zu dem Starrheitsmaße seiner Stützen steht.

[51] S. § 9, Gl. (45), Seite 32, u. § 10, Gl. (57), Seite 37.

Die Zahlenwerte von B sind stets leicht zu berechnen. Als Beispiel führen wir an, daß die preußischen Schienen für Hauptbahnen (Nr. 6 u. 8) bei a cm Schwellenabstand

	mit $J = 1037$			und 1352		
für $a =$	60	70	80	60	70	80 cm
$B =$	57,6	36,6	24,6	65,9	41,5	27,8 t ergeben.

Etwas umständlicher ist die Ermittelung von D. Bei Eisenschwellen hängt D nur von der Eindrückung des Schienenstützpunktes der Schwelle in die Bettung ab, wohingegen bei Holzschwellen noch der Einfluß der Zusammendrückung des Holzes hinzutritt. Dies ist am einfachsten in der Weise zu berücksichtigen, daß man für Holzschwellen

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} \tag{86}$$

setzt. Dann ist D_1, ebenso wie D für Eisenschwellen, nach § 8, Gleichung (37) zu berechnen, während der Wert D_2 durch Versuche oder Beobachtungen im Betrieb ermittelt werden muß. Nach den Versuchen von Weber kann z. B. durchschnittlich $D_2 = 17{,}5$ t gesetzt werden. Damit hat Loewe in der früher erwähnten Abhandlung gefunden, daß bei Holzschwellen D zwischen 6,1 t und 12,5 t liegt. Als Grenzwerte von D für Eisenschwellen gibt derselbe Forscher 5,8 und 40,5 t an, wobei allerdings der Größtwert der Bettungsziffer C mit 20 etwas hoch geschätzt ist. Nach Häntzschels Messungen ist C selten größer als 8; damit findet man für die gebräuchlichen Schwellenformen als obere Grenze von D etwa 20 bis 22 t. Ast beziffert in der ersten der unten genannten Abhandlungen die Grenzwerte von D auf 5 und 25 t, und diejenigen von γ auf 0,5 bis 4[52]).

§ 13. Die Wirkungsweise der Schienenlaschen und allgemeine Berechnung der Laschendrücke. — Unter den verschiedenen Mitteln, die bisher zur Verbindung und Stützung der Schienenenden benutzt worden sind, nehmen zur Zeit die Seitenlaschen trotz aller Bestrebungen, etwas Besseres zu ersinnen, immer noch die erste Stelle ein. Ihre Wirkung besteht erstens darin, die Schienenenden in richtiger Flucht zu halten. Obgleich dies für eine gute Gleislage von großem Werte ist, gehen wir hierauf doch nicht näher ein, da es sich dabei mehr um eine konstruktive Frage, als um eine solche der Beanspruchung handelt, und da diese Wirkung mit jeder Anordnung ziemlich gleich gut erreicht wird, die der zweiten,

---

[52]) Um die Bestimmung von B und D für Eisenschwellen möglichst zu erleichtern, hat der Verf. besondere Diagramme entworfen, welche die Zahlenrechnung entbehrlich machen. S. d. Berechnung d. Eisenb.-Oberbaues, § 27, Abb. 77 bis 79. Umfangreiche Sammlungen von Beispielen zur Berechnung der Beanspruchung und des Auflagerdruckes der Schiene enthalten die Berichte von Ast über die Beziehung zwischen dem Gleis und den Betriebsmitteln und über die Verstärkung der Eisenbahngleise (Verhandl. d. internat. Eisenbahnkongr. 1892, Frage V A und 1895, Frage 1), sowie die in Fußnote 32 auf Seite 29 erwähnte Abhandlung von Blum. Ferner ist hier noch eine Untersuchung Asts über den Schienendruck bei verschiedenen Belastungsannahmen zu erwähnen, die sich in der Abhandlung über die Querschwelle und ihr Lager findet, und deren Ergebnisse (in ähnlicher Weise wie in Abb. 18) auf S. 81 der in Fußnote 32 genannten Quelle dargestellt sind. Schließlich ist hier noch die schon mehrfach erwähnte Abhandlung von Wasiutynski zu nennen, die unter der Bezeichnung „Beobachtungen über die elastischen Formänderungen des Eisenbahngleises“ in einem Ergänzungsheft zum Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. f. 1899 veröffentlicht ist. Wegen der von dem letzteren Forscher gefundenen Abweichungen zwischen den theoretischen und den Beobachtungsergebnissen vergleiche man die Bemerkungen in der Fußnote 11.

noch wichtigeren Bedingung Genüge leistet. Die Laschen haben nämlich ferner den Zweck, sowohl die Verschiebung, als auch die Verdrehung der Schienenenden gegeneinander zu verhüten, damit am Stoß in der Lauffläche weder ein Absatz noch ein Knick entsteht, sondern womöglich eine vollkommen stetige Bahn erhalten bleibt. Dieses Ziel würde sich ohne Zweifel mit großer Annäherung erreichen lassen, wenn man die Laschen fest mit den Schienen verbinden könnte. Dann wäre der ganze Strang wie ein Träger mit veränderlichem Querschnitt zu behandeln, dessen Achse nur Unstetigkeiten der Krümmung aufweist, wie sie auch an den Stütz- und Lastpunkten des Trägers mit überall gleichem Querschnitt auftreten. Da aber die unter dem Einfluß der Wärme stattfindenden Längenänderungen der Schiene eine solche feste Verbindung der Enden nicht zulassen, so bleibt nur übrig, die Flächen, in denen die Kräfte von der einen Schiene auf die angrenzende übertragen werden, mit der Achse gleichlaufend anzubringen[52a]).

Dies hat natürlich zur Folge, daß die fraglichen Kräfte, wenn von dem Einfluß der Reibung abgesehen wird, senkrecht zur Stabachse gerichtet und, sofern es sich um Übertraguug eines Momentes handelt, über eine gewisse endliche Strecke der Achse verteilt sein müssen. Das hierfür maßgebende Gesetz ist zur Zeit noch nicht näher erforscht und mutmaßlich so vielen Zufälligkeiten und zeitlichen Änderungen unterworfen, daß man genötigt ist, der Berechnung des Laschendruckes eine schätzungsweise angenommene Art der Druckverteilung zugrunde zu legen. Eine Prüfung der dabei in Betracht kommenden Gesichtspunkte zeigt, daß schon bei genau passenden Laschen die zu übertragenden Kräfte größtenteils an den Enden und in der Mitte der Laschen angreifen, daß dies aber in noch höherem Maße zutrifft, wenn zwischen den Anlageflächen Spielräume vorhanden sind. Dann findet unter Umständen eine Berührung nahe der Mitte der Laschenhälften, also in den Viertelpunkten der Laschenlänge, überhaupt nicht, und an den Enden der Schienen und Laschen nur auf kurze Strecken statt. Man sucht zwar derartige Spielräume durch keilförmige Gestaltung der Anlageflächen und festes Anziehen der Laschenschrauben zu beseitigen, ohne jedoch das Ziel vollkommen erreichen zu können. Die Zwischenräume können, absolut genommen, sehr klein sein und dennoch die Wirkung der Laschen in hohem Maße vermindern oder möglicherweise sogar ganz aufheben. Bei dieser Sachlage erscheint es einerseits angezeigt, den Einfluß der Spielräume nicht zu vernachlässigen, und andererseits statthaft, die Laschendrücke wie Einzelkräfte zu behandeln, die nahe bei den Enden der Schienen und Laschen angreifen[53]). Dann kommen

[52a]) Das Haupthindernis, das einer festen, unverschiebbaren Verbindung der Schienenenden entgegensteht, liegt nicht etwa in der Zugspannung, die bei niedrigen Wärmegraden infolge Verkürzung der Schienen eintreten würde, sondern umgekehrt in dem Druck bei starker Ausdehnung im Sommer. Wenn dieser Druck eine gewisse Grenze überschreitet, so verhält sich die Schiene wie ein auf Knicken beanspruchter Stab. Dann tritt die Gefahr seitlicher Ausbiegungen ein. Solche kommen bei zugefahrenen Stoßlücken oder sehr scharf unterschnittenen und zu fest angezogenen Laschen in der Tat vor, und zwar besonders leicht, wenn die Schwellen zur Ausführung von Unterhaltungsarbeiten vom Bettungsstoff freigelegt sind. Die Erscheinung ist unter dem Namen Gleisverwerfung bekannt und gefürchtet. Bei Gleisen, die in der Straßendecke fest eingebettet sind, besteht diese Gefahr nicht; die Straßenbahnen haben daher auch die feste Verbindung der Schienenenden durch Verschweißen oder Umgießen vielfach angewendet. Für die Gleise auf besonderen Bahnkörpern mit unbefestigter Bettung ist eine derartige Stoßverbindung ausgeschlossen.

[53]) Eine genauere Begründung der obigen Annahmen findet sich im § 29 d. Berechnung d. Eisenb.-Oberb. — Übrigens hat der Verfasser im Centralbl. d. Bauverw. für 1889 (S. 516) die Rechnung auch unter der Annahme durchgeführt, daß der Druck auf die einzelnen Punkte der Anlageflächen der dort vorhandenen Verschiebung der Laschen gegen die Schiene proportional sei.

höchstens vier solche Kräfte und an jedem Angriffspunkte zwei Spielräume in Betracht, nämlich je einer in der oberen und der unteren Fuge. Die betreffenden Stellen sind in Abb. 19 durch kleine Pfeilspitzen hervorgehoben. Die Spielräume selber sollen ihrer räumlichen Verteilung gemäß und im Anschluß an die Bezifferung der Querschnitte mit

$$\frac{\varepsilon_4}{\bar{\varepsilon}_4} \quad \frac{\varepsilon_2}{\bar{\varepsilon}_2} \; \frac{\varepsilon_1}{\bar{\varepsilon}_1} \quad \frac{\varepsilon_3}{\bar{\varepsilon}_3}$$

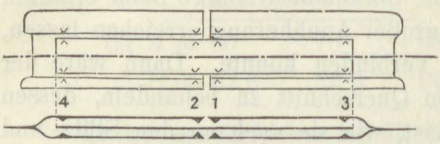


Abb. 19.

bezeichnet werden[54]). Übrigens ist es für die Darstellung bequemer und ohne merkbaren Einfluß auf die Genauigkeit, wenn man bei Berechnung der Formänderungen die Höhen der Laschen vernachlässigt, sie also gewissermaßen durch eine im spannungslosen Zustande mit der Schienenachse zusammenfallende Linie ersetzt. Über und unter dieser Linie sind also die Berührungspunkte in der durch die Größe der ε vorgeschriebenen Entfernung liegend zu denken, wie dies im unteren Teile der Abb. 19 angedeutet ist. Die Punkte 1 und 2 werden kurz innere, 3 und 4 dagegen äußere Berührungs- oder Anlagepunkte genannt.

In Abb. 20 sind die Angriffspunkte der Laschendrücke demgemäß bezeichnet und die Richtungen angegeben, nach denen die entsprechenden Kräfte R_1, R_2, R_3 und R_4 wirken, wenn die Stoßverbindung einem positiven Moment von hinreichender Größe ausgesetzt wird. Die Kräfte werden in der Folge positiv in Rechnung gestellt, wenn sie die bezeichneten Richtungen haben, negativ, wenn sie entgegengesetzt gerichtet sind. Sobald dann die Lage der Angriffspunkte bekannt (oder schätzungsweise angenommen) ist, kann auch die Größe der Kräfte bestimmt werden. Denkt man sich nämlich die Laschen von den Schienen getrennt, wie in Abb. 20 angedeutet ist, und die noch unbekannten Kräfte R_1, R_2, R_3 und R_4 sowohl an den Laschen, wie an den nunmehr freien Schienenenden angebracht, so wird an dem Belastungszustande des Gestänges und der Laschen nichts geändert; es muß also die Form aller Teile dieselbe bleiben wie vorher, d. h. die gegenseitige Lage der vier Punkte 1, 2, 3 und 4 der Schienen muß die gleiche sein, wie die gegenseitige Lage der entsprechenden Punkte der Laschen. Diese Bedingung liefert zusammen mit den allgemeinen Gleichgewichtssätzen eine hinreichende Anzahl von Gleichungen zur Bestimmung der vier Unbekannten R_1, R_2, R_3 und R_4. Dabei ist es natürlich von Einfluß auf die Größe der Formänderungen, also auch auf diejenige der gesuchten Kräfte, ob die einander in belastetem Zustande berührenden Punkte der Schienen und Laschen auch schon

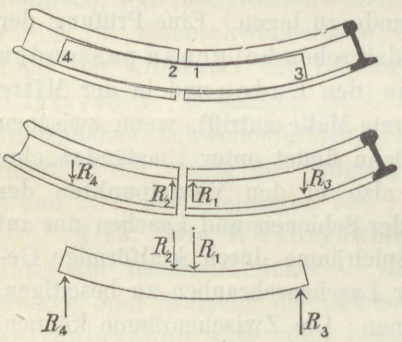


Abb. 20.

[54]) Der über einem Strich stehende Buchstabe ε bezeichnet also einen oberen, der unter dem Strich stehende einen unteren Spielraum. Es könnte auffallend erscheinen, daß als Grundlage der obigen Bezeichnungsweise eine Stellung der Laschen gegen die Schienen gewählt ist, bei welcher in keinem Punkte Berührung stattfindet, während die Laschen doch mindestens in je zwei Punkten gestützt sein müssen. Bei näherem Eingehen zeigt sich aber, daß die Größe der Laschendrücke nur davon abhängen kann, welche gegenseitige Lage die Schienen und Laschen im belasteten Zustand einnehmen. Die Wahl der Anfangslage steht also (in gewissen Grenzen) frei und ist daher so getroffen, daß die Rechnungsergebnisse eine möglichst allgemeine und übersichtliche Form erhalten.

vor Aufbringung der Last zusammenfallen oder nicht; hier kommt also die Größe der oben besprochenen Spielräume zur Geltung.

Da unsymmetrische Laschen nicht gebräuchlich sind, so kann ohne weiteres angenommen werden, daß die ganze Stoßverbindung symmetrisch in bezug auf die Ebene des Stoßquerschnittes sei; ferner setzen wir im Einklange mit der praktischen Erfahrung voraus, daß die inneren Berührungspunkte sehr nahe bei der Laschenmitte liegen. Daraus folgt dann sofort, daß $R_3 = R_4$ sein muß. Bezeichnet man den gemeinschaftlichen Wert beider Kräfte mit $\boldsymbol{R}$, die Querkraft im Mittelschnitt mit $\boldsymbol{Q_I}$, das Biegungsmoment an derselben Stelle mit $\boldsymbol{M_I}$, den Abstand der Punkte 3 und 4 von 1 und 2 mit a_0, so ergibt sich aus Abb. 20:

$$(87)\qquad \left\{\begin{array}{l} R = \frac{1}{2}(R_1 + R_2) \\ Q_I = R - R_2 = \frac{1}{2}(R_1 - R_2); \quad M_I = R a_0 . \end{array}\right.$$

Es bezeichne ferner gemäß Abb. 21 für die Punkte

4, 2, 1, 3:

y_4 y_2 y_1 y_3 die Senkung der Schienen ohne Rücksicht auf die Wirkung der Laschen;

Δ_4 Δ_2 Δ_1 Δ_3 die Zunahme der Senkung infolge der Laschenwirkung.

Mißt man die Senkungstiefen von derjenigen Geraden aus, in welcher Schienen- und Laschenachse vor Aufbringung der Last liegen, so ist die jeweilige Höhenlage der Achse und der um den Betrag der Spielräume darüber oder darunter liegenden Berührungspunkte offenbar durch die folgenden Ausdrücke bestimmt:

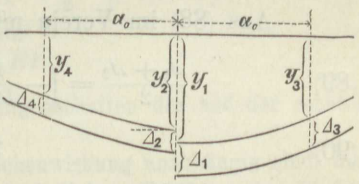


Abb. 21.

Querschnitt:	4	2	1	3
Oberer Punkt:	$y_4 + \Delta_4 - \bar{\varepsilon}_4$;	$y_2 + \Delta_2 - \bar{\varepsilon}_2$;	$y_1 + \Delta_1 - \bar{\varepsilon}_1$;	$y_3 + \Delta_3 - \bar{\varepsilon}_3$;
Achse:	$y_4 + \Delta_4$;	$y_2 + \Delta_2$;	$y_1 + \Delta_1$;	$y_3 + \Delta_3$;
Unterer Punkt:	$y_4 + \Delta_4 - \bar{\varepsilon}_4$;	$y_2 + \Delta_2 - \bar{\varepsilon}_2$;	$y_1 + \Delta_1 - \bar{\varepsilon}_1$;	$y_3 + \Delta_3 - \bar{\varepsilon}_3$.

Die Größen y hängen nur von der Art der Schienenauflagerung und dem Belastungszustande ab; sie können für die voliegende Aufgabe als gegeben betrachtet werden. Die Größen Δ dagegen sind Funktionen der zu bestimmenden Kräfte R, R_1 und R_2 und diesen proportional, so zwar, daß

$$\Delta_1 = -\frac{R_1}{D_{11}} + \frac{R}{D_{31}}; \quad \Delta_3 = -\frac{R_1}{D_{13}} + \frac{R}{D_{33}};$$
$$\Delta_2 = -\frac{R_2}{D_{22}} + \frac{R}{D_{42}}; \quad \Delta_4 = -\frac{R_2}{D_{24}} + \frac{R}{D_{44}}$$

gesetzt werden kann[55]). Hierin bezeichnet

---

[55]) Die ersten Glieder wurden mit negativem Vorzeichen versehen, weil positive (nach oben gerichtete) Kräfte R_1 und R_2 in der Regel nicht eine Senkung, sondern eine Hebung bewirken.

$\left.\begin{matrix} D_{11} \\ D_{22} \end{matrix}\right\}$ den Druck, der im Punkt $\left\{\begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix}\right\}$ angreifend den Punkt $\left\{\begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix}\right\}$

$\left.\begin{matrix} D_{13} \\ D_{24} \end{matrix}\right\}$ „ „ „ „ „ $\left\{\begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix}\right\}$ „ „ „ $\left\{\begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix}\right\}$

$\left.\begin{matrix} D_{31} \\ D_{42} \end{matrix}\right\}$ „ „ „ „ „ $\left\{\begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix}\right\}$ „ „ „ $\left\{\begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix}\right\}$

$\left.\begin{matrix} D_{33} \\ D_{44} \end{matrix}\right\}$ „ „ „ „ „ $\left\{\begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix}\right\}$ „ „ „ $\left\{\begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix}\right\}$

um die Längeneinheit senkt. Wegen der vorausgesetzten Symmetrie ist

$$D_{11} = D_{22}; \quad D_{13} = D_{24}; \quad D_{31} = D_{42}; \quad D_{33} = D_{44},$$

und aus dem allgemeinen Gesetz der Gegenseitigkeit der Verschiebungen folgt

$$D_{13} = D_{31}; \quad D_{24} = D_{42}.$$

Die Gleichungen für die Δ enthalten daher nur drei verschiedene Größen D, als welche wir die in der vorstehenden, die Bedeutung der D erklärenden Zusammenstellung fett gedruckten wählen. Damit erhalten die fraglichen Gleichungen die Form:

$$(88) \qquad \begin{cases} \Delta_1 = -\frac{R_1}{D_{11}} + \frac{R}{D_{13}}; & \Delta_3 = -\frac{R_1}{D_{13}} + \frac{R}{D_{33}}; \\ \Delta_2 = -\frac{R_2}{D_{11}} + \frac{R}{D_{13}}; & \Delta_4 = -\frac{R_2}{D_{13}} + \frac{R}{D_{33}}. \end{cases}$$

Aus (88) im Verein mit (87) folgen die weiterhin zu benutzenden Beziehungen

$$(89) \qquad \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = \left(-\frac{1}{D_{11}} + \frac{1}{D_{13}}\right) R; \qquad \frac{\Delta_3 + \Delta_4}{2} = \left(-\frac{1}{D_{13}} + \frac{1}{D_{33}}\right) R;$$

$$(90) \qquad \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2} = \frac{\frac{1}{2}(R_1 - R_2)}{D_{11}} = \frac{Q_I}{D_{11}}.$$

Schließlich ist noch, wenn δ den Biegungspfeil der Laschen, i deren Trägheitsmoment und E das Elastizitätsmaß bezeichnet,

$$(91) \qquad \delta = \frac{a_0^3}{3Ei} R.$$

Die weitere Rechnung hängt nun von der Art der Belastung ab. Es läßt sich zeigen, daß mit Rücksicht auf die angenommenen Spielräume und die verschiedenen Möglichkeiten der Berührung zwischen den Schienen und Laschen im ganzen vier wesentlich verschiedene Belastungsfälle eintreten können. Da der Raum ein näheres Eingehen nicht gestattet, so müssen wir uns darauf beschränken, den praktisch wichtigsten Fall vorzuführen[56]). Um diesen handelt es sich, wenn die Berührung der Schienen und Laschen in der Weise stattfindet, wie Abb. 22 zeigt. Dann treten von den obenerwähnten acht Anlagepunkten nur die vier in Wirksamkeit, die in Abb. 22 durch schwarze Dreiecke bezeichnet sind. Der Umstand, daß die oberen Punkte 1 und 2 in gleicher Höhe liegen, ist auszudrücken durch die Gleichung

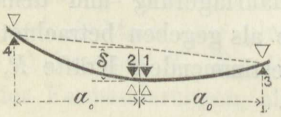


Abb. 22.

$$y_2 + \Delta_2 - \varepsilon_2 = y_1 + \Delta_1 - \varepsilon_1.$$

---

[56]) Wegen der übrigen Fälle s. d. Berechnung d. Eisenb.-Oberbaues, § 30. Dort sind auch die Bedingungen ausführlich erörtert, unter denen der eine oder andere Fall eintritt.

Hieraus folgt mit Rücksicht auf (90):

$$Q_I = D_{11}\left(\frac{y_1 - y_2}{2} - \frac{\underline{\varepsilon}_1 - \underline{\varepsilon}_2}{2}\right). \tag{92}$$

Die Ausdrücke $y_1 - \underline{\varepsilon}_1$ und $y_2 - \underline{\varepsilon}_2$ geben die Höhenlage der inneren Berührungspunkte bei fehlender Verlaschung an. Gleichung (92) sagt also aus, daß die Querkraft in der Laschenmitte dem Höhenunterschiede der Berührungspunkte an den unverlaschten Schienenenden proportional ist.

Ferner zeigt Abb. 22, daß die Berührungspunkte 1 und 2 um den Betrag

$$\delta = y_1 + \Delta_1 - \underline{\varepsilon}_1 - \frac{1}{2}\left(y_3 + \Delta_3 + \bar{\varepsilon}_3 + y_4 + \Delta_4 + \bar{\varepsilon}_4\right)$$

oder $$\delta = y_2 + \Delta_2 - \underline{\varepsilon}_2 - \frac{1}{2}\left(y_3 + \Delta_3 + \bar{\varepsilon}_3 + y_4 + \Delta_4 + \bar{\varepsilon}_4\right)$$

unter der Verbindungslinie der Berührungspunkte 3 und 4 liegen. Wenn man diese beiden Gleichungen zusammenzählt, durch 2 teilt und die Größen Δ auf die linke Seite bringt, so folgt

$$\delta - \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} + \frac{\Delta_3 + \Delta_4}{2} = \frac{y_1 + y_2}{2} - \frac{y_3 + y_4}{2} - \left(\frac{\underline{\varepsilon}_1 + \underline{\varepsilon}_2}{2} + \frac{\bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_4}{2}\right).$$

Setzt man hierin für $\frac{1}{2}(\Delta_1 + \Delta_2)$ nnd $\frac{1}{2}(\Delta_3 + \Delta_3)$, sowie δ ihre Werte aus (89) und (91), so ergibt sich

$$R = \frac{\dfrac{y_1 + y_2}{2} - \dfrac{y_3 + y_4}{2} - \left(\dfrac{\underline{\varepsilon}_1 + \underline{\varepsilon}_2}{2} + \dfrac{\bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_4}{2}\right)}{\left(\dfrac{1}{D_{11}} - \dfrac{2}{D_{13}} + \dfrac{1}{D_{33}}\right) + \dfrac{a_0^3}{3Ei}}. \tag{93}$$

Für die Anwendung ist es von Nutzen, die folgenden Eigenschaften des auf der rechten Seite stehenden Bruches im Auge zu behalten:

Der Zähler drückt mit den Größen y (die von der Laschenwirkung unabhängig sind) den Einfluß der auf dem Gestänge ruhenden Lasten, mit den (unveränderlichen) Größen ε den Einfluß der Spielräume in den Fugen zwischen Schiene und Lasche aus. Die Kenntnis der Einzelbeträge dieser Größen ist nicht erforderlich, da der in (93) auftretende Ausdruck die Summe aus den Mittelwerten der bei dem angenommenen Berührungszustand zur Wirkung kommenden oberen und unteren Spielräume, also den mittleren Gesamtspielraum darstellt, den wir als solchen kurz mit ε bezeichnen können. Da ferner

$$\tfrac{1}{2}(y_1 + y_2) - \tfrac{1}{2}(\underline{\varepsilon}_1 + \underline{\varepsilon}_2) = \tfrac{1}{2}(y_1 - \underline{\varepsilon}_1 + y_2 - \underline{\varepsilon}_2)$$

das arithmetische Mittel aus den Höhen darstellt, in denen die inneren Berührungspunkte bei fehlenden Laschen liegen würden, und da der Ausdruck

$$\tfrac{1}{2}(y_3 + y_4) + \tfrac{1}{2}(\bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_4) = \tfrac{1}{2}(y_3 + \bar{\varepsilon}_3 + y_4 + \bar{\varepsilon}_4)$$

eine ganz ähnliche Bedeutung für die äußeren Berührungspunkte hat, so stellt der Zähler des Bruches die Strecke dar, um welche die Mitte zwischen den inneren Berührungspunkten bei unbelasteten Schienen tiefer liegt, als die Mitte zwischen den äußeren Berührungspunkten.

Der Nenner ist unabhängig vom Wechsel der Belastung, kann also ein für allemal berechnet werden, sobald die Maße des Gestänges und der Lasehen gegeben sind. Aus (88) folgt, daß das erste Glied des Nenners angibt, um welchen Betrag die durch die Laschendrücke $R_1 = R_2 = R = 1$ hervorgerufenen Senkungen der äußeren Anlagepunkte der Schienen größer sein würden, als die entsprechenden Senkungen der inneren Anlagepunkte. Das zweite Glied des Nenners stellt nach (91) den Biegungspfeil der Laschen für $R = 1$ dar. Die Querschnittsmaße der Schienen und Schwellen treten nur im ersten Gliede, die der Laschen nur im zweiten auf, während beide die Länge a_0 enthalten.

Hiernach folgt aus Gleichung (93) der Satz: Bei gegebener Anordnung des Gestänges und der Laschen ist der Laschendruck R und das Biegungsmoment $M_I = Ra_0$ im

Stoßquerschnitt dem Abstand der Mitte zwischen den inneren Berührungspunkten der unverlaschten Schienen von der Verbindungslinie der äußeren Berührungspunkte proportional.

§ 14. Die Berechnung der Laschen für Langschwellen- und Querschwellen-Oberbau. — Es handle sich um einen schwebenden Schienenstoß für Langschwellen-Oberbau mit unverlaschten Schwellen (nur auf diesen Fall können nämlich die Gleichungen des vorigen Paragraphen ohne weiteres angewendet werden). Dann ist die Senkung y irgendeines rechts vom Stoßquerschnitte im Abstande x gelegenen Punktes A des unendlich langen, in jenem Querschnitte einseitig begrenzten Stabes für jede beliebige Zahl und Stellung der Lasten durch die erste Gleichung der Gruppe (25) in § 6 bestimmt. Mit Hülfe derselben Gleichung ist auch der Zahlenwert der Größen $1 : D_{11}$, $1 : D_{13}$ und $1 : D_{33}$ zu berechnen; denn es stellt dar:

$\frac{1}{D_{11}}$ die Senkung des Punktes 1 bei Belastung des Punktes 1

$\frac{1}{D_{13}}$ " " " " $\left\{\begin{matrix}1\\3\end{matrix}\right\}$ " " " " $\left\{\begin{matrix}3\\1\end{matrix}\right\}$

$\frac{1}{D_{33}}$ " " " " 3 " " " " 3

mit der Krafteinheit. Die Wirkung jeder einzelnen dieser Lasten kann mittels der bekannten Hülfsgrößen η, μ und μ' leicht allgemein dargestellt werden, weshalb auch die Untersuchung des gesamten Verhaltens der Stoßverbindung und ihres Einflusses auf das angrenzende Gestänge keine Schwierigkeiten bietet. Da jedoch hierzu immerhin ziemlich umfangreiche Rechnungen erforderlich sind, und da die Bedeutung des Langschwellen-Oberbaues zurzeit gegen die des Querschwellen-Oberbaues erheblich zurücktritt, so müssen wir den Leser, der sich über den Gegenstand näher zu unterrichten wünscht, auf unten angegebene Quelle verweisen[57]).

Beim Querschwellen-Oberbau tritt eine erheblich größere Zahl von Veränderlichen auf. Um trotzdem die Rechnung in solcher Allgemeinheit durchführen zu können, daß der Einfluß erkennbar bleibt, den eine Änderung der gegebenen Größen auf die gesuchten ausübt, soll der Schienenstrang wie ein Träger behandelt werden, der auf vier symmetrisch angeordneten elastischen Stützen ruht und in seiner Mitte gestoßen ist[58]). Dann handelt es sich zunächst um die Ermittelung des Formänderungsgesetzes für die unverlaschten Teile dieses Trägers. Hierfür stehen zwar die Formeln des § 10 zur Verfügung; da jedoch bei der angenommenen kleinen Zahl von Stützen die unmittelbare Entwicklung sich mindestens ebenso einfach gestaltet, so ziehen wir letztere vor.

---

57) Die Stoßverbindung des Langschwellen-Oberbaues ist eingehend untersucht in § 31 und 32 d. Berechnung d. Eisenb.-Oberbaues. Der § 32 enthält insbesondere eine allgemeine Darstellung des Einflusses einer Änderung der Länge und des Trägheitsmomentes der Laschen mit Hilfe zahlreicher Kurvenscharen.

58) Die Annahme einer verhältnismäßig so kleinen Zahl von Stützpunkten entfernt sich im allgemeinen deswegen nicht allzuviel von dem wirklichen Zustande, weil bei Belastung des Stoßes mit einer Einzellast die folgenden Stützen negative Auflagerdrücke ausüben müßten. Solche können aber nur in geringem Grade auftreten, da die Schienen nicht nach unten fest eingespannt sind, sondern sich teils von den Schwellen, teils mit diesen von der Bettung abheben können. Übrigens würde im Einzelfall, d. h. wenn sich mehrere der in die Rechnung eingehenden Größen in Zahlen ausdrücken lassen, die Lösung der Aufgabe für eine größere Erstreckung der Schiene zu beiden Seiten des Stoßes nach obigem Vorbilde bei Anwendung der Formeln des § 10 keine besonderen Schwierigkeiten bieten.

Es bezeichne a den Abstand einer Mittelstütze (1) von der nächsten Endstütze (2), z die Entfernung der auf das freie Trägerende einwirkenden Kraft P von der Stütze (1), $O—O$ die Lage der unbelasteten Trägerachse, ω die Neigung der Stützensehne (1)—(2) des belasteten Trägers und $\nu_{(1)}$ die Neigung der Berührenden zur Stabachse im Punkte (1) gegen $O—O$, D den Druck, der die Stützensenkung 1 erzeugt[59]). Im übrigen mögen die durch Abb. 23 erläuterten Bezeichnungen gelten. Dann ergibt sich für

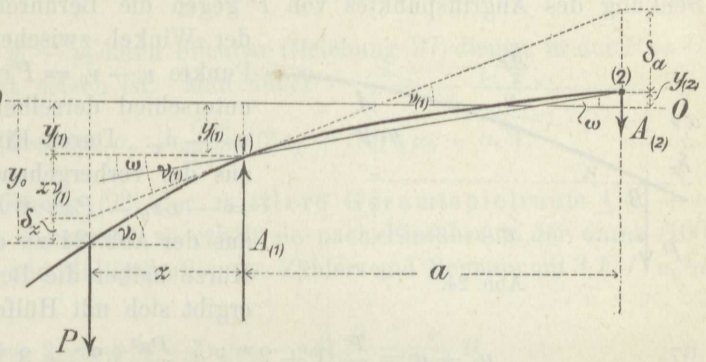


Abb. 23.

	Punkt (1)	Punkt (2)
der Auflagerdruck	$A_{(1)} = P\frac{a+z}{a}$	$A_{(2)} = -P\frac{z}{a}$
und die Senkung	$y_{(1)} = \frac{A_{(1)}}{D} = \frac{P}{D}\frac{a+z}{a}$;	$y_{(2)} = \frac{A_{(2)}}{D} = -\frac{P}{D}\frac{z}{a}$,

woraus der Wert der Neigung der Stützensehne

$$\omega = \frac{y_{(2)} - y_{(1)}}{a} = -\frac{P}{D}\frac{a+2z}{a^2} \quad \text{folgt.}$$

Denkt man sich den Träger bei (1) auf einer kurzen Strecke eingespannt, so ist nach bekannten Formeln die von der Einspannungslinie aus gemessene Durchbiegung

im Angriffspunkte von P : $\delta_z = \frac{P}{3EJ}z^3$

„ „ „ $A_{(2)}$: $\delta_a = \frac{-A_{(2)}}{3EJ}a^3 = \frac{P}{3EJ}a^2 z$.

Hiernach ergibt sich die Neigung der Berührenden im Punkte (1)

$$\nu_{(1)} = \omega - \frac{\delta_a}{a} = -\frac{P}{D}\frac{a+2z}{a^2} - \frac{P}{3EJ}az. \tag{94}$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen erhält man nun leicht aus Abb. 23 die Gesamtsenkung des Angriffspunktes von P; und zwar folgt, wenn man zur Abkürzung $z : a = \zeta$ setzt,

$$\text{aus} \quad y_0 = y_{(1)} - z\nu_{(1)} + \delta_z$$

$$y_0 = \frac{P}{D}(1 + 2\zeta + 2\zeta^2) + \frac{Pa^3}{3EJ}(\zeta^2 + \zeta^3). \tag{95}$$

Ferner bildet die Stabachse in demselben Punkte mit der Richtung der Berührenden am Punkte (1) den Winkel $\nu_{(1)} - \nu_0 = Pz^2 : 2EJ$. Demnach ist die Gesamtneigung im Angriffspunkte von P, wenn wieder $z : a = \zeta$ gesetzt wird:

$$\nu_0 = -\frac{P}{Da}(1 + 2\zeta) - \frac{Pa^2}{EJ}(\tfrac{1}{3}\zeta + \tfrac{1}{2}\zeta^2). \tag{96}$$

---

[59]) Übereinstimmend mit der bisherigen Annahme wird auch hier diejenige Neigung als positiv betrachtet, die einem positiven Werte von $dy : dx$, d. h. einem Gefäll von links nach rechts entspricht. In den Abbildungen 23 und 24 ist also die Neigung überall negativ. — Wegen D vgl. § 12, Gl. (86).

Für einen beliebigen Punkt A im Abstande x rechts von P werde die Gesamtsenkung mit y, die Neigung der Achse mit ν bezeichnet. Dann ist die Senkung des Angriffspunktes von P gegen die Berührende in A: $\delta_x = Px^3 : 3EJ$, der Winkel zwischen den Berührenden beider Punkte $\nu - \nu_0 = Px^2 : 2EJ$, und der Senkungsunterschied derselben nach Abb. 24: $y - y_0 = x\nu - \delta_x$. Durch Einsetzung des Wertes von ν aus der vorhergehenden Gleichung wird $y_0 - y = -x\nu_0 - Px^3 : 6EJ$, was auch unmittelbar aus der Abb. 24 zu ersehen ist. Führt man der Kürze halber die Bezeichnung $x : a = \xi$ ein, so ergibt sich mit Hülfe von (96):

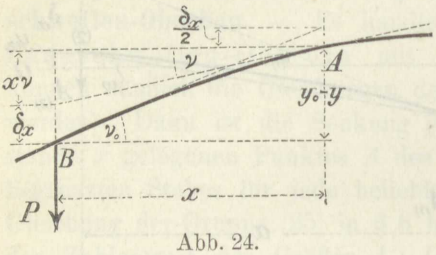


Abb. 24.

$$(97) \qquad y_0 - y = \frac{P}{D}(1 + 2\zeta)\,\xi + \frac{Pa^3}{6EJ}\left((2\zeta + 3\zeta^2)\,\xi - \xi^3\right).$$

Durch Verbindung mit (95) findet sich hieraus:

$$(98) \qquad y = \frac{P}{D}\left(1 + 2\zeta + 2\zeta^2 - (1 + 2\zeta)\,\xi\right) + \frac{Pa^3}{6EJ}\left(2\zeta^2 + 2\zeta^3 - (2\zeta + 3\zeta^2)\,\xi + \xi^3\right).$$

Liegt der Punkt A im Abstande x links von P, so ist offenbar $y - y_0 = -x\nu_0$. Daraus folgt mit Rücksicht auf (95) und (96):

$$(99) \qquad y = \frac{P}{D}\left(1 + 2\zeta + 2\zeta^2 + (1 + 2\zeta)\,\xi\right) + \frac{Pa^3}{6EJ}\left(2\zeta^2 + 2\zeta^3 + (2\zeta + 3\zeta^2)\,\xi\right).$$

Behufs Anwendung dieser Formeln auf die vorliegende Aufgabe möge nun der Abstand der äußeren Berührungspunkte 3 und 4 von den inneren 1 und 2 (§ 13, Abb. 20) wieder mit a_0, ferner der halbe Abstand der Stoßschwellen mit a_1 bezeichnet und $a_0 : a = \alpha_0$, $a_1 : a = \alpha_1$ gesetzt werden. Dann ergeben sich die Werte der in der Gleichung (93) auftretenden Größen $1 : D_{11}$, $1 : D_{13}$ und $1 : D_{33}$ in nachstehender Weise.

Aus (95) folgt mit $\zeta = \alpha_1$ und $P = 1$:

$$\frac{1}{D_{11}} = \frac{1}{D}\,(1 + 2\alpha_1 + 2\alpha_1^2) + \frac{a^3}{3EJ}(\alpha_1^2 + \alpha_1^3).$$

Dieselbe Gleichung liefert mit $\zeta = \alpha_1 - \alpha_0$:

$$\frac{1}{D_{33}} = \frac{1}{D}\left(1 + 2\alpha_1 + 2\alpha_1^2 - 2(1 + 2\alpha_1)\,\alpha_0 + 2\alpha_0^2\right)$$
$$+ \frac{a^3}{3EJ}\left(\alpha_1^2 + \alpha_1^3 - (2\alpha_1 + 3\alpha_1^2)\,\alpha_0 + (1 + 3\alpha_1)\,\alpha_0^2 - \alpha_0^3\right).$$

Ähnlich ergibt sich aus (98) mit $\zeta = \alpha_1$ und $\xi = \alpha_0$ oder aus (99) mit dem gleichen Werte von ξ, aber mit $\zeta = \alpha_1 - \alpha_0$:

$$\frac{1}{D_{13}} = \frac{1}{D}\left(1 + 2\alpha_1 + 2\alpha_1^2 - (1 + 2\alpha_1)\,\alpha_0\right)$$
$$+ \frac{a^3}{3EJ}\left(2\alpha_1^2 + 2\alpha_1^3 - (2\alpha_1 + 3\alpha_1^2)\,\alpha_0 + \alpha_0^3\right).$$

Hiernach wird der in der Hauptgleichung (93) enthaltene Ausdruck

$$(100) \qquad \frac{1}{D_{11}} - \frac{2}{D_{13}} + \frac{1}{D_{33}} = \frac{2\alpha_0^2}{D} + \frac{a^3}{3EJ}\left((1 + 3\alpha_1)\,\alpha_0^2 - 2\alpha_0^3\right).$$

Hinsichtlich des Belastungszustandes sollen nur die zwei Annahmen gemacht werden, einmal daß sich die Last G dicht neben dem Stoßquerschnitt, und zweitens daß sie sich gerade über ihm befinde.

Im ersten Falle ist $y_2 = y_4 = 0$, mithin der in (93) enthaltene Ausdruck

$$\frac{y_1 + y_2}{2} - \frac{y_3 + y_4}{2} = \frac{y_1 - y_3}{2}.$$

Zur Berechnung von $y_1 - y_3$ kann offenbar Gleichung (97) dienen, in der $P = G$, sowie $\zeta = \alpha_1$ und $\xi = \alpha_0$ zu setzen ist. Man findet

$$\frac{y_1 - y_3}{2} = \frac{G}{2D}(1 + 2\alpha_1)\alpha_0 + \frac{Ga^3}{12EJ}\left((2\alpha_1 + 3\alpha_1^2)\alpha_0 - \alpha_0^3\right). \tag{101}$$

Wird ferner in Gleichung (93) der mittlere Gesamtspielraum $\frac{1}{2}(\underline{\varepsilon}_1 + \underline{\varepsilon}_2 + \bar{\varepsilon}_3 + \bar{\varepsilon}_4)$ wie früher kurz ε genannt, so erhält sie nach Einführung der durch (100) und (101) bestimmten Werte und Multiplikation des Zählers und Nenners mit $3EJ : \alpha_0^2 a^3$ die Gestalt

$$\boldsymbol{R} = \frac{\left((1 + 2\alpha_1)\gamma + (2 + 3\alpha_1)\alpha_1 - \alpha_0^2\right)\frac{G}{4\alpha_0} - \frac{\varepsilon}{2\alpha_0^2}B}{1 + \gamma + 3\alpha_1 - \alpha_0\left(2 - \frac{J}{i}\right)}, \tag{102}$$

woraus durch Multiplikation mit $a_0 = \alpha_0 a$ für das Biegungsmoment in der Laschenmitte der Wert

$$\boldsymbol{M}_I = \frac{\left((1 + 2\alpha_1)\gamma + (2 + 3\alpha_1)\alpha_1 - \alpha_0^2\right)\frac{Ga}{4} - \frac{\varepsilon}{2\alpha_0}Ba}{1 + \gamma + 3\alpha_1 - \alpha_0\left(2 - \frac{J}{i}\right)} \tag{103}$$

folgt. Die hierin auftretenden Größen B und γ haben dieselbe Bedeutung wie früher; sie sind also durch die Gleichungen

$$\frac{6EJ}{a^3} = B \quad \text{und} \quad \frac{B}{D} = \gamma$$

bestimmt[60]).

Zur Ermittelung der Gültigkeitsgrenzen dieser Formeln ist die Querkraft Q_I zu berechnen. Bei dem angenommenen Belastungszustand ergibt sich die Senkung y_1 des Punktes 1 mit $P = G$ und $\zeta = \alpha_1$ aus der Gleichung (95), während $y_2 = 0$ ist und D_{11} den oben bestimmten Wert hat. Hiermit folgt aus (92):

$$Q_I = \frac{1}{2}G - \frac{\frac{1}{2}(\underline{\varepsilon}_1 - \underline{\varepsilon}_2)B}{(1 + 2\alpha_1 + 2\alpha_1^2)\gamma + 2(\alpha_1^2 + \alpha_1^3)}. \tag{104}$$

Es läßt sich nachweisen, daß der durch die Größe $\underline{\varepsilon}_1 - \underline{\varepsilon}_2$, d. h. durch die Ungleichheit der oberen Spielräume bedingte Teil von Q_I bei den üblichen Anordnungen höchstens etwa 0,5 t beträgt und daher gegen $\frac{1}{2}G$ vernachlässigt werden darf. Demnach ist näherungsweise

$$Q_I = \tfrac{1}{2}G, \tag{105}$$

womit aus (87)

$$R_1 = R + \tfrac{1}{2}G \quad \text{und} \quad R_2 = R - \tfrac{1}{2}G \tag{106}$$

folgt. Die auf die obere Fläche der Lasche zu beiden Seiten der Stoßlücke ausgeübten Drücke unterscheiden sich demnach, wenn die Last G dicht neben der Lücke ruht, gerade um G. Nun gelten die Gleichung (102) und die aus ihr abgeleiteten Formeln wegen der vorausgesetzten Art der Berührung zwischen Lasche und Schienen

[60]) Vgl. § 10, Gl. (57), und § 12.

(Abb. 22) nur so lange, wie sie R_2 nicht negativ ergeben. Nach (106) lautet mithin die Bedingung für die Gültigkeit, insbesondere von (102) und (103):

$$R \geqq \tfrac{1}{2} G. \tag{107}$$

In dem nunmehr zu erörternden Falle, daß die Last G gerade über der Stoßlücke ruht, empfängt jedes Schienenende den Druck $\frac{1}{2} G$. Dann ist natürlich $y_1 = y_2$ und $y_3 = y_4$, also

$$\frac{y_1 + y_2}{2} - \frac{y_3 + y_4}{2} = y_1 - y_3 .$$

Hierfür ergibt sich aus (97) derselbe Wert, wie bei der früheren Annahme für $\frac{1}{2}(y_1 - y_3)$, da jetzt die Last nur halb so groß ist. Man erhält demnach offenbar für R und M_I wieder die Gleichungen (102) und (103). Dagegen wird jetzt Q_I um $\frac{1}{2} G$ kleiner als nach (104), so daß mit derselben Annäherung wie vorher

$$\begin{cases} Q_I = 0 \\ \text{und } R_1 = R_2 = R \end{cases} \tag{108}$$

gesetzt werden kann. Die Gültigkeit der Gleichungen (102) und (103) ist also nur noch an die Bedingung

$$R \geqq 0 \tag{109}$$

gebunden. Für den zweiten Belastungsfall gelten also die obigen Formeln so lange, wie überhaupt eine Laschenwirkung vorhanden ist.

Diese Ergebnisse können nun in mancherlei Weise nutzbar gemacht werden, da in ihnen alle die Größen auftreten, die das Verhalten der Stoßverbindung beim Befahren wesentlich beeinflussen, wie z. B. der Abstand der Stoßschwellen $2a_1$ und die Laschenlänge $2a_0$, die Trägheitsmomente J der Schiene und i der Laschen, die Einheitskräfte B und D, die den Widerstand der Schiene gegen Biegung und des Schienenstützpunktes der Schwelle gegen Senkung messen, endlich der Spielraum ε in der Laschenanlage. Die letztere Größe bietet insofern besonderes Interesse, als geringfügige Änderungen die Laschenwirkung in hohem Grade beeinflussen, weshalb wir sie noch etwas näher betrachten wollen[60a]).

Bei neuen, gut passenden Laschen kann $\varepsilon = 0$ angenommen werden. Hiermit ergeben sich aus (102) und (103) die größten Werte, die der Laschendruck R und das Biegungsmoment M_I in der Laschenmitte überhaupt annehmen können. Je größer die Laschenlänge ist, desto kleiner wird R und desto größer M_I. Z. B. hat sich mit $G = 7{,}5$ t für einige ausgeführte Formen von

	kurzen Laschen		langen Laschen	
bei	$C = 3$	$C = 8$	$C = 3$	$C = 8$
$R =$	7,9	6,0	6,8	5,3 t;
$R_1 =$	11,6	9,8	10,6	9,0 t
und $M_I =$	181	138	191	147 tcm

ergeben. Mit zunehmender Abnützung der Anlageflächen wächst ε; gleichzeitig nehmen R und M_I ab. Die Laschen werden also entlastet, aber auch weniger wirksam als Stoßverbindung. Doch liegen zunächst beide Schienenenden kurz vor dem Übertritte des Rades über die Stoßlücke noch fest auf den Laschen auf, bis ε so groß geworden ist, daß R nur mehr den Wert $\frac{1}{2} G$ hat. Von da an tritt eine ungünstige Änderung im Verhalten der Laschen beim Befahren ein, weshalb wir das betreffende, mit $R = \frac{1}{2} G$ aus (102) zu berechnende ε mit ε_g bezeichnen und

60a) Vgl. d. Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues, § 33.

Grenzwert des unschädlichen Spielraumes nennen. Wächst ε im Laufe der Zeit über diesen Wert hinaus, so liegt das Ende der unbelasteten Schiene kurz vor dem Übertritte des Rades noch nicht fest gegen die obere Laschenfläsche, was in mehrfacher Hinsicht nachteilige Folgen hat. Erstens übt nämlich das Rad auf den vorstehenden Schienenkopf, und dann dieser gegen die Lasche einen Stoß aus, der um so heftiger wirken muß, je größer die Fahrgeschwindigkeit ist. Dieses „Hämmern" ist natürlich nicht nur mit einer starken Abnutzung der sich stoßenden Flächen verknüpft, sondern auch von ungünstigem Einfluß auf den Gang des Fahrzeuges. Die Untersuchung ausgeführter Oberbauarten hat ergeben, daß ε_g mit der Laschenlänge zunimmt und bei wenig fester Bettung ($C = 3$) auf 0,2 bis 0,25 mm, bei guter Bettung ($C = 8$) dagegen nur auf 0,08 bis 0,085 mm zu schätzen ist. — Wächst ε über diese Werte hinaus, so nehmen R und M_I immer weiter ab, um schließlich Null zu werden bei einem mit $R = 0$ aus (102) zu berechnenden Werte von ε, den wir mit ε_0 bezeichnen wollen. Die Laschen haben jetzt ihre Wirkung völlig eingebüßt. Auch ε_0 ist um so größer, je länger die Laschen sind, nämlich etwa 2,4 bis 3,2 mm bei $C = 3$ und 1,3 mm bei $C = 8$.

Im allgemeinen läßt also die Wirkung längerer Laschen, wie auch die Erfahrung lehrt, weniger schnell nach, als diejenige der kürzeren. Ferner macht sich die Beschaffenheit der Bettung in der Weise geltend, daß der die Wirkung der Laschen schmälernde oder ganz aufhebende Einfluß der Spielräume in den Anlageflächen um so mehr hervortritt, je starrer die Lagerung des Gestänges ist.

Mit Rücksicht auf den einzuhaltenden Raum müssen wir hier darauf verzichten, vollständige Zahlenbeispiele zur Laschenberechnung zu bringen. Aus den anderweitig durchgeführten Untersuchungen ergibt sich, daß die üblichen Laschen im allgemeinen sehr stark beansprucht sind. Durch Vergrößerung der Länge wird zwar der Druck in den Anlageflächen vermindert, aber das Biegungsmoment und die Spannung im Stoßquerschnitte erhöht. Dagegen hat die Verkleinerung des Trägheitsmomentes zur Folge, daß auch das Biegungsmoment abnimmt. Von der Querschnittsform der Lasche hängt es ab, ob hierbei die Spannung vermehrt oder vermindert wird. Übrigens kann die durch eine Verkleinerung des Trägheitsmomentes der Laschen zu erreichende Spannungsabnahme nicht ohne weiteres als reiner Gewinn betrachtet werden, da die biegsameren Laschen ihre Hauptaufgabe — die Erhaltung einer möglichst stetigen Bahn — weniger gut erfüllen. Erstens kann nämlich aus den obigen Gleichungen gefolgert werden, daß die Grenze des unschädlichen Spielraumes um so tiefer liegt und daher auch um so leichter überschritten wird, je kleiner das Trägheitsmoment der Laschen ist. Die erhöhte Biegsamkeit begünstigt also das vorher erwähnte Hämmern der Schienenenden beim Befahren der Stöße. Ferner nimmt aber auch der Neigungsunterschied der Schienenenden zu, wenn das Trägheitsmoment der Laschen verkleinert wird. Der so entstehende Winkel ist natürlich von Nachteil für das Befahren des Stoßes. Näheres hierüber enthält die unten angegebene Quelle[61]).

B. Wagerechte Belastung.

§ 15. Verhältnis der Seitenkräfte zur senkrechten Belastung. Angriffspunkt der Mittelkraft. Einfluſs auf die Beanspruchung des Oberbaues. — Im § 2 wurde schon darauf hingewiesen, daß das Gleis die Betriebsmittel nicht nur zu

[61]) Die Berechnung d. Eisenbahn-Oberbaues, § 34. — Weitere Beispiele für die Anwendung der oben entwickelten Formeln finden sich in dem schon früher erwähnten Aufsatze von Blum im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1896, S. 172. — Eine allgemeine Untersuchung über die Wirkungsweise verschiedener Stoßanordnungen, insbesondere der Stoßbrücken, enthält die Abhandlung von Sarre: Zur Stoßverbindung der Breitfußschienen (Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 410 ff.).

tragen, sondern auch zu führen hat. Aus der ersten Aufgabe entspringen unvermeidlich senkrecht wirkende Kräfte, während die zweite nicht notwendig das Vorhandensein von Seitenkräften voraussetzt. Solcher bedarf es nur aus mehr oder weniger nebensächlichen und zufälligen Ursachen, insofern das Durchlaufen von Gleisbögen bei den gebräuchlichen Fahrzeugen, wie im zweiten Kapitel ausführlich dargetan ist, nicht ohne einen gewissen Zwang vor sich geht, und weil sonstige Seitenkräfte durch Unregelmäßigkeiten der Bahn oder durch den Wind hervorgerufen werden können. Unter diesen Umständen ist es schwer, den für die Festigkeitsberechnung in Betracht kommenden Wert der Seitenkraft mit einiger Genauigkeit zu bestimmen; demgemäß gehen auch die von verschiedenen Fachleuten angestellten Schätzungen ziemlich weit auseinander.

Einer der ersten, die sich mit dem Gegenstande beschäftigt haben, ist Wöhler. Er folgerte aus den von ihm bereits im Jahre 1858 ausgeführten Messungen, deren Zweck die Bestimmung der auf die Achsen der Eisenbahnwagen einwirkenden Kräfte war, daß die Seitenkräfte die Größe der senkrechten Belastungen nicht nur erreichen, sondern sogar noch erheblich überschreiten könnten. Göring hat nachgewiesen, daß diese Schätzung infolge der angewendeten Berechnungsweise zu hoch ausgefallen ist, und daß aus den Messungen als Mittelwert der Seitenkraft 0,50, als Höchstwert 0,75 des senkrechten Raddruckes folgt. Nun hat man aber bei den Wöhlerschen Versuchen lange Strecken (36 bis 47 Meilen) durchfahren, ohne Zwischenablesungen an der auf der Achse befestigten, selbstzeichnenden Meßeinrichtung vorzunehmen. Die mitgeteilten Ergebnisse können daher nicht als Maßstab für diejenigen Seitenkräfte dienen, welche auf der freien Strecke zwischen Rad und Schiene wirken; sie zeigen vielmehr nur an, bis zu welchem Betrage die seitlichen Wirkungen an den Stellen einer längeren Eisenbahn steigen können, an welchen sie besonders groß sind. Als solche Punkte kommen ohne Zweifel in erster Linie die Weichen und Herzstücke mit Flügelschienen usw. in Betracht, und zwar entsprechen die auf jenen langen Fahrten beobachteten Größtwerte natürlich nicht einmal der durchschnittlichen Wirkung dieser Gleisteile, sondern der Wirkung der am wenigsten gut gebauten oder unterhaltenen Stellen[62]). Hiernach dürfte das für den Durchschnitt einer größeren Zahl von Fahrten zu 0,50, für eine besonders ungünstig verlaufene Einzelfahrt zu 0,75 berechnete Verhältnis der wagerechten zu den senkrechten Kräften nicht für den Oberbau der freien Strecken, sondern nur für die Bemessung der Weichenteile und Herzstücke, sowie ihrer Befestigungmittel, von Bedeutung sein.

Aber selbst nach dieser Einschränkung des Geltungsbereiches bleiben noch erhebliche Zweifel in bezug auf die Höhe der angeführten Sätze bestehen. Bei der obenerwähnten rechnerischen Verwertung der Versuchsergebnisse ist nämlich als Achsschenkeldruck der ohne weiteres nur für den stillstehenden Wagen gültige Wert von 4 t in Ansatz gebracht. Bei schneller Fahrt kann er sich aber infolge der Schwankungen des Wagens (nach einer Schätzung von Wöhler) um $\frac{3}{8}$, also auf 5,5 t erhöhen. Diesem Drucke entspricht bei 48 cm Radhalbmesser und 24 cm Abstand zwischen Naben- und Achsschenkelmitte eine am Radumfange wirkende Kraft von $5{,}5 \cdot 24 : 48 = 2{,}75$ t, nach deren Abzug von der aus den Biegungsmessungen

[62]) Daß einzelne solche vorhanden gewesen sind, an denen sich für die begleitenden Personen „ungewöhnlich heftige Stöße“ bemerklich gemacht haben, wird bei der Mitteilung der Versuchsergebnisse im Jahrgang 1860 der Zeitschr. f. Bauwesen (S. 603) ausdrücklich hervorgehoben. Die Weichenzungen waren zu jener Zeit wohl alle gerade und ziemlich kurz.

gefolgerten Gesamtkraft von durchschnittlich 4, höchstens 5 t, als Seitenkraft 1,25 und 2,25 t übrigbleiben. Statt der obigen Sätze würde man hiernach für das Verhältnis der Seitenkraft zum gleichzeitig wirkenden senkrechten Drucke die Werte 0,23 und 0,41 erhalten[63]).

In der unten genannten Abhandlung ist der Versuch gemacht, mit Benutzung dieser Zahlen die für die freie Strecke anzunehmenden Werte in der Weise zu ermitteln, daß die Einflüsse des Windes, der Reibung bei seitlichem Gleiten und des gleichzeitigen Stoßens gegen eine Weichenzunge gesondert berechnet und so abgestimmt werden, daß die Gesamtwirkung der beobachteten gleich wird. Dieses Verfahren ergibt für die freie Strecke den Seitendruck durchschnittlich zu 0,14 und höchstens zu 0,24 des senkrechten Raddruckes. Fast dieselben Werte, nämlich 0,15 bis 0,25, legt Engesser seinen Rechnungen zugrunde[64]).

Bisher ist nur von der Größe der Seitenkraft und von ihrem Verhältnis zu dem gleichzeitigen senkrechten Drucke die Rede gewesen; beides zusammen bestimmt die Größe und Richtung der Mittelkraft. Es möge nun auch die Frage nach dem Angriffspunkte der letzteren kurz erörtert werden, da die Lage dieses Punktes für die Wirkung des Rades auf die Schiene von großer Bedeutung ist. Seitenkräfte, die den Reibungswiderstand einer in der Querrichtung gleitenden Achse überschreiten, können natürlich nur durch Anlaufen des Spurkranzes gegen den Rand des Schienenkopfes zustande kommen; d. h. der Angriffspunkt derartiger Seitenkräfte muß auf dem Kreise liegen, der sich an die gerade oder schwach gekrümmte obere Begrenzung des Schienenquerschnittes anschließt. Da ferner die Mittelkraft aus dem wagerechten und senkrechten Drucke, wenn Gleiten in der Querrichtung stattfinden soll, um den Reibungswinkel von der Richtung des Halbmessers des vorerwähnten Kreises abweichen muß, so ist die Lage des gesuchten Angriffspunktes (für den vorausgesetzten Fall) bestimmt. Nimmt man z. B. den Reibungswinkel mit Wöhler zu 0,2 an, so ergeben sich für den Mitteldruck des Rades gegen die Schiene die in Abb. 25 für vier verschiedene Werte des Verhältnisses des wagerechten zum senkrechten Drucke dargestellten und entsprechend bezeichneten Lagen[65]). Man erkennt daraus, daß bei 0,20 Seitendruck die Auflagerfläche der Schiene nahezu gleichmäßig belastet und letztere nach innen verdreht wird. Bei 0,30 Seitendruck hat sich dies noch nicht viel geändert; bei 0,40 geht

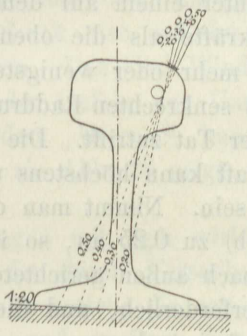


Abb. 25.

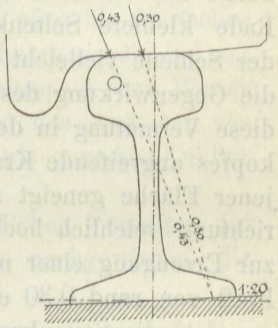


Abb. 26.

[63]) Die Gründe, die für die obige Annahme sprechen, daß die beobachteten großen Durchbiegungen der Achsen durch das gleichzeitige Auftreten großer Seitenkräfte und großer Achsschenkeldrücke hervorgerufen worden seien, sind vom Verfasser in dem schon erwähnten Aufsatze über die Seitenkräfte zwischen Schiene und Rad (Zeitschrift des Ver. deutscher Ingenieure, 1890, S. 1387) näher erörtert.

[64]) An dem in Fußnote 47 auf Seite 46 genannten Orte.

[65]) Als Querschnittsform ist absichtlich die einer Langschwellenschiene gewählt, die wegen ihrer geringen Fußbreite weniger widerstandsfähig gegen seitliche Kräfte ist, als die Querschwellenschienen. Die Fußbreite beträgt für die erstere 0,67, für die leichte und die schwere Querschwellenschiene der preußischen Bahnen dagegen 0,78 und 0,80 der Schienenhöhe.

die Mittelkraft annähernd durch den Schwerpunkt des Schienenquerschnittes, während sie die Auflagerfläche nur wenig außerhalb des mittleren Drittels der Fußbreite schneidet. Erst bei 0,50 Seitendruck stellt sich ein die Schiene nach außen verdrehendes und den Steg in diesem Sinne biegendes Moment von nennenswerter Größe ein; die Auflagerfläche wird immer noch in etwa 12 mm Abstand vom äußeren Rande des Schienenfußes getroffen. Ein eigentliches Kippen der Schiene kann also — von der Wirkung der Befestigungsmittel abgesehen — selbst bei einem so großen Seitendrucke noch nicht eintreten, wohl aber allerdings, insbesondere bei unmittelbarer Auflagerung der Schiene auf Holz, ein starkes Eindrücken des äußeren Schienenrandes in die Unterlage und ein gleichzeitiges Heben des inneren Randes.

Die aus vorstehender Betrachtung ersichtliche Kleinheit der Kippwirkung verhältnismäßig großer Seitenkräfte ist hauptsächlich eine Folge davon, daß durch das Anlaufen des Spurkranzes der Angriffspunkt des senkrechten Raddruckes nach der Innenkante des Schienenkopfes verlegt wird, so daß ein bedeutendes, dem Moment der Seitenkraft entgegenwirkendes Moment entsteht. Dieser Umstand regt zu der Frage an, ob nicht unter einem auf dem mittleren Teile der Lauffläche rollenden Rade kleinere Seitenkräfte als die oben berechneten die seitliche Standfestigkeit der Schiene vielleicht mehr oder wenigstens ebensosehr beanspruchen können, weil die Gegenwirkung des senkrechten Raddruckes geringer ist. Die Abb. 26 lehrt, daß diese Vermutung in der Tat zutrifft. Die in der Mitte der Lauffläche des Schienenkopfes angreifende Kraft kann höchstens um den Reibungswinkel gegen die Normale jener Fläche geneigt sein. Nimmt man die Reibungsziffer für Gleiten in der Querrichtung (reichlich hoch) zu 0,25 an, so ist mit Rücksicht auf die Schienenneigung zur Erzeugung einer nach außen gerichteten Gleitbewegung eine wagerechte Seitenkraft von rund 0,30 erforderlich, und dieser Satz gibt zugleich den größten Wert an, den die Seitenkraft bei der angenommenen Stellung des Rades überhaupt erreichen kann[66]). Die Richtungslinie der Mittelkraft aus dem senkrechten und dem wagerechten Druck schneidet die Auflagerfläche annähernd in demselben Abstand vom äußeren Schienenrande, wie in dem früher untersuchten Falle bei 0,50 Seitendruck; der Hebelarm des auf Verdrehung und seitliche Ausbiegung des Steges wirkenden Momentes ist aber hier wesentlich größer, als in letzterem Falle. Noch ungünstiger würde sich die Sache gestalten, wenn der Berührungspunkt zwischen Rad und Schiene — etwa infolge ungleichmäßiger Abnutzung der Laufflächen — mehr nach außen läge; günstiger dagegen, wenn die Berührung mehr nach der Gleismitte zu stattfände. Jedenfalls wirkt sowohl das beginnende Kippen der Schiene, als auch die seitliche Verbiegung des Steges in dem Sinne, daß der Angriffspunkt des Raddruckes mehr nach der Innenseite verlegt, und daß somit das angreifende Moment vermindert wird. Ist der Berührungspunkt des Rades in dieser Weise oder durch fortgesetztes Gleiten bis zur seitlichen Abrundung des Schienenkopfes vorgerückt, so muß, wie Abb. 26 zeigt, die Seitenkraft schon bis auf 0,43 des senkrechten Raddruckes anwachsen, wenn die Mittelkraft aus beiden die Auflagerfläche in demselben Punkte schneiden soll.

---

66) Wenn das Rad zugleich in der Längsrichtung gleitet, wie es beim Durchfahren gekrümmter Bahnstrecken meist geschieht, so vermindert sich der Reibungswiderstand in der Querrichtung. Der oben angenommene Fall würde etwa eintreten, wenn ein in gerader Linie fahrender Wagen durch einen heftigen Windstoß plötzlich zur Seite geschoben wird.

Es fragt sich nun, ob Seitenkräfte von solcher Größe, daß sie das Gleiten eines Rades in der Querrichtung bewirken, überhaupt vorkommen können. Am gegenüberliegenden Rade kann hierbei nur der Reibungswiderstand im gleichen Sinne und mit Rücksicht auf die Schienenneigung in einer Größe von etwa 0,20 des Raddruckes wirken. Nimmt man letzteren durchschnittlich zu 4 t an, so ergibt sich die gesamte zur Verschiebung der Achse erforderliche Kraft bei mittlerer Stellung zu $(0{,}20 + 0{,}30) \cdot 4 = 2$ t und bei beginnender Berührung der Hohlkehle des einen Rades zu $(0{,}20 + 0{,}43) \cdot 4 = 2{,}5$ t. Als verschiebende Kraft kann hier, da ein Anlaufen der Spurkränze der Voraussetzung gemäß nicht stattfindet, nur entweder ein von den übrigen Rädern des Wagens ausgehender und mittels des Rahmens auf die betrachtete Achse übertragener Zwang (vgl. II. Kap. I. Bds.), oder der Winddruck wirken. Der erstere tritt vorwiegend in gekrümmten Strecken auf und kommt hier mit Rücksicht auf die in solchen anzuwendende Überhöhung des äußeren Schienenstranges, die dadurch geänderte Schienenquerneigung und das Gleiten der Räder in der Längsrichtung nicht in Betracht[67]). Der Winddruck wirkt nach Wöhler bei 63,5 kg/qm Flächendruck auf jede Achse mit 0,5 t; um Seitendrücke wie die vorstehenden zu erzeugen, müßte der Winddruck also auf den vier- bis fünffachen Wert, d. h. auf 254 bis 317 kg/qm anwachsen. Das sind Windstärken, die bei uns nicht vorkommen und die überdies wegen der Gefahr des Umkippens der Wagen die Einstellung des Betriebes bedingen würden. Hiernach kann das Auftreten von Seitenkräften der Größe und Richtung, wie sie Abb. 26 zeigt, als unwahrscheinlich bezeichnet werden.

Daß die Ergebnisse dieser Betrachtungen mit dem wirklichen Verhalten des Oberbaues in guter Übereinstimmung sind, ist durch Versuche nachgewiesen, die Bräuning in der Weise angestellt hat, daß er erstens die seitlichen Bewegungen der Schienenköpfe maß, und zweitens den Punkt der Schienenstützfläche aufsuchte, durch den die aus den senkrechten und wagerechten Angriffskräften zusammengesetzte Mittelkraft führt[68]). Zu letzterem Zwecke wurde auf einer Schwelle unter die eine Seite des Schienenfußes ein 1,3 mm starker Stahlblechstreifen und unter die freischwebende Kante des Fußes ein ebenso starker, schmaler Bleistreifen gelegt, wie die (der unten genannten Quelle entlehnte) Abb. 27 zeigt. Durch seitliches Verschieben des Stahlblechstreifens wurde sodann die Stellung ermittelt, bei der ein Überkippen der Schiene auf dem unterstützenden Blechstreifen eintrat, was durch merkliches Breitdrücken des Bleistreifens zur Erscheinung kam. Um dabei die freie seitliche Bewegung der Schiene zu ermöglichen, wurde diese auch auf den Nachbarschwellen, und zum Teil noch auf den zweitnächsten Schwellen mit Stahlblechstreifen (aber nicht mit Bleistreifen) unterlegt und die Verschraubung an den drei oder fünf Punkten so weit gelöst, daß die Schiene unbehindert kippen konnte. Die Versuche wurden in einer Krümmung von 750 m bei 70 mm Überhöhung und 1436 mm Spurweite ausgeführt, und zwar auf einer eisernen Querschwelle, mit der die Schiene (Form 6 der preußischen Staatsbahnen, 5 Wochen im Gleise) durch Klemm-

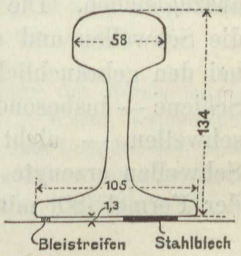


Abb. 27.

67) S. Fußnote 66.

68) Die Bewegungen der Eisenbahnschienen und deren Verbindung mit den Holzschwellen. Zeitschr. f. Bauwesen, 1892, S. 247.

platten mit Schraubenbolzen, ohne Unterlagsplatten, verbunden war. In dieser sinnreichen Weise sind im ganzen 53 Zugüberfahrten bei 30 bis 75 km Geschwindigkeit beobachtet worden. Wegen der Einzelheiten müssen wir auf die angegebene Quelle verweisen; als wichtigste Ergebnisse mögen hier nur die in den Abb. 28 und 29 dargestellten Grenzlagen angeführt werden, zwischen denen nach den Beobachtungen die Druckrichtungen D der Angriffskräfte innerhalb des Schienenquerschnittes schwanken. Der größte beobachtete Seitendruck auf die äußere Schiene nach außen beträgt danach etwa $^1/_8$ des senkrecht auf die Schiene wirkenden Druckes, bei der inneren Schiene etwas mehr als $^1/_6$.

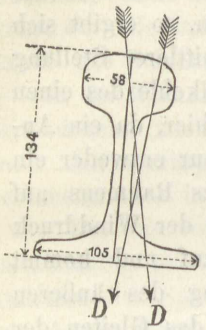


Abb. 28.
Außenschiene.
Krümmung 750 m, Überhöhung 70 mm, Geschwindigkeit 30 bis 75 km.



Abb. 29.
Innenschiene.

Die vorstehenden Betrachtungen lassen sich nun dahin zusammenfassen, daß man für den Oberbau der freien Strecke die regelmäßig auftretende wagerechte Belastung (im Gegensatze zu den früher üblichen hohen Schätzungen) zu höchstens $^1/_5$ der senkrechten annehmen darf; und zwar gilt das nicht nur für gerade, sondern auch für gekrümmte Gleise mit angemessener Überhöhung des äußeren Schienenstranges, wenn man nur, statt „senkrecht“ und „wagerecht“, „rechtwinklig und gleichgerichtet zu einer durch die Schienen gelegten Ebene“ sagt. Denn es ist der Zweck der Überhöhung, die in den Krümmungen auftretende Zunahme der Seitenkräfte durch eine entsprechende Neigungsänderung der stützenden Ebene (wenigstens annähernd) auszugleichen. Die Wirkungen, die die so bemessene Seitenkraft auf die Bettung, die Schwellen und die Befestigungsmittel ausübt, geben zu Festigkeitsberechnungen bei den gebräuchlichen Oberbauarten kaum Anlaß. Dagegen ist die Wirkung auf die Schiene — insbesondere bei deren geringerer Breite und bei großem Abstande der Querschwellen — nicht ganz zu vernachlässigen. Das in der Mitte zwischen zwei Schwellen erzeugte Moment der seitlichen Durchbiegung wird am einfachsten nach der Formel (80) mit $\gamma = 0$ bestimmt. Man findet

$$M = \frac{7}{10}\,\frac{0{,}2\,Ga}{4} \sim 0{,}04\,Ga\,,$$

womit die aus der Seitenbelastung entspringende zusätzliche Spannung im Schienenquerschnitt leicht zu berechnen ist[69]).

[69]) Beispiele zur Berechnung der sonstigen Einflüsse der Seitenkräfte enthält u. a. die schon in Fußnote 47 erwähnte Abhandlung von Engesser und, soweit es sich um Langschwellenoberbau handelt, der in Fußnote 22 auf Seite 17 genannte Aufsatz von Schwedler.

Übersicht

der wichtigsten in vorstehendem Kapitel regelmäßig angewendeten Bezeichnungen und der Stellen, wo sie zuerst vorkommen.

(Nur zum Zwecke der Ableitung oder sonst vorübergehend gebrauchte Bezeichnungen sind immer an der betreffenden Stelle erklärt und hier nicht mit aufgeführt.)

A: Auflagerdruck. $A_1, A_2, A_3, \ldots$: Auflagerdrücke an den Stützpunkten 1, 2, 3, ... eines durchgehenden Trägers (§ 9, S. 30).

$\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2, \mathfrak{A}_3, \ldots$: Auflagerdrücke an den Stützpunkten 1, 2, 3, ... für den an diesen Punkten durchschnitten gedachten Träger (§ 9, S. 31).

$B = \frac{6EJ}{a^3}$: Biegende Kraft, die in der Mitte eines Trägers auf zwei Stützen den Biegungspfeil 1 erzeugt (§ 10, S. 37, erläutert § 12, S. 49).

C: Bettungsziffer (§ 2c, S. 7).

D: Druck auf eine Stütze, welcher die Stützensenkung 1 erzeugt (§ 8, S. 28, erläutert § 12, S. 50). $D_1, D_2, D_3, \ldots$: entsprechende Werte für die Stützpunkte 1, 2, 3, ... (§ 9, S. 33).

D_{11}, D_{13}, D_{33}: Druck auf den Punkt 1, der im Punkt 1 der unverlaschten Schiene die Senkung 1 erzeugt, usw. (§ 13, S. 54).

E: Elastizitätsmaß.

G: Gewicht einer ruhenden oder Druck einer bewegten Last beim Querschwellenoberbau (§ 9, S. 32).

J: Trägheitsmoment eines Querschnittes.

$L = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{Cb}}$: Halbe Länge des unbiegsam gedachten Stabes, dessen Bettungsdruck und größtes Biegungsmoment bei gleicher Belastung und Lagerung ebenso groß ist, wie die bezüglichen Werte für den endlosen wirklichen (biegsamen) Stab (§ 3, S. 11, erläutert § 4, S. 15).

M: Biegungsmoment. $M_1, M_2, M_3, \ldots$: Momente an den Stützpunkten 1, 2, 3, ... eines durchgehenden Trägers (§ 9, S. 30). M_I: Biegungsmoment in Laschenmitte (§ 13, S. 53).

$\mathfrak{M}$: Biegungsmoment für einen frei auf zwei Stützen ruhenden Träger.

N', N'': Ausdrücke, deren Werte von den Feldlängen und der Belastung des durchgehenden Trägers abhängen (§ 6, S. 32, Gl. (43)). $N_{12}', N_{12}'', N_{23}', N_{23}'', \ldots$: Werte, welche diese Größen annehmen, wenn sich eine Einzellast im Felde 1—2, 2—3 usw. befindet (§ 9, S. 32).

P: Gewicht einer ruhenden oder Druck einer bewegten Last; insbesondere auf eine Unterlage (§ 3, S. 11); beim Langschwellenoberbau (§ 4, S. 13). Druck der Schiene auf die Schwelle beim Querschwellenoberbau (§ 8, S. 27; § 12, S. 47).

Q: Querkraft. Q_I: Querkraft in Laschenmitte (§ 13, S. 53).

R: Laschendruck; insbesondere zwischen den Anlageflächen der Schienen und Laschen an den Enden der letzteren (§ 13, S. 53); R_1 und R_2: Drücke an den Anlageflächen der Schienenenden (§ 13, S. 52).

$Z_1, Z_2, Z_3, \ldots$: Vom Belastungszustand abhängige Ausdrücke für den durchgehenden, elastisch gestützten Träger (§ 10, S. 37). $Z_I, Z_{II}, Z_{III}, Z_{IV}$: Werte, die die Z annehmen können, wenn nur eine Last auf dem ganzen Träger ruht (§ 10, S. 38).

a: Abstand zweier Punkte; $2a$: Abstand der unterstützten Strecken einer nur teilweise aufruhenden Querschwelle (§ 8, S. 29); $2a_0$: Abstand der äußeren Anlagepunkte der Laschen (§ 13, S. 53); $2a_1$: Abstand der Stoßschwellen (§ 14, S. 58); $a_{12}, a_{23}, a_{34}, \ldots$: Abstände der Stützpunkte 1 und 2, 2 und 3, 3 und 4, ... eines durchgehenden Trägers (§ 9, S. 30).

$\mathfrak{a}_1, \mathfrak{a}_2, \mathfrak{a}_3 \ldots$: S. § 9, S. 33, Gl. (46).

b: Breite eines Stabes mit durchgehender elastischer Unterstützung (§ 3, S. 10); insbesondere einer Langschwelle (§ 4, S. 13) oder Querschwelle (§ 8, S. 27).

$e = 2{,}71828 \ldots$: Grundzahl der natürlichen Logarithmen.

i: Trägheitsmoment der Laschen (§ 14, S. 54).

l: Länge eines Stabes (§ 6, S. 22); $2l$: Länge eines symmetrisch belasteten Stabes (§ 3, S. 11 u. § 7, S. 25), insbesondere der Querschwelle (§ 8, S. 27).

$m_{11}, m_{22}, m_{33}, \ldots$: S. § 9, S. 34, Gl. (47).
$m_{12}, m_{23}, m_{34}, \ldots$: S. § 9, S. 34, Gl. (48).
$m_{13}, m_{24}, m_{35}, \ldots$: S. § 9, S. 34, Gl. (49).
m, n, o: Festwerte (§ 7, S. 25, Gl. (26)).
p: Druck auf die Flächeneinheit der Bettung (§ 3, S. 7).
r: Abstand einer Last von der Symmetrieachse einer Lastgruppe (§ 7. S. 25); $2r$: Abstand der beiden Lastpunkte einer Querschwelle (§ 8, S. 27).
u, v, w: Festwerte (§ 3, S. 12, Gl. (8); § 7, S. 26, Gl. (30)).
u_ϱ, v_ϱ: Desgl. (§ 8, S. 27, Gl. (31)).
x, y: Grundabstand (Abszisse) und Höhenabstand (Ordinate) oder Senkung eines Punktes der elastischen Linie eines Stabes.
z: Abstand einer Last von einem gegebenen Punkte.
α, β, γ: Festwerte (§ 10, S. 37, Gl. (57), (58) u. 59)); $\gamma = B:D$ ist näher erläutert im § 12, S. 49; $\alpha = a:L$ (§ 8, S. 29); $\alpha_0 = a_0:a$; $\alpha_1 = a_1:a$ (§ 14, S. 58).
δ: Durchbiegung eines elastischen Stabes, insbesondere der Laschenmitte (§ 14, S. 54).
ε: Durchschnittlicher Gesamtspielraum in den Anlageflächen einer Laschenverbindung (§ 13, S. 55; Einzelspielräume S. 52).
$\zeta = \frac{z}{L}$ (§ 5, S. 18) oder $\frac{z}{a}$ (§ 10, S. 38; § 14, S. 57).
$\eta_\xi = e^{-\xi}(\cos\xi + \sin\xi)$; $\eta_\xi' = -e^{-\xi}\sin\xi$; $\mu_\xi = e^{-\xi}(\cos\xi - \sin\xi)$; $\mu_\xi' = -e^{-\xi}\cos\xi$; (§ 3, S. 12, Gl. (9)). Ähnlich für andere unabhängig Veränderliche.
(η_0); Wert des Klammerausdruckes auf der rechten Seite der ersten Gleichung der Gruppe (10) für $\xi = 0$ (§ 8, S. 29).
$[\eta], [\eta'], [\mu], [\mu']$: Allgemeine Bezeichnung für die zur Berechnung der Querschwelle dienenden Klammerausdrücke auf der rechten Seite der Gleichungen (34) (§ 8, S. 28).
$[\eta_\varrho], [\eta_\varrho'], [\mu_\varrho], [\mu_\varrho']$: Besondere Werte der vorstehenden Größen für $\xi = \varrho$ (§ 8, S. 28, Lastpunkt der Querschwelle).
$[\eta_0] = \eta_\varrho + u_\varrho$; $[\mu_0] = \mu_\varrho - v_\varrho$: Besondere Werte von $[\eta]$ und $[\mu]$ für $\xi = 0$ (§ 8, S. 27, Mitte der Querschwelle).
$\lambda = \frac{l}{L}$ (§ 3, S. 11).
ν: Neigungswinkel der elastischen Linie eines Stabes (§ 3, S. 12); $\operatorname{tang}\nu = \frac{dy}{dx}$.
$\xi = \frac{x}{L}$ (§ 3, S. 11) oder $\frac{x}{a}$ (§ 14, S. 58).
$\pi = 3{,}14159\ldots.$
$\varrho = \frac{r}{L}$ (§ 7, S. 25).

Literatur.

Es sind nur selbständige und im Sonderdruck erschienene Werke aufgeführt. Hinweise auf Abhandlungen in Zeitschriften finden sich im Text.

Weishaupt. Untersuchungen über die Tragfähigkeit verschiedener Eisenbahnschienen. Berlin 1852.
Winkler. Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. Prag 1867.
Weber. Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise. Weimar 1869.
Winkler. Vorträge über Eisenbahnbau. Erstes Heft: Der Eisenbahn-Oberbau. Dritte Auflage. Prag 1875.
Hoffmann. Der Langschwellen-Oberbau der Rheinischen Eisenbahn. Berlin 1880.
Lehwald und Riese. Der eiserne Oberbau. Berlin 1881.
Schwartzkopf. Der eiserne Oberbau. Berlin 1882.
Winkler. Theorie der Brücken, erstes Heft. Dritte Auflage. Wien 1886.
Loewe. Der Schienenweg der Eisenbahnen. Wien, Pest, Leipzig 1837.
Zimmermann. Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues. Berlin 1888.
Müller-Breslau. Die graphische Statik der Baukonstruktionen. Band II. Abteilung 2. Erste Lieferung. Leipzig 1896.
Ast. Die Schwelle und ihr Lager. Verstärkung der Gleise in Rücksicht auf die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit. Wiesbaden 1898.
Wasiutynski. Beobachtungen über die elastischen Formänderungen des Eisenbahngleises. Wiesbaden 1899.

II. Kapitel.

Konstruktion des Oberbaues.

Bearbeitet vom Geheimen Oberbaurat **Blum.**

I. Geschichtliche Einleitung.

§ 1. Vorgeschichtliches[1]**. Einführung des Spurrandes.** — Die Anlage von Spurbahnen behufs Erleichterung der Fortbewegung schwerer Lasten reicht bis in das Altertum zurück; sie hatten aber erst um die Mitte des 16. Jahrhunderts in den deutschen Bergwerken eine Gestaltung gewonnen, die sie als Vorläufer unserer heutigen Eisenbahnen erscheinen läßt und deren konstruktive Weiterentwicklung zu unseren heutigen Gleisformen führte.

Es waren dies einfache Bohlenbahnen, die in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts mit deutschen Bergleuten auch in die englischen Bergwerke verpflanzt, und dort auch über Tage um 1620 für das Straßenfuhrwerk in den Kohlenbezirken angelegt wurden.

Die Fahrbahn lag in Straßengleiche ohne Führung für die Räder, so daß Entgleisungen verhältnismäßig leicht eintreten konnten; da die Lasten mit der Vervollkommnung der Bohlenbahnen zugenommen hatten, während die Wege außerhalb dieser Bahnen für große Lasten ungeeignet waren, wurde die Anbringung einer Führung für die Räder immer dringlicher und erfolgte durch Anordnung eines Spurrandes an der Außenseite der Bohlenbahn (Abb. 1), die inzwischen auch durch Aufnageln von Bandeisen gegen Verschleiß geschützt worden waren.

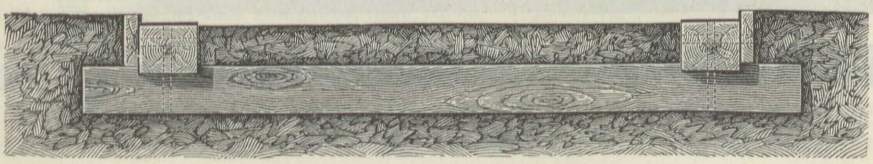


Abb. 1. Holzbahn mit Spurrand. 1 : 20.

§ 2. Einführung gußeiserner Schienen und des Spurkranzes. Auch die durch Bandeisen verstärkten Bohlenbahnen besaßen nur eine geringe Dauer; man machte daher von 1738 an Versuche mit gußeisernen Bohlenbelägen und 1767 gelang es Reynolds, einen mit beiderseitigen Rändern versehenen haltbaren Belag aus

[1] Haarmann, Das Eisenbahngleis S. 10 u. ff. Leipzig 1891. Die geschichtliche Einleitung folgt überhaupt im wesentlichen der Haarmannschen Darstellung.

Gußeisen herzustellen (Abb. 2), der die für die damalige Zeit ansehnlichen Abmessungen von 1,524 m Länge, 144 mm Breite und 32 mm Dicke besaß. Neun Jahre später ersetzte Curr diese Flachschienen durch Winkelschienen, deren hoch-

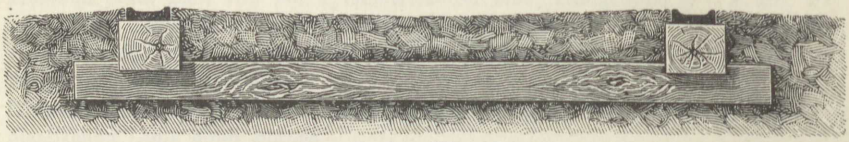


Abb. 2. Holzbahn nach Reynolds. 1 : 20.

stehender Schenkel als äußerer Spurrand diente (Abb. 3), und als die unter diesen Schienen abgängig werdenden fortlaufenden Holzunterlagen bei Ausbesserungen durch einzelne Unterlagen ersetzt wurden, zeigte sich durch die Erfahrung, daß solche Schienen auf gewisse Entfernung freitragend gelagert werden konnten.

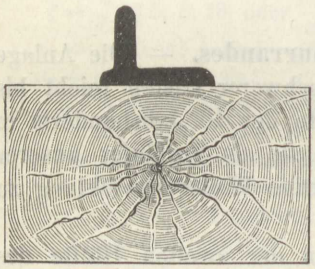


Abb. 3. Winkelschiene von Curr. 1 : 5.

Die Currschen Winkelschienen erhielten bis zu Anfang des 19. Jahrhunderts in verschiedener Gestalt eine weite Verbreitung, wobei sie entweder durch fortlaufende Holzbalken: Langschwellen, oder durch Querhölzer in gewissen Entfernungen: Querschwellen, oder durch einzelne Steinwürfel oder Balkenstücke: Einzelunterlagen unterstützt wurden; in beiden letzteren Fällen etwa in 3′ engl. (914 mm) Abstand, während die Schienen Längen von 3′ oder 6′ hatten.

Diese Gleise konnten aber immer noch von jedem Straßenfuhrwerk befahren werden, das die betreffende Radspur besaß. Da übertrug Jessop, 1789, die in Bergwerken schon früher ausgebildete Schiene mit Steg und Kopf auch auf die Bahnen über Tage und schuf damit eine Bahn, die nur von Wagen mit Spurkranzrädern befahren werden konnte, d. h. die Eisenbahn als selbständiges Verkehrsmittel (Abb. 4).

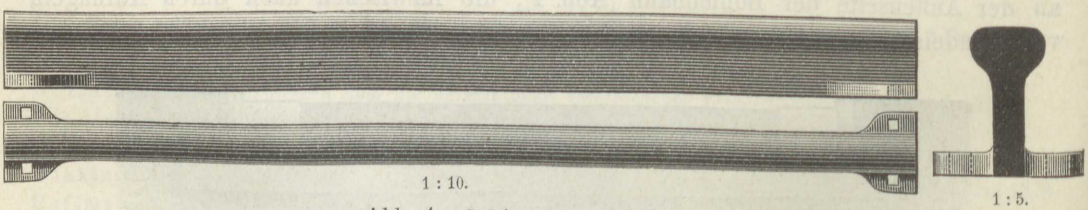


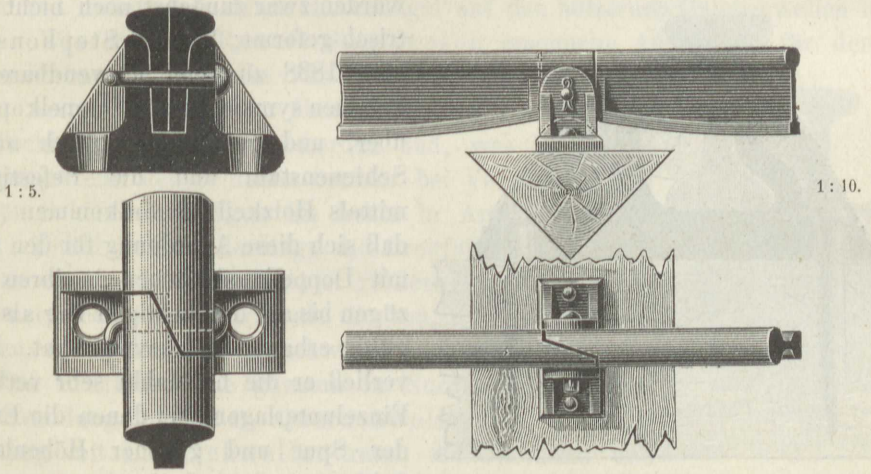
Abb. 4. Gußeisenschiene von Jessop.

Die 0,914 bis 1,219 m langen Pilzformschienen waren nur an den Stößen durch Querschwellen oder Einzelunterlagen unterstützt und auf diesen mit Nägeln, die durch die gelochten Fußansätze geschlagen wurden, befestigt.

§ 3. Entwicklung der Schienenformen, der Schienenunterlagen und der Befestigungsmittel. — Die Jessopsche Schiene enthält schon alle wesentlichen Teile, die auch unsere heutigen Schienenformen aufweisen. Die Entwicklung von jener zu diesen ist auch eine ziemlich stetige gewesen, wobei sich zugleich die Schienenformen, die Schienenunterlagen und die Befestigungsmittel gegenseitig wesentlich beeinflußten.

a. Entwicklung des Stuhlschienenoberbaues. — Um die Jessopsche Schiene tragfähiger zu machen vergrößerte man deren Höhe zwischen den Stützpunkten, wodurch die Fischbauchschiene entstand. Da aber diese Fußansätze leicht abbrachen, und die Schiene dann unbrauchbar oder wenigstens deren Befestigung auf den Unterlagen sehr schwierig wurde, ordnete man einen Schienenstuhl als Befestigungsmittel der Schienen unter sich und auf den Unterlagen, unter Fortfall der Fußansätze an (Abb. 5). Als Schienenunterlagen wurden Einzelunterstützungen aus Holz und Stein verwandt. Auch kam, um die Fahrt möglichst stoßfrei zu gestalten, eine Überblattung der Schienenenden zur Anwendung. Damit war die vollkommenste Durchbildung, welche die Gleise mit gußeisernen Schienen erlangt haben, erreicht, und bald wurde die gußeiserne Schiene durch die aus Schmiedeeisen gewalzte verdrängt.

Nixon hatte schon 1803 den Versuch gemacht, vierkantige Stäbe als Schienen zu benutzen und lagerte sie auf Steinunterlagen in Stühlen. Aber ihrer zu geringen



Stockton-Darlington (1825). Abb. 5. St.-Etienne-Andrezieux (1828).

Tragfähigkeit wegen bogen sich solche Schienen stark durch und kamen in Verruf Berkinshaw dagegen gelang es 1820 eine Pilzschiene zu walzen, die mit ihrer Länge von etwa 15′ (4,572 m) alle Erwartungen übertraf, insbesondere die bisher gebräuchlichen gußeisernen Schienen mit ihren viel zahlreicheren Stoßstellen in dieser Hinsicht weit überflügelte.

Trotzdem traten der Einführung der gewalzten Schienen große Schwierigkeiten entgegen, die besonders darin lagen, daß man die Fischbauchform auch bei gewalzten Schienen für nötig hielt und sich vergeblich bemühte, diese gleich beim Walzen zu erzeugen. Als das nicht gelang, stellte man diese Form durch umständliche, kostspielige Nacharbeit her und nur allmählich verließ man bei gewalzten Schienen die Fischbauchform und ging zu Schienen gleicher Höhe über. Aber obgleich derartige Schienen schon 1824 bei Durham und Wigan zur Verwendung gekommen sein sollen, wurden 1825 bei Stockton-Darlington noch zur Hälfte gußeiserne Schienen und zur anderen Hälfte gewalzte Fischbauchschienen verwendet. Die Schienenenden der gewalzten Schienen waren am Stoß nicht überblattet, sondern stumpf abgeschnitten, weil man in Anbetracht der so erheblich verringerten Zahl von Stoßstellen die Überblattung für entbehrlich hielt. Bei der Liverpool-Manchester Bahn (1826—1830)

wurden gleichfalls gewalzte Fischbauchschienen verwendet, wobei zum ersten Male die Befestigung der Schienen in den Stühlen mit durchgesteckten Bolzen verlassen und durch einen zwischen Schienensteg und Stuhl eingetriebenen Eisenkeil ersetzt wurde.

Diese Keilbefestigung ließ es zweckmäßig erscheinen den Schienensteg mit Ansätzen oder Nuten zu versehen, oder solche auch in den Schienenstühlen anzubringen, um dem Keil und der Schiene im Stuhl eine feste Lage zu geben.

Daraus entstanden in den dreißiger Jahren in England Schienenformen, bei welchen dieser untere Ansatz am Stege vollständig als unterer Kopf ausgebildet war, womit nicht nur der Zweck des Festhaltens der Schiene im Stuhle, sondern auch der Erhöhung der Tragfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen wagerechte Beanspruchungen verfolgt wurde. Zugleich ersetzte man — zuerst 1833 bei der Bahn Liverpool-Manchester — die Eisenkeile, die beim Eintreiben nicht selten zu einem Bruche der Stühle führten, durch Keile aus Holz. Diese Doppelkopfschienen wurden zwar zunächst noch nicht symmetrisch geformt; Robert Stephenson aber ging 1838 zu einer umwendbaren, vollkommen symmetrischen Doppelkopfschiene über, und gestaltete zugleich auch den Schienenstuhl und die Befestigungsart mittels Holzkeil so vollkommen (Abb. 6), daß sich diese Anordnung für den Oberbau mit Doppelkopfschienen in ihren Grundzügen bis auf den heutigen Tag als mustergültig erhalten und bewährt hat. Zugleich verließ er die bis dahin sehr verbreiteten Einzelunterlagen, bei denen die Erhaltung der Spur und gleicher Höhenlage der Schienen sehr schwierig war, und ging grundsätzlich zu Querschwellen über, die unter beiden Schienen durchreichten. Die von Stephenson eingeführte Schiene war 127 mm hoch und 37,2 kg/m schwer.

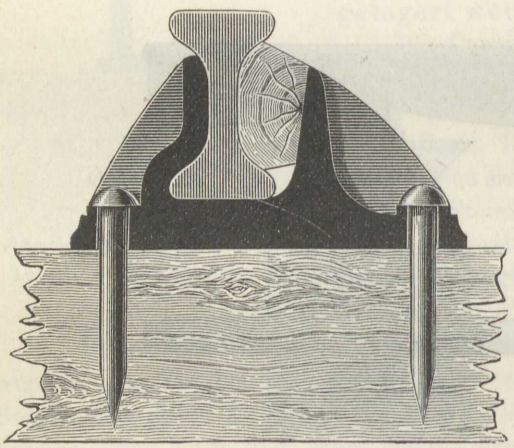


Abb. 6. London-Birmingham (1838). 1 : 5.

Nur einer von den Grundgedanken Stephensons, die Umwendbarkeit der Schienen, hat sich in der Praxis nicht bewährt; denn die zwischen Schienen und Stühlen unvermeidlichen Einschleifungen erwiesen sich so stark, daß umgewendete Schienen eine unstetige und daher unbrauchbare Fahrbahn ergaben. Infolgedessen schritt man wieder zu unsymmetrischen Schienen mit einem stärkeren Fahr- und schwächeren Unterkopf, sogenannten Bullenkopfschienen. Da alle Doppelkopfschienen zur Lagerung und Befestigung auf den Schienenunterlagen der Stühle bedürfen, d. h. eines Zwischenmittels, das ursprünglich aus der Unzulänglichkeit des Gußeisens als Schienenmaterial hervorging (S. 71), so nennt man solche Schienen auch Stuhlschienen.

Dagegen sind wiederholte Versuche, das Holz der Keile durch einen weniger vergänglichen und doch elastischen Stoff zu ersetzen, bis jetzt fehlgeschlagen. Ebenso hat sich die versuchsweise Anbringung der (anfänglich stets außen eingefügten) Holzkeile auf der Schieneninnenseite nicht bewährt. Der Stuhlschienenoberbau ist der fast allein herrschende in England, hat aber im Beginne des Eisenbahnbaues auch

auf dem Festlande und in Nordamerika weite Verbreitung gefunden, bis er hier, abgesehen vom westlichen Frankreich, von anderen Oberbauarten verdrängt wurde.

b. Entwicklung des Oberbaues mit Breitfußschienen. — Die Jessopsche Schiene und die daraus entwickelten Fischbauchschienen wurden unmittelbar mit flachen Füßen auf die Schienenunterlagen aufgelagert. Der Wegfall dieser Füße und die Lagerung in Stühlen entsprang lediglich der Unzulänglichkeit des zu den Schienen verwendeten Gußeisens (S. 71). Der Gedanke, bei der Einführung eines besseren Materials zu der ursprünglichen Form, Lagerung und Befestigung zurückzukehren, lag daher sehr nahe. Der Nordamerikaner Stevens ging 1830 in diesem Sinne vor und überwand die ursprünglich großen Schwierigkeiten, die sich seinem Vorhaben entgegenstellten, durch Beharrlichkeit und Ausdauer. So gelang es, nach anfangs mißglückten Versuchen, in einem Walzwerke Südwales für die 1832 eröffnete nordamerikanische Bahn Camden-Amboy Breitfußschienen herzustellen, welche die aus Abb. 7 ersichtliche Form, eine Länge von 4,877 m und 17,9 bis 20,8 kg/m Gewicht besaßen und unmittelbar durch Hakennägel auf den hölzernen Querschwellen befestigt wurden. Wie die von Robert Stephenson ersonnene Anordnung für den Stuhlschienenoberbau, so ist die von Stevens bei der Bahn Camden-Amboy angewendete Bauart für den Oberbau mit Breitfußschienen vorbildlich geworden und, was Form und Befestigungsweise der Schienen betrifft, bei Verbindung mit hölzernen Schienenunterlagen bis heute in Anwendung geblieben. Dabei haben allerdings die Breitfußschienen nach und nach eine verhältnismäßig viel größere Verstärkung und Gewichtsvermehrung erfahren, als die von Stephenson eingeführten, schon damals sehr schweren Stuhlschienen.

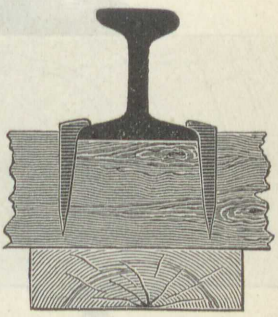


Abb. 7. Camden-Amboy (1832). 1 : 5.

Die Breitfußschiene gewann in Nordamerika sowohl bei Verwendung hölzerner Querschwellen als auch in Verbindung mit Langschwellen rasch die Oberhand und ist heute die daselbst fast ausschließlich herrschende Form. In England wurde die Breitfußschiene durch den Ingenieur Charles Vignoles[2]) eingeführt und fand auf mehreren Bahnen besonders auf hölzernen Langschwellen vorübergehend Aufnahme. Während sie sich dort aber gegenüber dem Stuhlschienenoberbau nicht dauernd behaupten konnte, verdrängte sie auf dem europäischen Festlande die Stuhlschiene in immer ausgedehnterem Maße, so daß sie, abgesehen von den schon genannten Ausnahmen in Frankreich, schon Ende der vierziger Jahre bei weitem überwog und heute die fast allein herrschende ist.

Die Verwendung hölzerner Langschwellen unter Breitfußschienen, die nach den amerikanischen Vorbildern auch in Deutschland Eingang gefunden hatte, ist in Europa jetzt überall verlassen, und selbst in Nordamerika, wo diese Bauart die weiteste Verbreitung gefunden hatte, heute für Neuanlagen als überwunden zu betrachten, da sich solche Gleise im allgemeinen nirgends bewährten.

§ 4. Verschiedene Oberbauarten, die trotz zeitweiser großer Verbreitung als verlassen gelten. — a. Flachschienenoberbau. Gewalzte Flachschienen mit eckigen und abgerundeten Kanten der Lauffläche haben besonders in

[2]) Diesem Umstand ist die vielfach angewendete, aber unrichtige Bezeichnung Vignoleschiene zuzuschreiben.

Nordamerika in Verbindung mit hölzernen Langschwellen eine sehr weite Verbreitung gefunden, wurden aber auch bei den ältesten deutschen und österreichischen Bahnen (Leipzig-Dresden und Kaiser Ferdinands-Nordbahn) vorübergehend angewendet. Die Enden der Flachschienen lösten sich leicht von den Schwellen und bogen sich auf, wodurch eine der schlimmsten Entgleisungsgefahren entstand.

b. Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau. 1. Langschwellen-Oberbau mit Brückschienen. Im Jahre 1835 führte Strickland in Nordamerika auf der Susquehannah-Wilmington —, und gleichzeitig Brunel in England auf der Great-Western-Eisenbahn die sogenannte Brückschiene ein, vielfach nach dem letztgenannten Erfinder auch Brunelschiene genannt; die Schienen lagen auf Holzlangschwellen (Abb. 8). Dieser Oberbau erreichte auf der genannten englischen Bahn[3]), sowie auch auf dem europäischen Festlande und in Nordamerika eine große Verbreitung, ist inzwischen aber fast ganz ausgestorben. Unter den Langschwellen

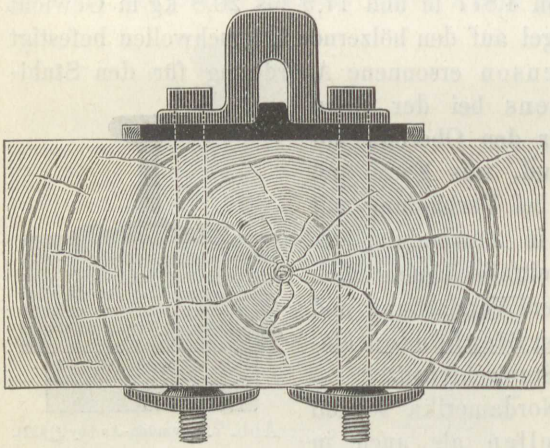


Abb. 8. Brunel (1835). 1 : 5.

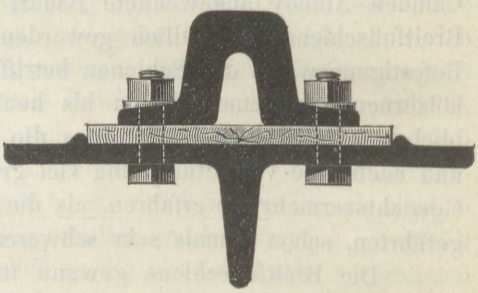


Abb. 9. Macdonnell (1860). 1 : 5.

bildeten sich feste, undurchlässige Bettungskörper und die gleich hohe Lage der beiden Schienenstränge war schwer zu erhalten.

Auch der von Macdonnell von 1852 bis 1860 auf der Great-Western Bahn unternommene Versuch, die Holzlangschwellen durch Eisenlangschwellen zu ersetzen, schlug fehl. Macdonnell verwendete ursprünglich eine Schwelle von ⊥ Form, so daß der lotrechte Schenkel in den Hohlraum der Brückschiene reichte, drehte aber, ohne dadurch einen Erfolg zu erzielen, 1860 die Schwelle um (Abb. 9).

2. Langschwellenoberbau von Hilf, Menne, Hohenegger und Haarmann. — Von allen Langschwellenoberbauarten hat der Oberbau von Hilf mit der Dreirippenschwelle die weiteste Verbreitung gefunden und sich im Wettstreit gegen den Holz- und Eisen-Querschwellenbau lange zäh und mit anscheinendem Erfolg zu behaupten gewußt. Diesen, wenn auch nur vorübergehenden Erfolg verdankt die Hilfsche Langschwelle ihrer großen Breite und geschlossenen Form, wodurch sie eine feste und sichere Lage in der von ihr umschlossenen Bettung erhielt. Hilf trat mit seinem Vorschlage 1867 hervor und die von ihm eingeführte Schwellenform hat dann bei vielen deutschen und auch einigen ausländischen Bahnen rasche

[3]) 1889 sollen noch 1600 km derartige Gleise im Betriebe gewesen sein, sie sind inzwischen aber verschwunden.

Verbreitung gefunden. Der Oberbau ist in der in Abb. 10 angegebenen Gestalt im wesentlichen unverändert beibehalten worden, nur wurde von der preußischen Staats-

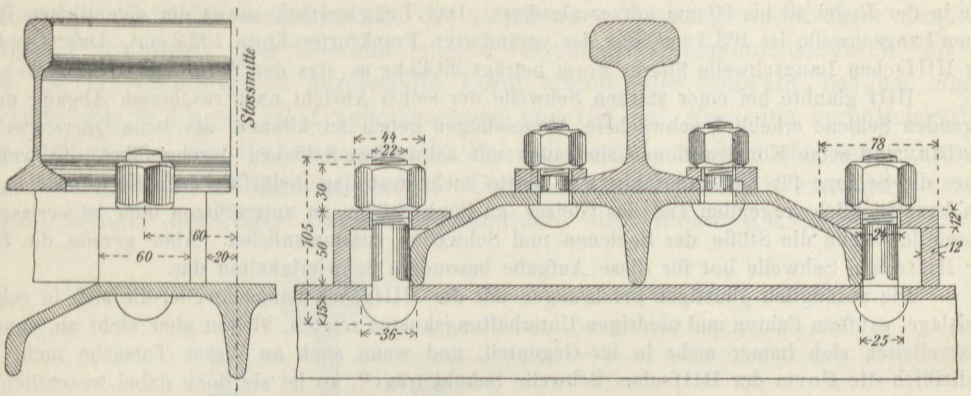
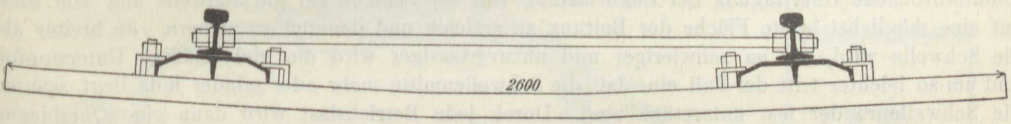
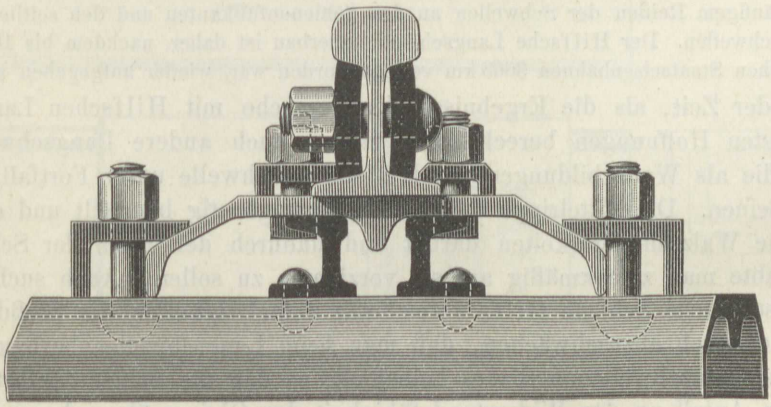


Abb. 10. Hilf; Moseleisenbahn (1878). 1 : 5.

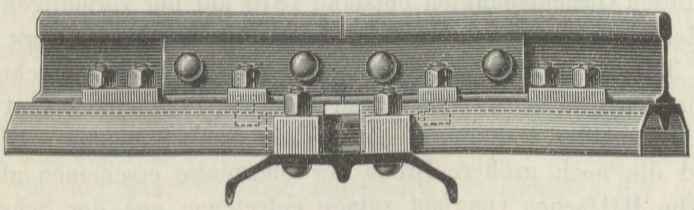


Gesamtanordnung. 1 : 20.

bahndirektion Frankfurt a. M., welche den Hilfschen Oberbau am längsten weiter zu fördern suchte, im Jahre 1888 die Mittelrippe verkürzt (Abb. 11). Diese Formver-



1 : 5.



1 : 10.

Abb. 11. Preußische Staatseisenbahnen, Direktion Frankfurt a/M. (1888).

änderung sollte die Teilung des Bettungskörpers durch die Mittelrippe vermeiden und die Widerstandsfähigkeit der Kopfplatte gegen Risse durch größere Stärke erhöhen.

Um die Biegung der Schienen in den Krümmungen sicher zu stellen, mußten die Hilfschen Langschwellen für gerade Strecke und die verschiedenen Bogen verschieden gelocht werden. Die Länge der Schwellen richtete sich nach der Länge der verwendeten Schienen und war in der Regel 40 bis 80 mm kürzer als diese. Das Trägheitsmoment der eigentlichen Hilfschen Langschwelle ist 103,3 cm^4, das der veränderten Frankfurter Form 102,2 cm^4. Das Gewicht der Hilfschen Langschwelle älterer Form beträgt 29,43 kg/m, das der Form von 1888 34,23 kg/m.

Hilf glaubte bei einer starken Schwelle der seiner Ansicht nach rascherem Abgang unterliegenden Schiene erheblich schwächere Abmessungen geben zu können, als beim Querschwellenoberbau, und seine Konstruktionen sind auch mit schwachen Schienen durchgeführt. Je weniger daher die Schiene für sich tragfähig war, desto mehr trat das Bedürfnis auf, die Schwellen, als den hauptsächlich tragenden Teil des Gleises, an ihren Stößen zu unterstützen oder zu verlaschen, namentlich wenn die Stöße der Schienen und Schwellen zusammenfielen. Aber gerade die Form der Hilfschen Schwelle bot für diese Aufgabe besondere Schwierigkeiten dar.

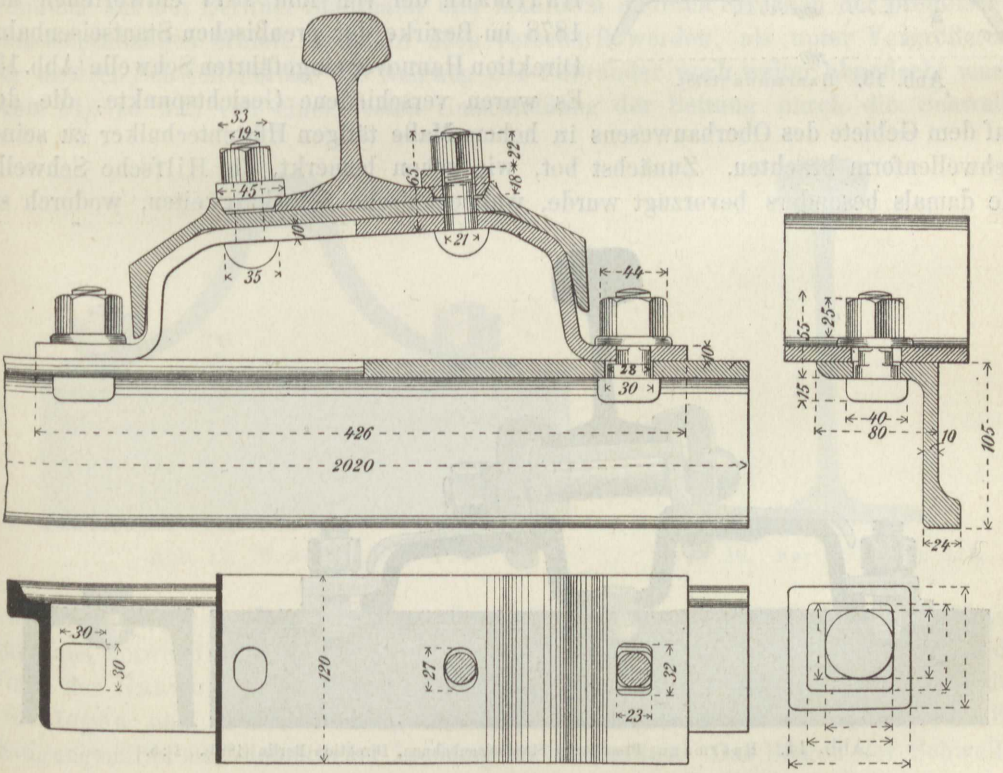
Die anfänglich günstigen Erfahrungen mit der Hilfschen Langschwelle, die sich in ruhiger Gleislage, sanftem Fahren und niedrigen Unterhaltungskosten zeigten, hielten aber nicht an, sondern verwandelten sich immer mehr in ihr Gegenteil, und wenn auch an dieser Tatsache nicht ausschließlich die Form der Hilfschen Schwelle Schuld trägt[4]), so ist sie doch dabei wesentlich mit beteiligt. Allen Langschwellenoberbauarten liegt der Gedanke zugrunde, eine unmittelbare und ununterbrochene Übertragung der Zugbelastung von der Schiene auf die Schwelle und von dieser auf eine möglichst breite Fläche der Bettung zu erzielen und dauernd zu sichern. Je breiter aber die Schwelle wird, um so schwieriger und unzuverlässiger wird die gleichmäßige Unterstopfung und um so leichter tritt der Fall ein, daß die Schwellenmitte mehr oder minder hohl liegt, während die Schwellenränder fest unterstützt sind. Durch jede Betriebslast wird dann eine Querbiegung der Schwelle hervorgerufen, welche um so bedenklicher ist, je breiter die Kopfplatte ist und je mehr das Material, die Form und die Herstellungsart der Schwelle Langrisse begünstigen. Es kommt hinzu, daß erfahrungsgemäß bei allen Langschwellenoberbauarten das Wandern der Schienen stärker zutage tritt, als bei andern Gleisanordnungen; infolge dieses immerwährenden Schleifens der Schienen auf den Schwellen treten in diesen rasch unter dem Schienenfuße erhebliche Abnutzungen ein, diese führen zu häufigem Reißen der Schwellen an den Schienenfußkanten und den seitlichen stumpfen Ecken der Schwellen. Der Hilfsche Langschwellenoberbau ist daher, nachdem bis 1887 allein auf den preußischen Staatseisenbahnen 3663 km verlegt worden war, wieder aufgegeben worden.

Zu der Zeit, als die Ergebnisse der Versuche mit Hilfschen Langschwellen zu den besten Hoffnungen berechtigten, fanden auch andere Langschwellenformen Eingang, die als Weiterbildungen der Hilfschen Schwelle unter Fortfall der Mittelrippe erscheinen. Die Mittelrippe wurde vielfach ungünstig beurteilt und da sie nicht unerhebliche Walzschwierigkeiten darbot und dadurch den Preis der Schwellen erhöhte, glaubte man zweckmäßig auf sie verzichten zu sollen. Auch suchte man die durch die schwache Schiene Hilfs vermehrten Schwierigkeiten der Stoßdeckung der Schwellen dadurch abzuschwächen, daß man beim Langschwellenoberbau die starke Schiene des Querschwellenoberbaues beibehielt, so daß die Schiene selbst einen entsprechenden Anteil an der Widerstandsfähigkeit des Gleises übernehmen konnte.

Unter diesen Gesichtspunkten entstand 1876 auf der vormaligen Rheinischen Eisenbahn der von Menne entworfene Langschwellenoberbau mit einer 60 mm hohen, 220 zu 300 mm breiten trapezförmigen Schwelle mit wagerechten Fußrändern. Die Schwelle hatte nur 23 kg/m Gewicht und dabei ein Trägheitsmoment von 109,3 cm^4, war also verhältnismäßig tragfähiger als die Hilfsche Schwelle. Die wagerechten Fußränder und die noch größere Breite der Oberplatte erscheinen aber als Mängel, welche die beim Hilfschen Oberbau zutage getretenen aus der Schwellenform entspringenden Übelstände nicht milderten. Tatsächlich hat sich die Schwelle von Menne auf den Hauptbahnen nicht bewährt und ist gleichfalls verschwunden.

[4]) Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 168 u. ff., wo der Verwendung von Schweißeisen ein Teil der Schuld beigemessen wird.

Von ähnlichen Gesichtspunkten ging Hohenegger aus, der gleichfalls im Jahre 1876 auf der österreichischen Nordwestbahn eine trapezförmige Schwelle von 200 zu 275 mm Breite, 72 mm Höhe und 28 kg/m Gewicht einführte, die Fußränder aber, in richtiger Erkenntnis der ungünstigen Wirkung wagerechter Ansätze, keilförmig gestaltete. Der Oberbau machte verschiedene Wandlungen durch, bis er 1894 die in Abbildung 12 dargestellte Form erhielt; die Schwelle hat bei einem Gewichte von 29,2 kg/m ein Trägheitsmoment von 154 cm⁴, also eine verhältnismäßig hohe Steifigkeit. Die Hoheneggersche Schwelle wurde nicht mehr aus Schweißeisen, sondern aus Flußeisen hergestellt. Dadurch ist unzweifelhaft einer der wesentlichsten Mängel derartiger Langschwellenformen, die Gefahr der Entstehung von



1 : 5.

Abb. 12. Österreichische Nordwestbahn (1894). Hohenegger.

Langrissen, abgeschwächt. Auch die Art der Befestigung der Schienen auf den Schwellen, durch die alle Seitenkräfte aus der Schiene unmittelbar auf die Schenkel der Schwelle übertragen werden (Abb. 12), während bei den anderen erwähnten Langschwellenoberbauarten die horizontalen Kräfte unmittelbar von den Befestigungsbolzen aufgenommen werden mußten und diese Bolzen daher bei der Kleinheit der Berührungsflächen sehr starkem Verschleiß unterlagen, ist ein Vorzug der Hoheneggerschen Bauart. Sie hat aber trotzdem außerhalb des Gebietes der österreichischen Nordwestbahn keine Verbreitung gefunden.

Während sowohl bei der Schwelle von Menne, als auch bei der älteren Schwelle Hoheneggers die Lochung nach denselben Grundsätzen ausgeführt war, wie bei Hilf, ist mit Einführung des Flußeisens und der neuen Hoheneggerschen Schwellen-

form die Schwelle nach den verschiedenen Gleiskrümmungen gebogen worden, so daß die Lochung für gerade und gekrümmte Strecken dieselbe ist und auch einheitliche Befestigungsmittel zur Anwendung kommen können. Auch ist es dadurch möglich geworden, die Breite der Oberplatte von 200 auf 168 mm einzuschränken, was konstruktiv von Vorteil ist und wohl auch auf das günstige Verhalten der Schwelle von Einfluß sein wird. Bezüglich der Länge der Schwellen von Menne und Hohenegger gilt das über die Hilfsche Schwelle Gesagte.

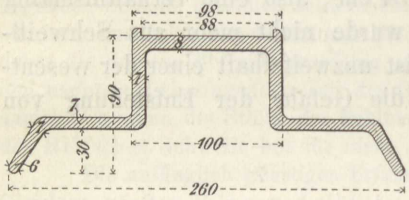


Abb. 13. Haarmann (1878).

Eine von den bisher besprochenen Langschwellen wesentlich abweichende Gestalt gab Haarmann der von ihm 1877 entworfenen und 1878 im Bezirke der preußischen Staatseisenbahn-Direktion Hannover eingeführten Schwelle (Abb. 13). Es waren verschiedene Gesichtspunkte, die den auf dem Gebiete des Oberbauwesens in hohem Maße tätigen Hüttentechniker zu seiner Schwellenform brachten. Zunächst bot, wie schon bemerkt, die Hilfsche Schwelle, die damals besonders bevorzugt wurde, walztechnische Schwierigkeiten, wodurch sie

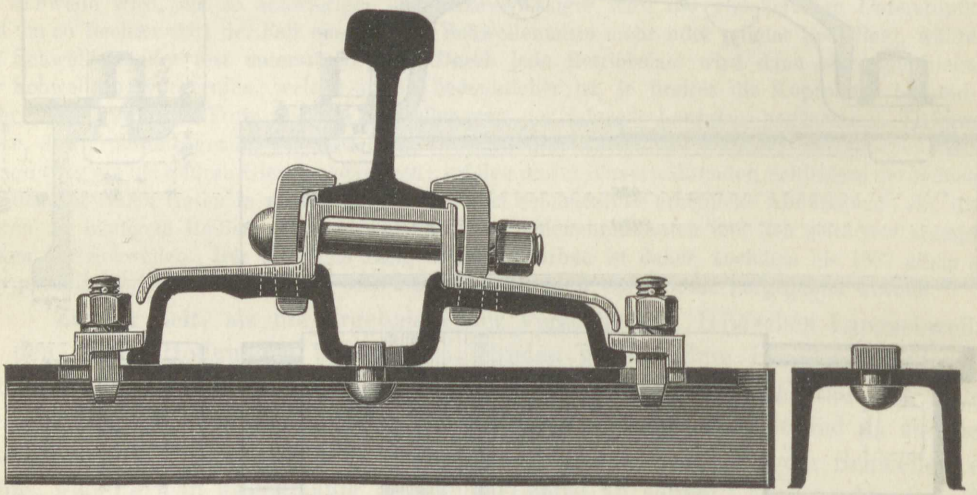
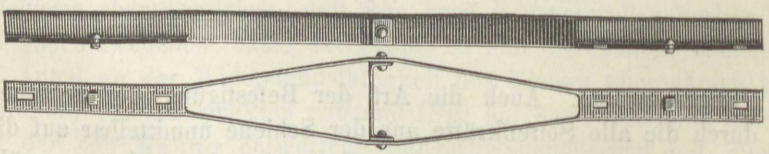


Abb. 14. Haarmann; Preußische Staatseisenbahnen, Direktion Berlin (1883). 1 : 5.


Querverbindung. 1 : 20.

verteuert wurde, dann ergab die flache Form der bisherigen Langschwellen bei großer Eisenmasse eine verhältnismäßig geringe Widerstandsfähigkeit und weiter erwiesen sich die breiten Kopfplatten als ungünstig sowohl für den Bestand der Schwellen, wie für deren Befestigung in Geraden und Bogen, sowie für eine kräftige Verlaschung der Schienen.

Die Haarmannsche Schwelle vermied diese Übelstände; sie hatte bei nur 260 mm unterer Breite eine Höhe von 90 mm und nur 84 mm freitragende Kopf-

plattenbreite, besaß somit eine große Steifigkeit. Die in Abb. 14 dargestellte Schwellenform hat bei 25,68 kg/m Gewicht ein Trägheitsmoment von 156,6 cm^4, ist also den vorbehandelten Schwellenformen an Steifigkeit überlegen. Der hutförmige Aufbau konnte außerdem alle lotrechten Kräfte unmittelbar auf die Bettung übertragen, ohne daß man die schädlichen Quereinbiegungen befürchten mußte, die bei den anderen Langschwellen unvermeidlich waren. Zugleich gestattete diese Form eine kräftige Schienenverlaschung. Sie hatte aber den wesentlichen Mangel, nur einen sehr kleinen Bettungskörper zu umschließen, denn die wirksame Ausfüllung oder gar Unterstopfung des höheren Mittelteiles war vollständig ausgeschlossen. Dieser Mangel ist sogar bei der weiteren Ausgestaltung, welche die Schwelle 1880 und später bei Verwendung auf der Berliner Stadtbahn und mehreren anderen Strecken der preußischen Staatseisenbahnen erhielt, insofern noch verschärft worden, als unter Vergrößerung der unteren Schwellenbreite die Neigung der Fußränder noch weiter abgeflacht wurde (Abb. 14), so daß von einer festen Umschließung der Bettung durch die Schwelle,

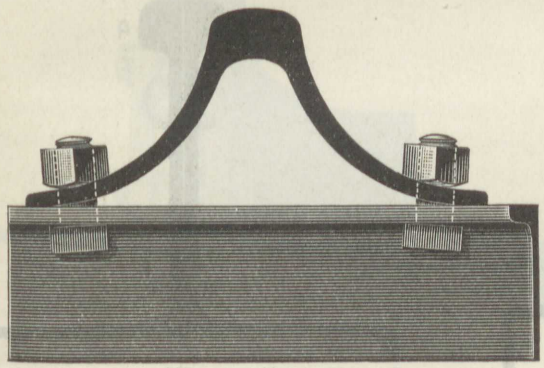


Abb. 15. W. Barlow (1852). 1 : 5.

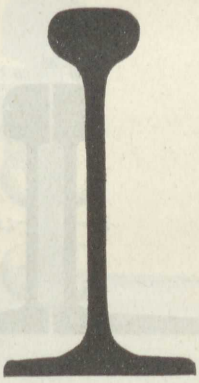


Abb. 16. Hartwich (1868). 1 : 5.

wie sie im Interesse der sicheren und möglichst dauernd ruhigen Lage des Gleises durchaus notwendig erscheint, überhaupt kaum mehr die Rede sein konnte. Bei der Form der Haarmannschen Langschwelle war es notwendig, die Bogenschwellen zu biegen und in der Geraden und in Krümmungen dieselben einheitlichen Befestigungsmittel bei einheitlicher Lochung zu verwenden. Das Biegen der Schwellen war um so weniger bedenklich, als von 1879 an ausschließlich Flußeisen zu ihrer Herstellung verwendet wurde. Auch der Haarmannsche Langschwellenoberbau ist als aufgegeben anzusehen.

3. Schwellenschienenoberbausysteme. Auf Vorschlag W. Barlows fand von 1849 an auf verschiedenen britischen und auch französischen und südamerikanischen Bahnen eine Sattelschiene der in Abb. 15 dargestellten Form ohne jegliche Unterschwellung Eingang, also ein sogenanntes einteiliges Oberbausystem.

Auch die 13 Jahre später auf der Rheinischen Eisenbahn eingeführte Hartwichschiene, eine sehr hohe Breitfußschiene (Abb. 16), war ohne Unterschwellung unmittelbar in der Bettung gelagert. Die 4,572 bis 5,486 m langen Barlowschienen waren je ein- oder zweimal durch Querwinkel und die Hartwichschienen, die bis zu 7,532 m Länge erhielten, wurden durch Spurstangen, die durch den Schienensteg reichten, miteinander verbunden. Die Anordnung erweckte wegen ihrer Einfachheit große Hoffnungen, die sich aber als trügerisch erwiesen. Die Rheinische Bahn hatte

150 km Hauptgleise mit Hartwichschienen in Betrieb, machte damit aber die »traurigsten Erfahrungen«[5]; die Unterhaltungskosten stellten sich sehr hoch und trotzdem war die sichere Gleislage kaum zu erhalten.

Verschiedene dreiteilige Systeme, die in England von 1855 und in Deutschland von 1864 an versucht wurden, beruhten alle auf dem Grundsatze, zwischen zwei durchlaufenden Flügelschwellen von ⅂-Form eine Doppelkopf- oder Pilzschiene zu befestigen. Bei Verwendung einer Doppelkopfschiene wurden die zwei Winkeleisen mit den wagerechten Schenkeln nach oben so gegeneinandergesetzt ⅂|⌐, daß die lotrechten Schenkel zwischen die Schienenköpfe paßten und hier durch Verschraubung eingespannt wurden. (Bridges Adams auf der Great Northern-Bahn in England und in Ostindien.) Bei Verwendung von Pilzschienen dagegen unterstützten die nach oben gerichteten lotrechten Schenkel ⌊|⌋ mit ihren entsprechend geformten Enden den Schienenkopf und umfaßten den Schienensteg, während die wagerecht oder schwach geneigt angeordneten Schenkel als Auflager in der Bettung dienten.

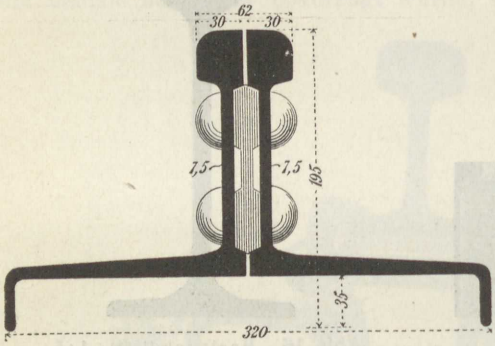


Abb. 17. Georgsmarienhütte-Haßbergen (1882).

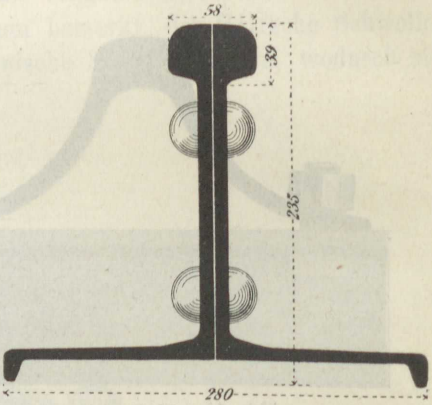


Abb. 18. Hafenbahn Hamburg (1888).

(Scheffler, Hannöversche Staatsbahn, Daelen, Köstlin-Battig und schließlich noch 1876 Battig-de Serres.) Alle diese Anordnungen zeigten denselben Mangel raschen Verschleißes zwischen Schienenkopf und Anlageflächen der Winkeleisen, wodurch die Widerstandsfähigkeit des Gleises wesentlich beeinträchtigt wurde. Auch sie sind daher inzwischen verlassen worden.

Eine zweiteilige Schwellenschiene führte Haarmann 1882 ein (Abb. 17). Um die Unterbrechung der Fahrfläche an den Stoßlücken zu vermeiden, wurden die Stöße der beiden Hälften versetzt, so daß wenigstens immer die Hälfte der Fahrfläche ohne Lücke vorhanden ist. Außerdem wurde der Stoß noch durch Laschen gedeckt. Die Abbildungen 17, 18, 19 lassen die Entwicklung dieser Oberbauart erkennen. Das Gewicht der Halbschiene beträgt 27,4 bis 30 kg/m, der Schienenkopf ist teilweise genau nach dem der anschließenden Breitfußschienen gebildet, um einen möglichst einfachen Anschluß zu gestatten.

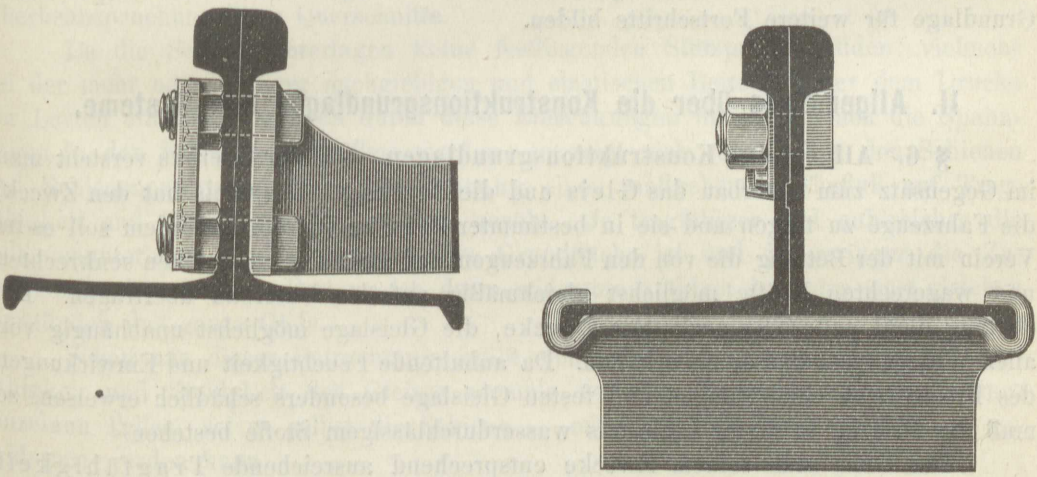
Die ursprünglich für einen guten Zusammenschluß der beiden Hälften für notwendig gehaltenen Zwischenlagen am Steg wurden schon 1884 weggelassen, wobei die Stege durch Nut und Feder verbunden wurden. Auch diese Verbindung ist 1888

---

5) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. Ergänz.-Bd. 1875. S. 17.

bei der Hamburger Hafenbahn und 1891 auf der Eisenbahn Georgsmarienhütte-Hassbergen weggelassen, so daß die beiden Stege sich glatt und stumpf berühren (Abb. 18).

Die Befestigung der beiden Halbschienen untereinander, die zuerst durch Niete bewirkt wurde, erfolgte später durch Schrauben, weil sich die Nieten den Betriebserschütterungen nicht gewachsen gezeigt hatten. Man begnügte sich dabei schließlich mit nur einer Reihe dicht unter dem Kopf durch den Steg führender Schrauben und hielt außerdem die Schienenfüße durch ⌐|- oder ⊤-Eisen zusammen (Abb. 19). Die über die Füße gezogenen ⊤-förmigen Fußklammern, die nach dem 1889 erfolgten Vorgange der württembergischen Staatsbahn die früher angewandten mit den Füßen verschraubten ⌐|-Eisen ersetzt haben, sind in 500 mm Entfernung angeordnet, während die in einer Reihe unter dem Schienenkopf sitzenden Stegschrauben 250 mm Abstand besitzen. Auf eine Schienenlänge von 9 m sind ferner vier Querverbindungen der



1 : 5.

Abb. 19. Preußische Staatseisenbahnen, Direktion Hannover (1890).

beiderseitigen Schienenstränge aus Flacheisen angeordnet, die mit den Schwellenschienen durch je zwei Schrauben verbunden sind. Die ⊤-förmigen Fußklammern dienen zugleich dazu, dem Wandern des Gleises entgegenzuwirken.

Auf den freien Strecken von Haupt- und Nebenbahnen ist die Schwellenschiene nur versuchsweise, wenn auch in längeren Strecken, zur Anwendung gekommen, hat hier den auf sie gesetzten Erwartungen aber ebensowenig entsprochen, wie die andern Langschwellen- und Schwellenschienenbauweisen. Namentlich zeigte sich überall eine sehr schwierige Entwässerung der Bettung und des Planums, weil erstere sehr bald unter den Schwellenschienen undurchlässig wurde, ein Übelstand, der außer den schon erwähnten auch bei allen andern Langschwellen- und Schwellenschienensystemen zu beobachten war. Dagegen hat sie in vollspurigen, von Lokomotiven befahrenen Hafen- und ähnlichen Straßenbahnen eine ausgedehnte Verwendung gefunden, weil sie zur Lagerung in Straßenpflaster besonders geeignet ist und wird hier zweifellos ihre Bedeutung behalten.

§ 5. Rückblick. — Aus der bisherigen geschichtlichen Entwicklung des Oberbaues haben sich trotz der Vielgestaltigkeit der verschiedenen praktisch versuchten

Anordnungen nur zwei Bauarten als dauernd brauchbar erwiesen: der Stuhlschienenoberbau und der Oberbau mit Breitfußschienen, auf Querschwellen oder Einzelunterstützungen gelagert. Außerdem ist aus einem Studium der Geschichte des Oberbaues die Lehre zu ziehen, daß, wenn irgendwo, so auf diesem Gebiete des Eisenbahnwesens der lange dauernde Versuch der wichtigste, wenn nicht sogar der einzige Prüfstein ist, der eine Entscheidung zu bringen vermag.

Wissenschaftlich-theoretische Erörterungen und Untersuchungen sind gewiß auch beim Oberbau am Platze und notwendig; sie können besonders auch dadurch Nutzen stiften, daß sie vor der Anstellung von Versuchen mit Anordnungen warnen, die schon theoretisch sich als unhaltbar erweisen. Viel schwieriger aber ist es, solche Mängel vorher zu erkennen und zu vermeiden, die nicht aus dem statischen Verhalten, sondern aus den mancherlei rechnerisch nicht verfolgbaren Einflüssen des Betriebes entspringen und sich oft erst nach langjähriger Erprobung im Gleise offenbaren. Die so an den vorhandenen Formen gesammelten Erfahrungen werden immer die beste Grundlage für weitere Fortschritte bilden.

II. Allgemeines über die Konstruktionsgrundlagen und Systeme.

§ 6. Allgemeine Konstruktionsgrundlagen. — Unter Oberbau versteht man im Gegensatz zum Unterbau das Gleis und die Bettung. Das Gleis hat den Zweck, die Fahrzeuge zu tragen und sie in bestimmter Bahn zu führen, außerdem soll es im Verein mit der Bettung die von den Fahrzeugen auf das Gleis ausgeübten senkrechten und wagerechten Kräfte möglichst gleichmäßig auf den Unterbau übertragen. Die Bettung dient außerdem noch dem Zwecke, die Gleislage möglichst unabhängig von allen Witterungseinflüssen zu erhalten. Da anhaltende Feuchtigkeit und Einwirkungen des Frostes sich einer ruhigen und festen Gleislage besonders schädlich erweisen, so muß die Bettung in erster Linie aus wasserdurchlässigem Stoffe bestehen.

Das Gleis muß seinem Zwecke entsprechend ausreichende Tragfähigkeit und Steifigkeit besitzen. Unter Tragfähigkeit versteht man den Widerstand gegen Bruch; die Steifigkeit dagegen ist der Widerstand gegen Änderungen der Form und Lage.

Das Gleis besteht in der Regel aus drei voneinander zu unterscheidenden Teilen:

1. den Schienen, auf denen die Räder rollen und die in einer bestimmten, den Betriebsmitteln entsprechenden Spurweite erhalten werden müssen;
2. den Schienenunterlagen — Schwellen —, die die Lage der Schienen sichern und die Kraftübertragung von den Schienen auf die Bettung vermitteln und
3. den Befestigungsteilen. Diese sind zu unterscheiden in die Befestigungsmittel der nur in begrenzter Länge herstellbaren Schienen unter sich — Befestigungsteile der Schienenstöße — und in die der Befestigung der Schienen auf ihren Unterlagen dienenden Teile — Befestigungsteile der Schienenauflagerstellen. —

Die Schiene muß den auf sie einwirkenden äußeren Kräften widerstehen; und zwar nicht nur gegen Bruch, sondern auch gegen bleibende senkrechte und wagerechte Durchbiegungen und Verdrehungen sowie gegen Verdrückungen der Lauffläche, damit Veränderungen in der Höhenlage und Richtung der Lauffläche über kleine, unvermeidliche und daher zulässige Grenzwerte hinaus nicht vorkommen können. Dieser Widerstand der Schiene gegen die äußeren Kräfte hängt ab von dem Wider-

standsmoment und Trägheitsmoment des Querschnittes und von der Festigkeit, Zähigkeit und Härte des Materials. Anderseits ist die Größe der auf die Schiene ausgeübten Wirkung nicht nur durch die Größe des Raddruckes, sondern durch die Lagerungs- und Befestigungsweise, insbesondere durch die Entfernung der Schienenunterlagen bedingt.

In entsprechender Weise ist die Querschnittsform und Materialbeschaffenheit der Schienenunterlagen für deren Widerstandsfähigkeit gegen Bruch und Verbiegung maßgebend, während die Höhe der Beanspruchung wieder von der Steifigkeit der Schiene und der Nachgiebigkeit der Bettung beeinflußt wird.

Noch verwickelter sind die Beziehungen zwischen den angreifenden und den widerstehenden Kräften bei den Befestigungsmitteln, die nicht nur auf Zug, Druck, Biegung und Abscherung beansprucht werden, sondern auch zum Teil einer stetigen Abnutzung der Oberflächen durch Reibung unterliegen und oft durch letzteren Umstand viel früher in ihrer Nutzwirkung beeinträchtigt werden, als durch eine Überbeanspruchung ihrer Querschnitte.

Da die Schienenunterlagen keine festliegenden Stützpunkte bilden, vielmehr bei der mehr oder weniger nachgiebigen und elastischen Bettung unter dem Drucke der Lasten einsinken, und da durch diese Einsenkungen im allgemeinen die Spannungen in den Schienen vergrößert werden, so zeigt sich, daß neben den Schienen und Schienenunterlagen auch die Bettung einen maßgebenden Einfluß auf Tragfähigkeit und Steifigkeit eines Gleises ausübt. Je tragfähiger und zahlreicher die Schienenunterlagen sind, je größer ihre Grundfläche ist und je geringer die Zusammendrückbarkeit der Bettung ist, desto widerstandsfähiger ist unter sonst gleichen Umständen das ganze Gleis.

Schon aus dieser Betrachtung ergibt sich, daß auf eine ausreichende Tragfähigkeit und Steifigkeit des Gleises niemals von der Widerstandsfähigkeit eines einzelnen Teiles, sei es selbst die Schiene — oder gar nur deren Gewicht — geschlossen werden kann.

Die Beziehungen zwischen Schiene, Schienenunterlagen und Bettung sind im I. Kap. II. Bds. in eingehender Weise theoretisch behandelt. Es müssen hier aber einige der theoretischen Ergebnisse, als besonders wichtige Konstruktionsgrundlagen, nochmals kurz hervorgehoben werden.

Über die Größe des Einflusses der Bettung auf die Widerstandsfähigkeit des Gleises herrschte lange Unklarheit. Winkler war der erste, der im Jahre 1867 bei Aufstellung seiner Theorie des Langschwellenoberbaues die Beziehungen zwischen Bettungsdruck und Einsenkung der Schienenunterlagen — die, wie schon bemerkt, auch die Spannung der Schiene beeinflußt, — in voller Klarheit erkannte und in die Formel brachte:

$$p = Cy,$$

wobei y die Einsenkung, p den Gegendruck der Bettung für die Flächeneinheit und C einen von der Beschaffenheit der Bettung abhängigen, von den Belastungsverhältnissen unabhängigen Zahlenwert — die Bettungsziffer — bezeichnet. Die Bettungsziffer wurde früher, mangels ausreichend zuverlässiger Versuche für ihre Feststellung, zwischen den Grenzen 4 und 45 schwankend, und im Mittel zu 12 bis 14 angenommen, bis eingehende Versuche der Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen für Kies ohne Packlage und mit Packlage die Werte 3 und 8 ergaben, die z. B. bei

Kiesbettung meistens als Grenzwerte betrachtet werden[6]), während bei Kleinschlag aus hartem Gestein bis zu $C = 30$ gegangen wird[7]).

Die Durchbiegung der Schiene unter der Betriebslast wächst mit der dritten Potenz des Abstandes ihrer Unterstützungen und nimmt nur im umgekehrten Verhältnis der ersten Potenz des zunehmenden Trägheitsmomentes — das in naher Beziehung zum Schienengewichte steht — ab. Sie nimmt ferner ab mit wachsender Bettungsziffer und mit zunehmender Grundfläche der Schienenunterstützungen, und da auch das Angriffsmoment diesen Gesetzen folgt, so zeigt sich, daß Schienenunterstützungen mit breiter Grundfläche, geringem Abstande und in guter Bettung gelagert, von viel wesentlicherem Einfluß auf die Tragfähigkeit und Steifigkeit des Gleises sind, als die Tragfähigkeit der Schiene allein.

Diese Tatsache ist um so mehr hervorzuheben, als die genannten Gesetze auch für die Einsenkungen des Gleises in die Bettung gelten, die durch die sogenannten dynamischen Wirkungen der fahrenden Lokomotiven entstehen. Diese Wirkungen haben ihren Grund in der Bauart der Lokomotiven — Lage und Größe der Gegengewichte der Triebräder, Einfluß der Außenzylinder usw. — und werden durch die bei der Fahrt der Lokomotive eintretenden senkrechten Fliehkräfte hervorgerufen. Sie können den ruhenden Druck erfahrungsgemäß beträchtlich verändern und erzeugen rasch wechselnde Gleissenkungen und Hebungen, also Schwingungen, deren Höhe für die Bettungsziffern $C = 3$ und $C = 8$ bei einem Raddurchmesser von 2 m 0,46 cm und 0,24 cm, bei einem Raddurchmesser von 1,3 m 0,45 cm und 0,23 cm beträgt[8]). Berücksichtigt man nun, daß bei den genannten Bettungswertziffern unter der Annahme eines Bettungsdruckes $p = 1{,}5$ und $p = 2$ aus der Formel $p = Cy$ sich für y schon die Werte von 0,5 und 0,25 cm ergeben und schon die aus der statischen Wirkung der Lasten entstehenden Schienenspannungen die Grenze des Zulässigen erreichen[9]), so ersieht man, welchen großen Einfluß möglichst gute Bettung und zahlreiche, leistungsfähige Schienenunterlagen auf die Güte eines Gleises ausüben. Wird z. B. bei einer Schiene vom Trägheitsmoment 1000 cm^4 der Abstand der Schienenunterlagen von 96 cm auf 78 cm d. h. um rund 19 v. H. verringert, so ermäßigt sich die Schieneneinsenkung aus der statischen Lastwirkung schon annähernd um 100 v. H., und wenn es außerdem gelingt, die Bettung durch eine solche von dreifacher Wertziffer zu ersetzen — etwa durch Übergang von Kies zu Hartsteinschlag — so wird die Gleiseinsenkung noch weiter annähernd auf ein Drittel der bisherigen verringert. Es ist daher nicht unberechtigt, wenn man sagt, die Grenze der Leistungsfähigkeit des Oberbaues liege im wesentlichen in der Bettung; sie wird erreicht, sobald diese durch zu großen Bettungsdruck ihre Elastizität und Widerstandsfähigkeit einbüßt.

Aber nicht nur gegen die senkrechten, sondern auch gegen die Seitenkräfte leisten tragfähige Schienenunterlagen, die in guter Bettung liegen, den wirksamsten Widerstand, während die sonstige Beschaffenheit des Gleises, insbesondere dessen Gewicht, in dieser Hinsicht nur eine untergeordnete Rolle spielt. Denn die seitlichen Kräfte, besonders auch die Seitenstöße der Betriebsmittel, können das Gleis nur in ungewöhnlich ungünstigen und daher sehr seltenen Ausnahmefällen in

[6]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1888, S. 184.

[7]) Ebenda, Engesser, S. 148.

[8]) W. Ast, Über die Oberbaufrage, Wien 1893. Siehe auch I. Kap. II. Bandes, § 3, Fußnote 12.

[9]) Engesser, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1888, S. 99.

unbelastetem Zustande treffen, in der Regel belasten die nach der Seite drückenden oder stoßenden Fahrzeuge zugleich das Gleis und bieten dadurch selbst den besten Schutz gegen seitliche Verschiebungen des letzteren, dessen Gewicht, im Vergleiche zu den Betriebslasten, bei der den seitlichen Verschiebungen entgegenwirkenden Reibung zwischen Gleis und Bettung kaum in Betracht kommen kann. Es läßt sich mit zwar nur annähernder, aber ausreichender Genauigkeit rechnerisch nachweisen[10]), daß von der in horizontaler Richtung wirkenden Stoßarbeit aufgenommen werden bei: 140 kg/m; 210 kg/m Gleisgew.

vom Gleis: 2,44 v. H.; 3,61 v. H.

während zu bleibenden Formveränderungen und Abnutzungen verwendet und von der Bettung aufgenommen werden: 97,56 v. H.; 96,39 v. H.

diese letzteren Zahlen ermäßigen sich zwar, wenn nicht die ganze Betriebslast, sondern nur der unter den Federn der Fahrzeuge liegende Teil als stoßend angenommen wird, auf: 90,88 v. H.; 86,78 v. H.,

sind aber immer noch so groß und unter sich so wenig verschieden, daß sich auch hier der große Einfluß der Bettung und der geringe Einfluß des Gleisgewichtes zeigt.

Die Befestigungsteile müssen sowohl den senkrechten, wie den wagerechten äußeren Kräften widerstehen; ersteren gegenüber treten besonders die Befestigungsteile der Schienen unter sich an deren Stoßstellen in Tätigkeit, während die Befestigungsmittel zwischen den Schienen und deren Unterlagen vorzugsweise die letzteren Kräfte aufzunehmen haben, um ein Umkanten oder seitliches Verschieben der Schienen auf den Schwellen zu verhindern.

§ 7. Besondere Konstruktionsgrundlagen. — a. Nicht nur vom Standpunkte der Betriebssicherheit, sondern auch von dem der Wirtschaftlichkeit muß vom Gleis eine möglichst große Widerstandsfähigkeit und als Folge dieser eine lange Haltbarkeit verlangt werden, denn die Kosten für die Erneuerung und Unterhaltung der Gleise bilden einen erheblichen Teil der für die Unterhaltung der Bahn überhaupt erforderlichen Ausgaben. So betrugen nach der Reichsstatistik für 1903 bei

	den preuß. Staatseisenb.		allen deutschen Eisenb.	
	ohne	mit	ohne	mit
	Berücksichtigung der Kosten für die Beschaffung von Gleismaterialien, sowie der Kosten für Bettung, Weichen, Herzstücke usw.			
1. Die Kosten für die Erneuerung und Unterhaltung der Gleise . . . . ℳ	37 282 827	108 111 180	53 011 707	149 792 879
2. dagegen die Gesamtausgaben für Bahnunterhaltung . . . . . ℳ	. . . . .	167 417 452	. . . . .	232 416 941
3. und die Gesamtausgaben für Bahnunterhaltung nach Abzug der Kosten für Gleismaterialien, Weichen und Herzstücke, Bettung . . . . . ℳ	96 589 099	. . . . .	135 635 790	. . . . .
4. die Kosten zu 1. betragen also in Hundertteilen der Kosten zu 2. u. 3. ℳ	38,60	64,58	39,09	64,45

[10]) Centralblatt der Bauverwaltung 1892, S. 72, 86, 97, 117, 125; Erörterungen zwischen Göring und Dr. Zimmermann.

Die Unterhaltungsarbeiten werden um so schwieriger und daher kostspieliger, je lebhafter der Betrieb auf der betreffenden Bahn ist. Wenn einzelne Gleisteile regelmäßig rascher verschleißen als die andern, und dadurch öfter wiederholte Einzelerneuerungen notwendig werden, so werden bei stark befahrenen Hauptbahnen dadurch im allgemeinen größere Belästigungen und höhere Kosten entstehen, als wenn das ganze Gleis nach möglichst gleichmäßiger Abnutzung aller seiner Teile auch im ganzen erneuert werden kann und muß. Es muß daher auch auf möglichst gleichmäßige Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Gleisteile und damit in Zusammenhang stehende gleichmäßige Abnutzung derselben schon in der Ausbildung des Oberbaues Bedacht genommen werden. Hiernach hat man das Material und die Abmessungen der einzelnen Teile, sowie auch die Größe der Berührungsflächen, welche die Kraftübertragung bewirken, zu bestimmen.

Für die Haupteisenbahnen Deutschlands bestimmt die Eisenbahnbau- und Betriebsordnung vom 4. November 1904 (B.-O.) in § 16 über die Tragfähigkeit des Oberbaues, daß Gleise, die von Lokomotiven befahren werden, wenigstens so stark sein sollen, daß sie Fahrzeuge von 7,5 t Raddruck (im Stillstand gemessen) mit Sicherheit aufnehmen können und daß der Raddruck stillstehender Fahrzeuge bei voller Ausnutzung der festgesetzten Tragfähigkeit nicht mehr als 7000 kg betragen soll (§ 29). Es wird aber für den Oberbau der Hauptgleise beim Neubau, wie bei der in zusammenhängenden Strecken erfolgenden Erneuerung allgemein eine Tragfähigkeit für mindestens 8 t und auf besonders stark beanspruchten Strecken eine solche für 9 t Raddruck (im Stillstand gemessen) verlangt, und auf Strecken, wo der Oberbau eine genügende Tragfähigkeit hat, ein Raddruck stillstehender Fahrzeuge von 8 t zugelassen. Die Bestimmungen über den zulässigen Raddruck gelten nach der B.-O. auch für vollspurige Nebenbahnen über die Tragfähigkeit des Oberbaues auf solchen Bahnen hat die Landesaufsichtsbehörde Bestimmung zu treffen. Die technischen Vereinbarungen des V. d. E. V. für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Haupt- und Nebeneisenbahnen vom 1. Januar 1897 (T. V.) sehen dagegen als oberste Grenze für die Tragfähigkeit des Oberbaues, wie für den Raddruck nur 7000 kg vor. (§ 6 und 66.)

In andern Ländern hat der Raddruck aber z. T. das Maß von 9000 kg schon überschritten.

b. Die stärksten gegenseitigen Kräfteeinwirkungen kommen zwischen dem Schienenkopf und den Radreifen vor. Zur Verhütung ungewöhnlicher, ungleichmäßiger und einseitiger Abnutzung muß daher sowohl die Form beider in gegenseitiger Abhängigkeit stehen, als auch deren Material womöglich dieselbe Härte besitzen. Bezüglich der Gestalt der Radreifen und der Schienenköpfe bestimmen die B.-O. und T. V., daß die Breite der Radreifen nicht weniger als 130 mm und nicht mehr als 150 mm betragen soll (B.-O. § 31; T. V. § 70[1]); diese Breite ist auch in der zwischen den mittel- und westeuropäischen Festlandstaaten 1886 vereinbarten Technischen Einheit im Eisenbahnwesen (Techn. Einh.) in Art. II, § 3 festgesetzt. Weiter ist bestimmt:

Die Laufflächen der Räder müssen sich in neu gedrehtem Zustande von der Spurkranzhohlkehle nach außen hin kegelförmig verjüngen. Für die Neigung des Kegels wird das Verhältnis 1 : 20 empfohlen (T. V. § 70[6]).

Eine nach innen geneigte Stellung der Schienen mit einer Neigung von 1 : 20 wird empfohlen (T. V. § 7[1]). Die innere seitliche Abrundung des Schienenkopfes soll mit einem Halbmesser von 14 mm beschrieben sein (T. V. § 5[2]). Der Kopf der Schienen soll nicht weniger als 57 mm breit sein und eine ebene oder eine mit mindestens 200 mm Halbmesser gewölbte Oberfläche haben. Größere Kopfbreiten bis zu 70 mm werden empfohlen (T. V. § 5[1]).

Sämtliche Räder müssen Spurkränze haben, deren Höhe über dem mittleren, 750 mm von der Mitte der Achse entfernt anzunehmenden Laufkreise der Räder nicht weniger als 25 mm und auch im Zustande der größten Abnutzung der Radreifen nicht mehr als 36 mm betragen darf (B.-O. § 31; T. V. § 71; Techn. Einh. Art. II § 6).

Die Befestigungsmittel (Stühle, Schrauben, Nägel usw.) sollen an der Innenseite der Schienen eines Gleises in der Breite der Spurrinne, auch bei größter Abnutzung der Schienen, mindestens 38 mm unter Schienenoberkante liegen (B.-O. § 13; T. V. § 8).

Diese Bestimmungen gelten im allgemeinen auch für die Betriebsmittel vollspuriger im deutschen Reiche liegender Nebeneisenbahnen, für Betriebsmittel, die nur in Nebenbahnzügen verbleiben, kann die Landesaufsichtsbehörde aber erleichternde Bestimmungen zulassen. Das Gleiche gilt nach den von V. d. E. V. am 1. Januar 1897 herausgegebenen Grundzügen f. d. Bau u. d. Betriebseinrichtungen der Lokaleisenbahnen (Grundz. f. L.) für Schienen und Betriebsmittel bei Bahnen, die nur dem Ortsverkehr dienen.

c. Da die Arbeitskräfte, die zur Gleisunterhaltung und Erneuerung zu Gebote stehen, in der Regel einfache Handarbeiter, also ohne eingehendere technische oder handwerksmäßige Schulung sind, so müssen die einzelnen Teile des Gleises möglichst einfach gestaltet, im äußeren augenfällig unterschieden und nicht zu zahlreich sein, um eine rasche, sichere und Verwechslungen ausschließende Handhabung zu gewährleisten. Auch müssen die Formen so gewählt werden, daß in üblichen Fabrikationsverfahren eine Massenherstellung möglich ist.

Endlich ist noch darauf hinzuweisen, daß alle Befestigungsteile nachstellbar sein müssen, weil infolge der starken Stöße und Erschütterungen ein allmähliches Lösen dieser Teile unausbleiblich ist und der Zweck der Verbindungsteile bei dem Mangel der Nachstellbarkeit (z. B. bei Nietungen) mehr oder minder rasch und vollständig verloren geht.

§ 8. Spurweite. Grundsätze für die Bemessung der Spurerweiterung und der Schienenüberhöhung. — Unter Bezugnahme auf das im II. Kapitel Dargelegte sollen hier, der Wichtigkeit der Angelegenheit entsprechend, die einschlägigen Bestimmungen nochmals zusammengestellt, auch die für den Bau des Gleises besonders wichtigen Gesichtspunkte nach dem Stande der Sache im Gebiete des V. d. E. V. erörtert werden.

a. Spurweite. — Sie wird in der B.-O. § 9, T. V. § 2, Techn. Einh. I, Grundz. f. L. § 2 für vollspurige Eisenbahnen in geradem Gleise zu 1,435 m festgesetzt, wobei nach der B.-O., den T. V. und den Grundz. f. L. Abweichungen »als Folge des Betriebes« bis zu $\pm \frac{1}{3}^0$ mm zulässig sind. In Krümmungen mit einem Halbmesser unter 500 m soll sie angemessen vergrößert werden; die T. V., Grundz. f. L. und die Techn. Einh. lassen eine Erweiterung bis zu 30 mm zu, die nach der B.-O.

auch für Hauptbahnen als obere Grenze festgesetzt ist, wogegen sie auf deutschen Nebenbahnen bis zu 35 mm betragen darf. Neben der Vollspur kommen innerhalb und außerhalb Europas noch verschiedene Breitspuren vor, ebenso, besonders für Lokal- und Kleinbahnen schmalere Spurweiten (siehe das I. u. II. Kap. I. Bds.).

Bei vollspurigen Eisenbahnen kommen in geraden Strecken mehrfach Abweichungen von dem Maße 1,435 m nach oben vor, die innerhalb des durch die T. V. als Folge des Betriebes gestatteten Grenzmaßes oder doch der sowohl hier wie in der Techn. Einh. für Krümmungen zugelassenen Erweiterung bleiben. In Frankreich ist von vornherein der Abstand der Schienenkopfmitten zu 1,5 m festgesetzt worden, so daß sich die »Spurweite« je nach der zufälligen Schienenkopfbreite verschieden, etwa zwischen 1,434 und 1,445 m, ergibt. In der Techn. Einh. sind für den Gesamtspielraum zwischen den Spurkränzen der Fahrzeuge und dem Schienenkopf als kleinste und größte Grenzwerte Maße von 15 mm und 35 mm bei einer Spurweite von 1,440 m festgesetzt, während diese Maße nach der B.-O. § 31[5] und den T. V. § 72[1] für die eigentliche Vollspur von 1,435 m 10 mm und 25 mm betragen.

b. Spurerweiterung. — 1. Ein steifachsiges Fahrzeug, das eine Krümmung durchfährt, stellt sich, wie im II. Kap. I. Bds. auseinandergesetzt worden, zwischen den beiden Schienen eines Gleises so ein, daß die Vorderachse mit dem Flansch des äußeren Rades hart an der Innenkante der äußeren Schiene läuft, während die hintere Achse sich in der Richtung nach dem Krümmungsmittelpunkte zu einzustellen strebt. Diese Stellung entspringt aus dem Beharrungsvermögen des Fahrzeuges, das, sich selbst überlassen, sich in gerader Richtung fortbewegen würde. Die Hinterachse des Fahrzeuges kann sich aber nur dann nach dem Krümmungsmittelpunkte einstellen, wenn der Achsstand im Verhältnisse zum Halbmesser des Bogens und zum Abstande der Schienen nicht zu groß ist. Aus dieser Betrachtung ergibt sich die Notwendigkeit, die Spur in scharfen Bogen, durch die steifachsige Fahrzeuge laufen sollen, zu vergrößern, d. h. solche Bogen mit Spurerweiterung anzulegen. Ist der Achsstand größer, als daß die Mittelpunktsstellung der Hinterachse eintreten kann, so liegt der Krümmungsmittelpunkt innerhalb der beiden verlängerten Achsen und das innere Rad der Hinterachse wird scharf an der Innenschiene anlaufen. Kann sich dagegen die Hinterachse nach der Halbmesserrichtung einstellen, so läuft sie im wesentlichen unter denselben Bedingungen, wie in der Geraden (s. Abb. 20). Das ist für das Durchfahren der Krümmungen der günstigste Zustand. Er tritt ein, wenn der Spielraum zwischen Spurkranz und Schienenkopf $\sigma \geqq \frac{d^2}{2R}$ wird, wenn d der Achsstand und R der Halbmesser ist. Der Spielraum σ setzt sich nun zusammen aus dem Spielraum in der Geraden, der nach dem unter a. Gesagten im Mittel 17,5 mm beträgt und der Spurerweiterung e, so daß sich für diese ergibt:

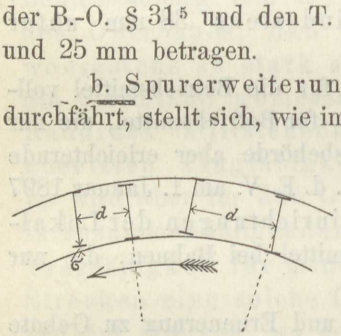


Abb. 20.

$$e \geqq \frac{d^2}{2R} - 0{,}0175.^{11}) \tag{1}$$

Das Mittelmaß des Spielraumes von 17,5 mm ist aber ein willkürliches, weil auch neue Radreifen auf neuen Schienen zu berücksichtigen sind, und für diese wäre

11) Bödecker, Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887. S. 23.

10 mm zu setzen. Das Maß der Spurerweiterung hängt also lediglich von dem Achsstande der Fahrzeuge, dem Krümmungshalbmesser und dem Spielraume der Spurkränze ab und ist von der Geschwindigkeit unabhängig.

Leider läßt sich Formel (1) für die Praxis ebensowenig gebrauchen, wie die auf ähnlicher theoretischer Grundlage entwickelte Formel:

$$(2) \qquad e = \frac{(d + \sqrt{2rt})^2}{2R} - 0{,}010,$$

wo r den Wagenradhalbmesser (0,5 m) und t die Spurkranzhöhe (0,025 m) bezeichnen, weil der Achsstand der Fahrzeuge und auch der Spurkranzspielraum in weiten Grenzen schwanken. Wird in Formel (2) für d das Maß 5 m gesetzt, so geht sie in die mehrfach zur Anwendung gekommene Form über:

$$(2a) \qquad e = \frac{13\,302}{2R} - 10 \text{ (in mm)}.$$

Eine weitere theoretische Formel lautet:

$$(3) \qquad e = \frac{r\,s \cdot \operatorname{cotg} \alpha}{R},$$

wo s die Spurweite und $\operatorname{cotg} \alpha$ die Neigung der kegelförmigen Lauffläche der Räder ist. Sie erhält für $\operatorname{cotg} \alpha = 16$ oder 20 die Form:

$$(3a) \qquad e = \frac{11\,339}{R} \text{ oder } e = \frac{13\,500}{R}.$$

Diese Formel beruht aber auf der unzutreffenden Annahme, daß alle Achsen hart an der Außenschiene laufen, so daß der Laufkreis aller Innenräder kleiner ist, als der der Außenräder, und daß hierbei ein richtiges Abwälzen aller Achsen in der Mittelpunktsrichtung des Bogens eintritt. Bei dieser unzutreffenden Annahme wäre allerdings der Wert von e vom Radstande unabhängig, würde aber für zylindrische Radreifen $= \infty$!

Die Formel gibt denn auch für kleine Halbmesser so große, gegen die Bestimmungen verstoßende Werte — z. B. für $R = 300$ und 180 m in der ersten Form $e = 38$ und 63 mm, in der zweiten sogar $e = 45$ und 75 mm — daß sie ohne weitgehende und willkürliche Abweichungen nicht anwendbar ist, und daher auch von den Bahnverwaltungen, die sie der Bemessung der Spurerweiterung zugrunde gelegt haben, mit so großen Änderungen der Ergebnisse angewendet wird, daß von einer theoretischen Grundlage dieser letzteren überhaupt nicht mehr gesprochen werden kann. Dasselbe gilt übrigens auch von dem Ausdrucke (2a), der gleichfalls für $R < 330$ m zu große, vorschriftswidrige Werte gibt. Endlich ist noch die im II. Kap. S. 169 I. Bds. abgeleitete Formel

$$(4) \qquad e = e_1 \frac{R_1}{R}$$

zu nennen, wo e_1 die dem vorkommenden kleinsten Halbmesser R_1 entsprechende größte zulässige Spurerweiterung ist.

2. Die theoretischen Ableitungen der mitgeteilten Formeln für die Spurerweiterung leiden aber außer an den angeführten noch an dem weiteren allerdings weniger erheblichen Mangel, daß sie nur einen einzelnen Wagen betrachten, während im Eisenbahnbetrieb in der Regel ganze Züge befördert werden. Durch die in den Kupplungen wirkenden Kräfte kann aber die Stellung der Wagen gegeneinander und in den Krümmungen gleichfalls beeinflußt werden[12]).

[12]) Bödecker, Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. S. 43 u. ff.

In Berücksichtigung aller dieser Umstände haben viele Eisenbahnverwaltungen die Spurerweiterung lediglich nach Erfahrungssätzen festgestellt, oder nach den aus diesen herzuleitenden Formeln, wie

$$(5) \qquad e = \frac{6}{R} - 0{,}012 \text{ oder } \frac{6}{R} - 0{,}006 \text{ und}$$

$$(6) \qquad e = n\,(1000 - R), \text{ wo } n = 0{,}03 \text{ bis } 0{,}025 \text{ gesetzt wird.}$$

Aber auch diese Formeln geben weit voneinander abweichende Maße. Außerdem leidet Gl. (6) an dem Mangel, daß die danach berechneten Spurerweiterungen nach einer Geraden verlaufen, während die Theorie wenigstens soweit feststeht, daß diese Linie eine gegen die Gerade etwas durchgebogene Kurve sein muß. Die Gl. (5) aber zeigt diese Durchbiegung in zu ausgesprochenem Maße.

Da auch die Verwaltungen, die den sogenannten theoretischen Formeln folgen, wie schon hervorgehoben, deren Ergebnisse aus praktischen Gründen bei kleinen Halbmessern nicht anwenden können, so herrscht in der Bemessung der Spurerweiterung bis jetzt eine weitgehende Willkür. Das einzig Feststehende sind die schon unter a. mitgeteilten gesetzlichen und vereinbarten Bestimmungen, wonach die Spurweite in Krümmungen von weniger als 500 m Halbmesser angemessen erweitert werden, dabei aber das Maß von 30 mm und 35 mm nicht überschritten werden soll.

Um dieser letzten Forderung gerecht zu werden, beschränken die Bahnen auf Strecken mit scharfen Bogen den zugelassenen Achsstand, und fordern bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen Verschieblichkeit der Mittelachse, oder Lenkachsen und Drehgestelle (siehe B.-O. § 30[2]; T. V. § 89, 90, 123, 129), oder es werden die Spurkränze bei den Mittelrädern mehrerer in einem gemeinschaftlichen Rahmen gelagerter Achsen ganz weggelassen (B.-O. § 31[4]; T. V. § 71[1]).

3. Um innerhalb des Gebietes des Vereins der deutschen Eisenbahnverwaltungen hinsichtlich der Spurerweiterung zu einheitlichen Grundsätzen zu kommen, wurden 1883 die Einzelverwaltungen um Beantwortung bestimmter Fragen ersucht, die dem technischen Ausschusse des Vereins zur weiteren Bearbeitung überwiesen wurden. In dem von diesem Ausschusse im Jahre 1884 erstatteten Berichte über die »Fortschritte der Technik des deutschen Eisenbahnwesens; 5. Abteilung«[13]) sind auf Grund der von 47 Verwaltungen gegebenen Beantwortungen die tatsächlichen Verhältnisse in umfangreichen Tabellen unter Gegenüberstellung der in verschiedenen Krümmungen angewandten Höchst- und Mindestmaße zusammengestellt und die Schlußfolgerung lautete: »Die Spurerweiterungen haben sich bezüglich der Sicherheit des Betriebes und der möglichst geringen seitlichen Abnutzung der Schienen und Radreifen nur in den Fällen nicht bewährt, wo sie das kleinste Maß erreichten oder demselben nahe kamen. Es erscheint daher zweckmäßig, die Spurerweiterung nicht zu knapp zu bemessen.«

Aber gerade damals machte sich eine starke Strömung für die Verringerung der Spurerweiterung und deren gänzliches Fallenlassen bei Krümmungen von mehr als 500 m Halbmesser geltend, der auch mehrere, besonders norddeutsche Bahnen folgten, so daß sich später, abgesehen von den Bogen mit 250 m und weniger

---

[13]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1884. 9. Ergänz.-Bd. S. 50.

Halbmesser, die Mindestmaße der Spurerweiterung noch verringert hatten, wie aus nachstehender Tabelle zu ersehen ist[14]).

Nachweisung der Grenzmaße der Spurerweiterung.

Halbm. m	Bahnverwaltung	größte 1884 mm	größte 1892 mm	kleinste 1884 mm	kleinste 1892 mm	Bahnverwaltung
150	Altona-Kiel	30		18		K.-E.-D. Berlin
	Österr. Staatsb.		28		20	Ungar. Staatsb.
200	Ost.-Ung. St.-E.-G.	30		13		Berlin-Hamburg
	Aussig-Teplitz		30		15	Holländ. Bahn
250	wie vor.	30		13		wie vor.
			28		12	
300	wie vor.	30		10		K.-E.-D. Berlin
			26		8	K.-E.-D. Köln (lrh.)
400	Kais. Ferd.-Nordb.	26		8		Crefelder Bahn
	»		24		3	K.-E.-D. Köln (lrh.) und andere preuß. Staatsbahnen
500	Kais. Franz-Josef-B.	24		6		wie vor.
	Kais. Ferd.-Nordb.		20		0	
750	wie vor.	15		3		K.-E.-D. Köln (rrh).
			14		—	
1000	Österr. Südb.	10		0		Hess. Ludw.-B.
	Kais. Ferd.-Nordb.		10		—	
1500	Siebenbürg. B.	10		—		Bemerkung:
	Ungar. Staatsb.		10		—	Die Mehrzahl der Bahnen
2000	wie vor.	7		—		schließt sowohl 1884 wie
			10		—	1892 mit 900—950 m Halb-
3000	Siebenbürg. B.	3		—		messer.
	Österr. Südb.		2		—	

Allerdings geht aus den 1892 zur Sache erstatteten Fragebeantwortungen unzweifelhaft hervor, daß das Fallenlassen der Spurerweiterung bei Krümmungen zwischen 500 und 1000 m Halbmesser ein Fehler war, weil die Abnutzung der Schienenköpfe und Radreifen erheblich zugenommen hat, und es wird daher neuerdings von den Verwaltungen, welche die Grenze bei 500 m Halbmesser angenommen hatten, die Spurerweiterung wieder bis zu 1000 m Halbmesser angewendet.

Aus den weitgehenden Abweichungen in der Bemessung der Spurerweiterung bei den verschiedenen Verwaltungen, die sich, abgesehen von den allergeringsten Maßen, sämtlich im praktischen Betriebe als brauchbar erwiesen haben, ist zu ersehen, daß die Größe der Spurerweiterung keinen durchschlagenden und leicht bemerkbaren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit des Betriebes ausüben kann. Die Sicherheit des Betriebes ist überhaupt von dem Maße der Spurerweiterung so lange unabhängig, als die Spur eng genug ist, um ein Zwischenfallen der Räder zu verhindern und weit genug um zu verhüten, daß die Reibung zwischen Rad und Schiene so groß wird, um ein Aufsteigen des Spurkranzes zu erzwingen. Dies wird

[14]) Die Angaben für 1892 verdanken wir der Mitteilung des inzwischen verstorbenen Ober- u. Geheimen Baurates Rüppell, früheren Vorsitzenden des zur Bearbeitung dieser Frage vom V. d. E. V. eingesetzten Unterausschusses, dessen uns zur Verfügung gestellten Akten auch die sonstigen Mitteilungen über die Tätigkeit dieses Unterausschusses entnommen sind.

schon bei so geringer Spurerweiterung, wie sie im Interesse kleiner Zugwiderstände und geringer Schienen- und Radreifenabnutzung als ungenügend bezeichnet werden muß, mit Sicherheit vermieden.

Die Frage der Spurerweiterung ist also im wesentlichen eine Frage der Wirtschaftlichkeit und Erfahrung, bei der es vor allen Dingen darauf ankommt, eine einfache, in der Praxis auch von untergeordneten Organen leicht zu handhabende Gebrauchsformel zu finden, welche die durch Gesetze und Vereinbarungen gezogenen Grenzen innehält, die Spurerweiterung nicht unnötigerweise noch bei Bogen mit großen Krümmungshalbmessern vorsieht und auch der theoretischen Grundlage insoweit Rechnung trägt, daß der Verlauf der durch sie dargestellten Kurve keine der Theorie zuwiderlaufende Form zeigt. Auch ist es ratsam die Formel so zu gestalten, daß sich für die kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser nicht schon die höchstzulässigen Spurerweiterungen ergeben, damit die durch den Betrieb entstehenden unvermeidlichen Vergrößerungen nicht alsbald zu einer Überschreitung der äußersten Grenzen führen. (T. V. § 2[3].)

Als eine solche Formel kann Gl. (4) dienen, bei der allerdings die Spurerweiterung bis in sehr flache Bogen fortgeführt wird, was in Deutschland nicht üblich ist. Auch ist bei den im II. Kap. I. Bds. mitgeteilten Zahlenbeispielen der letzten der soeben aufgestellten Forderungen nicht entsprochen. Als eine weitere derartige Formel hat der 1892 vom V. d. E. V. zur Klärung dieser Frage eingesetzte Unterausschuß

$$e = \frac{(1000 - R)^2}{n} \text{ (in mm)} \tag{7}$$

aufgestellt und für n den Wert 27000 vorgeschlagen, zugleich mit der Bestimmung, auch bei der Spurerweiterung Abweichungen — als Folge des Betriebes — von $\pm\ {}^1/_3{}^0$ mm zuzulassen, und die größte Spurerweiterung niemals die Grenzen von 30 mm für Hauptbahnen und 35 mm für Nebenbahnen überschreiten zu lassen. Die Verwaltungen des V. d. E. V. haben dann sowohl mit Spurerweiterungen, die nach der Gl. (7), wie nach der sog. theoretischen Formel — Gl. (3a) —, oder den bisher auf der betreffenden Bahn maßgebenden Grundsätzen gebildet waren, Versuche gemacht, über deren Ergebnisse J. Sander 1899 ausführlich berichtet[15]; aber auch diese Versuche haben zu einem zweifelsfreien Ergebnis nicht geführt, vielleicht weil die Versuchszeit zu kurz war. Die Ergebnisse sind in der folgenden Zusammenstellung nachgewiesen, sie sprechen immerhin nicht zu ungunsten einer reichlichen Spurerweiterung.

Günstigste Spurerweiterung mit Rücksicht auf

gleichmäßige Flächenabnutzung beider Stränge	Zugwiderstand und ruhigen Gang	Kosten der Gleisunterhaltung
7mal größter Wert 9mal kleinster Wert 1mal 0	7mal größter Wert 5mal beide Werte gleich gut	9mal größter Wert 4mal kleinster Wert 6mal beide Werte gleich gut

23mal größter Wert, 14mal kleinster Wert, 11mal beide Werte gleich

[15]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw., 1899, S. 238.

Abb. 21 zeigt ferner die Schaulinien der nach verschiedenen Formeln berechneten Spurerweiterungen und einige gebräuchliche Abweichungen.

Wenn bei Bahnverwaltungen schon in der Geraden Erweiterungen der Vollspur vorkommen, wie z. B. in Frankreich und Nordamerika, so sind selbstverständlich innerhalb gewisser Grenzen in den Krümmungen weitere Spurvergrößerungen entbehrlich und zwar um so mehr dann, wenn steifachsige Fahrzeuge überhaupt nicht oder nur selten vorkommen, vielmehr die Betriebsmittel mit Drehgestellen die Regel bilden, was namentlich bei den nordamerikanischen Bahnen zutrifft.

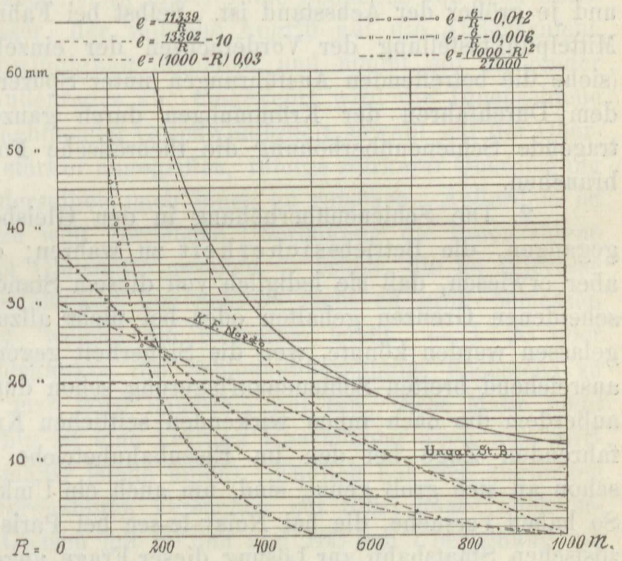


Abb. 21.

4. Bei den meisten Bahnen wird die Spurerweiterung stufenweise, von 3 zu 3, 4 zu 4 mm usw. angeordnet, was besonders dann von Vorteil ist, wenn für ihre Herstellung und Festhaltung besondere Teile der Befestigungsmittel nötig sind oder wenn diese bestimmte, stufenweise zunehmende, Abmessungen erhalten müssen.

Die Spurerweiterung wird durch Verschiebung der inneren Schiene nach dem Krümmungsmittelpunkte zu hergestellt, weil die äußere Schiene als Leitkante für die Außenräder der Vorderachsen dient und in ihrer genau der Krümmung entsprechenden Lage verbleiben soll, während die Innenschiene nicht regelmäßig in demselben Maße als Leitkante der hinteren Innenräder auftritt.

c. Schienenüberhöhung. — 1. Eine durch ein gekrümmtes Gleis laufende freie Achse hat infolge des Beharrungsvermögens das Bestreben, sich an die Außenschiene anzulegen und wird bei großer Geschwindigkeit, infolge der Fliehkraft, um die Außenschiene kippen. Um diesem Bestreben entgegenzuwirken, wird die Außenschiene überhöht. Die Fliehkraft wird unschädlich gemacht, wenn die Schienenüberhöhung den Wert erhält:

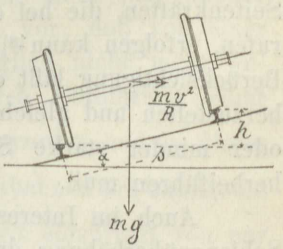


Abb. 22.

$$h = s \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{s v^2}{g R},$$

worin s der Abstand der Schienen von Mitte zu Mitte, R der Krümmungshalbmesser, v die Geschwindigkeit der Achse in m/Sek. und g die Erdbeschleunigung sind. (Siehe Abb. 22.) Für 60 mm breite Schienenköpfe und die Vollspur wird die Schienenüberhöhung in mm:

$$(1) \quad \begin{cases} h = 153 \frac{v^2}{R} & \text{oder} \\ h = 11{,}8 \frac{V^2}{R}, \end{cases}$$

wenn V die Geschwindigkeit in km/St. bezeichnet. Sie erhält also die allgemeine Form $h = c \cdot \frac{V^2}{R}$.

Diese Formel gilt aber nur für eine frei laufende Achse, die sich nach der Mittelpunktsrichtung einstellt, ein Fall, der im Eisenbahnbetriebe besonders bei den führenden Vorderachsen der Fahrzeuge nicht vorkommt, da sich diese um so weniger nach der Mittelpunktsrichtung einstellen können, je kleiner der Halbmesser und je größer der Achsstand ist. Selbst bei Fahrzeugen mit Drehgestellen tritt die Mittelpunktsstellung der Vorderachsen der einzelnen Drehgestelle nicht genau ein (siehe die betreffenden Ausführungen unter Spurerweiterung), und daher ist für die dem Durchfahren der Krümmungen durch ganze Fahrzeuge und Züge Rechnung tragende Schienenüberhöhung die theoretische Formel nicht ohne weiteres zu gebrauchen.

2. Die Schienenüberhöhung in den Gleisbogen ist aus dem Streben hervorgegangen, die Betriebssicherheit zu wahren; durch Erfahrung und Versuche ist aber erwiesen, daß sie lediglich von diesem Standpunkt aus betrachtet in sehr bescheidenen Grenzen gehalten oder bei nicht allzu scharfen Bogen auch ganz fortgelassen werden könnte, weil die Sicherheit gegen Umkanten der Schienen bei einer ausreichend breiten Schienenauflagerung schon durch diese Breite gewahrt ist[16]) und außerdem die nach innen wirkenden seitlichen Kräfte in einem durch einen Bogen fahrenden Zuge bei den im Eisenbahnbetriebe vorkommenden Geschwindigkeiten schon an sich groß genug sind, um auch ein Umkanten der Fahrzeuge zu verhindern. So haben Versuche, die bei Noisy-le-sec bei Paris und auf Bahnhof Droue der französischen Staatsbahn zur Lösung dieser Frage angestellt wurden, ergeben, daß selbst in Bogen von 300, 200 bis zu 75 m Halbmesser herab die Überhöhung sogar bei hohen Geschwindigkeiten fortgelassen werden kann, ohne die Sicherheit eines Zuges zu gefährden[17]). In der neuesten Ausgabe der T. V. ist daher auch die frühere bindende Form der Vorschriften über die Schienenüberhöhung fallen gelassen worden.

Aber wenn die Sicherheit auch die Herstellung einer Überhöhung in der Regel nicht unbedingt erfordert, so ist eine solche doch notwendig, damit der Lauf der Züge durch die Krümmungen möglichst ruhig, also ohne das Auftreten von Seitenkräften, die bei den meisten Reisenden ein höchst unbehagliches Gefühl hervorrufen, erfolgen kann[18]). Dieser Gesichtspunkt ist ganz besonders wichtig und seine Berücksichtigung läßt es auch notwendig erscheinen, die Überhöhung sehr sorgfältig herzustellen und gleichmäßig zu erhalten, weil jede Ungenauigkeit naturgemäß mehr oder minder starke Schwankungen der Seitenkräfte, d. h. lästige Seitenstöße herbeiführen muß.

Auch im Interesse der Wirtschaftlichkeit des Betriebes ist eine gewisse Schienenüberhöhung dringend erwünscht, die Voraussetzungen zu ihrer Bemessung sind jedoch andere, als die der Entwicklung der theoretischen Formel. Die Wirtschaftlichkeit des Betriebes erfordert nämlich eine möglichst gleichmäßige Abnutzung der Außen- und der Innenschiene, damit deren Dauer womöglich dieselbe sei. Der

---

16) Zeitschrift f. Bauwesen, 1892, S. 247.

17) Internationaler Eisenbahn-Kongreß; 1892, Frage IX, S. 17 u. 38. — Die Entbehrlichkeit der Überhöhung in gewissen Grenzen ist auch theoretisch — selbst für eine einzelne Rollachse — nachweisbar.

18) Zentralblatt d. Bauverw. 1901, S. 462.

Standpunkt der Wirtschaftlichkeit findet auch bei den Bestimmungen der T. V. § 7 klaren Ausdruck. Bei der Außenschiene wird infolge Anlaufens der Außenräder der Vorderachsen stets vorzugsweise eine seitliche Abnutzung des Schienenkopfes eintreten, wogegen die Innenschiene von den Rädern beider Achsen vorzugsweise auf der oberen Lauffläche angegriffen wird, wozu je nach Umständen noch ein seitlicher Angriff des Schienenkopfes durch die Innenräder der Hinterachsen tritt. Der seitliche Angriff auf beide Schienen ist in erster Linie abhängig von dem Achsstande und dem Krümmungshalbmesser, der seitliche Angriff auf die Außenschiene wächst aber mit zunehmender Geschwindigkeit erheblich und nimmt mit steigender Überhöhung durch Entlastung des Außenrades ab; umgekehrt wird die Innenschiene mit wachsender Überhöhung und abnehmender Geschwindigkeit sowohl auf der Oberfläche wie an der inneren Kopfseite stärker angegriffen, infolge stärkerer Querneigung der Fahrzeuge und des Bestrebens derselben nach innen zu rutschen. Außerdem ist noch zu beachten, daß durch eine zu weit getriebene Überhöhung die Innenschiene eine Neigung nach außen — von der Gleismitte gesehen — erhält, die im Interesse der Standsicherheit und Widerstandsfähigkeit der Schiene nicht zu groß bemessen werden darf. Je nach der Neigung, welche die Radreifen haben, — 1 : 20 oder 1 : 16 — wäre nach diesem Gesichtspunkte die Schienenüberhöhung höchstens zu 100 oder 125 mm zu bemessen und man wird immerhin gut tun, diese Maße nicht wesentlich zu überschreiten. Immerhin ist eine kräftige Überhöhung auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht unzweckmäßig (siehe unten). Endlich hat sich zugunsten der Schienenüberhöhung bei den vorgenannten Versuchen bei Noisy-le-sec auch ergeben, daß der Zugwiderstand in Gleisen mit 80 mm und 160 mm Überhöhung um 20 und 30 v. H. geringer war, als in nicht überhöhten Gleisen, eine Beobachtung, die allerdings auf Versuchsstrecken im Gebiete des V. d. E. V. keine Bestätigung gefunden hat, also wohl strittig ist[19]).

3. Aus den dargelegten Gründen wird die Außenschiene in Gleisbogen fast allgemein überhöht, dabei sind aber die aus Gleichung (1) sich ergebenden Werte für die Schienenüberhöhung bei der Mehrzahl der Eisenbahnverwaltungen nicht unverändert zur Anwendung gebracht. Die meisten Verwaltungen haben zwar scheinbar an der theoretischen Grundlage der für die Schienenüberhöhung festgesetzten Werte festgehalten, in Wirklichkeit aber kommen dabei so viele mehr oder minder willkürliche Abweichungen durch Zusätze, Begrenzungen usw. vor, daß von einer tatsächlichen Handhabung der theoretischen Formel (1) füglich nicht mehr gesprochen werden kann. Namentlich ist der Formel (1) durch Einführung einer bestimmten Geschwindigkeit häufig die Form $h = \frac{K}{R}$ gegeben worden und in dieser Form kamen im Gebiete des V. d. E. V. im Jahre 1884 für Hauptbahnen am häufigsten die Ausdrücke vor[20]): $h = \frac{45}{R}$ oder $\frac{40}{R}$, was einer Geschwindigkeit entspricht von nur 62 oder 58 km/St., während die betreffenden Bahnen tatsächlich Geschwindigkeiten bis zu 75 km aufweisen. Für Nebenbahnen wurde am meisten gesetzt:

$$h = \frac{30}{R}, \text{ entsprechend der Annahme } V = 50,$$

[19]) Organ f. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 238, 242.

[20]) Ebenda, 1884. IX. Supplem.-Bd.

während doch tatsächlich die Nebenbahnen damals nur mit 30 km befahren werden durften; aber auch hier kamen Abweichungen bis zu $h = \frac{10}{R}$ vor.

Auch in den übrigen europäischen Ländern bestehen ähnliche Verhältnisse, indem die Formel (1) meistens in der Form $h = \frac{K}{R}$ mit willkürlichen Beschränkungen, Zusätzen und Geschwindigkeitsannahmen angewendet wird und Höchstwerte für die Schienenüberhöhung in den Grenzen von 150 bis 200 mm (Belgien, franz. Ostbahn einerseits und franz. West- und Orleans-Bahn anderseits) festgesetzt werden[21]).

Wenn man in der Formel (1) $11{,}8 \cdot V = m$ setzt, erhält man den Ausdruck:

$$h = m\frac{V}{R}, \tag{2}$$

der unter tätiger Mitwirkung Rüppells in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von verschiedenen preußischen Staatsbahndirektionen angenommen wurde, wobei m zwischen 660 und 750 schwankte. Diese Formel ist dann für den ganzen Bereich der preußisch-hessischen Staatsbahnen eingeführt worden und zwar mit dem Werte $m = 500$, der aber recht geringe Überhöhungen ergibt[22]).

4. Um die Frage der zweckmäßigsten Schienenüberhöhung zu praktischer Entscheidung zu bringen, hat der V. d. E. V. im Jahre 1892 eine neue Untersuchung veranstaltet, und denselben Unterausschuß, der die Frage der Spurerweiterung (siehe b 3) bearbeitet, mit der Behandlung des Gegenstandes in dem Sinne betraut, auch für die Schienenüberhöhung eine praktische Gebrauchsformel aufzustellen. Er schlug die Anwendung der Formel (2) $h = m\frac{V}{R}$ vor, und die Vereinsverwaltungen wurden denn auch ersucht, sowohl mit den nach dieser, wie nach der sog. theoretischen Formel (1) ermittelten, oder den sonst auf der betreffenden Bahn angewendeten Schienenüberhöhungen Versuche zu machen. Dabei sollte in Gl. (2) $m = 500$ bis 700 gesetzt werden.

Die von den Verwaltungen in den Jahren 1884 und 1892 tatsächlich angewendeten kleinsten und größten Überhöhungen sind nach den Ergebnissen der Untersuchungen in der beifolgenden Nachweisung[23]) (S. 98—99) zusammengestellt, wobei besonders auch auf die Bemerkung über das Verhältnis der Grenzwerte aufmerksam gemacht wird. Auch sind in Abbildung 23 die aus den Formeln (1) und (2) — bei letzterer mit $m = 500$ und 700 — sich ergebenden Werte für die Schienenüberhöhungen für verschiedene Höchstgeschwindigkeiten zeichnerisch dargestellt.

Auch 1892 war die Mannigfaltigkeit in der Bemessung und Begrenzung der Schienenüberhöhung im wesentlichen dieselbe wie 1884, trotz oder vielmehr gerade wegen der fast allgemeinen Zugrundelegung der sog. theoretischen Formel (1), die für große und kleine Geschwindigkeiten schlechterdings keine praktisch anwendbaren Werte ergibt. Die von 14 Verwaltungen für die Schienenüberhöhung festgesetzte Höchstgrenze schwankt überhaupt zwischen 250 und 100 mm.

Die Versuche wurden 1899 abgeschlossen und J. Sandner berichtet in der oben genannten Quelle auch über deren Ergebnisse, wobei er auch hier glaubt feststellen zu müssen, daß sich über den Einfluß der Schienenüberhöhung auf den Zu-

[21]) Internationaler Eisenbahn-Kongreß, 1892, Frage IX.

[22]) Zentralbl. d. Bauverw. 1901, S. 462.

[23]) Die Werte für 1892 sind den Akten des Unterausschusses entnommen.

stand und die Unterhaltung des Gleises usw. eine Gesetzmäßigkeit nicht nachweisen lasse. Entgegen dieser Anschauung möchten wir aber darauf hinweisen, daß die in

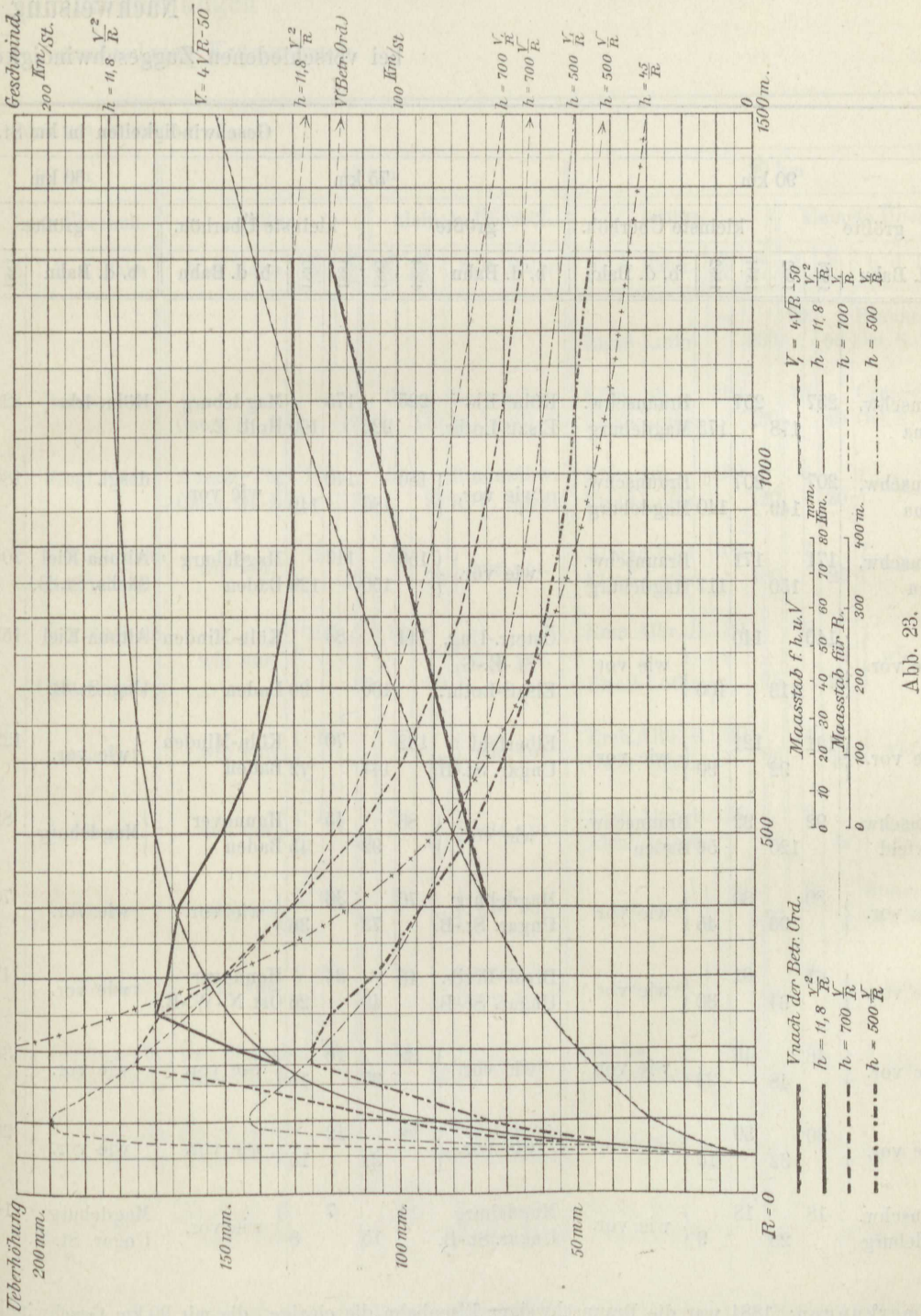


Abb. 23.

nachstehender Zusammenstellung (S. 100) enthaltenen Gesamtergebnisse doch zeigen, daß sich in Rücksicht auf die gleichmäßige Abnutzung beider Schienen in Gleisen mit

Nachweisung der

bei verschiedenen Zuggeschwindigkeiten

Geschwindigkeiten in km/St. und

Halbmesser m	90 km						75 km						60 km		
	größte			kleinste Überhöh.			größte			kleinste Überhöh.			größte		
	b. d. Bahn	1884	1892	1884	1892	b. d. Bahn	b. d. Bahn	1884	1892	1881	1892	b. d. Bahn	b. d. Bahn	1884	1892
150															
200	Braunschw. Altona	257	178	257	175	Braunschw. Magdeburg	Köln, lrh. Elsaß-Lothr.	225	225	175	160	Magdeburg Holl. E.	Köln, lrh.	225	—
250	Braunschw. Altona	207	149	207	140	Braunschw. Magdeburg	wie vor.	180	180	140	149	wie vor.	desgl.	180	—
300	Braunschw. Baden	171	150	171	117	Braunschw. Magdeburg	wie vor.	150	150	117	120	Magdeburg Baden	Altona-Kiel Sächs. St.-B.	204	142
400	wie vor.	140	113	140	100	wie vor.	Österr.-Ung. St.-E.-G. Elsaß-Lothr.	144	130	85	90	Köln-Minden Baden	Altona-Kiel Ung. St.-B.	153	126
500	wie vor.	121	92	121	90	wie vor.	Elberfeld Ungar. St.-B.	132	147	70	72	Köln-Minden Baden	wie vor.	122	101
800	Braunschw. Elberfeld	92	120	92	56	Braunschw. Baden	wie vor.	83	92	45	45	Hannover Baden	Magdeburg	82	75
1000	wie vor.	80	96	80	45	wie vor.	Magdeburg Ungar. St.-B.	70	73	36	36	wie vor.	wie vor.	70	70
1500	wie vor.	61	64	61	30	wie vor.	Bresl.-Freib. Ungar. St.-B.	48	49	24	25	Hannover Öst. N.-W.-B.	wie vor.	47	47
2000	wie vor.	46	48	46	23	wie vor.	wie vor.	39	37	18	15	wie vor.	wie vor.	35	35
3000	wie vor.	30	32	30	15	wie vor.	wie vor.	28	24	12	15	wie vor.	wie vor.	23	23
5000	Braunschw. Magdeburg	18	23	18	9	wie vor.	Magdeburg Ungar. St.-B.	14	15	7	8	wie vor.	Magdeburg Ungar. St.-B.	14	10

Bemerkungen: 1884 war die Braunschweiger Eisenbahn die einzige, die mit 90 km Geschwindigkeit von 75—90 km in beiden Jahren 1:2 bis 2,5; von 60 km 1884 1:2 bis 3, 1892 1:1,5 bis 2; von 45 km 1884 1:2

Schienenüberhöhungen

und in verschiedenen Krümmungen.

Überhöhungen in mm

60 km			45 km						30 km						Halbmesser
kleinste Überhöh.			größte			kleinste Überhöh.			größte			kleinste Überhöh.			
1884	1892	b. d. Bahn	b. d. Bahn	1884	1892	1884	1892	b. d. Bahn	b. d. Bahn	1884	1892	1884	1892	b. d. Bahn	m
									Elsaß-Lothr.	—	200	29	55	Braunschw. Öst. N.-W.-B.	150
114	—	Braunschw.	Öster. St.-B.	—	120	64	119	Braunschw. Sächs. St.-B.	Köln, lrh. Elsaß-Lothr.	150	150	10	40	Crefeld. B. Öst. N.-W.-B.	200
92	—	desgl.	Aussig-Tepl. Öster. St.-B.	133	131	51	95	Braunschw. K. F. Nordb.	Köln, lrh. Elsaß-Lothr.	120	120	8	30	wie vor.	250
73	117	Öst. Südbahn Magdeburg	wie vor.	133	109	43	79	wie vor.	Altona-Kiel Elsaß-Lothr.	102	100	7	25	wie vor.	300
37	90	Öst. Südbahn Württemberg	wie vor.	100	82	36	59	wie vor.	Erzh. Albr.-B. Elsaß-Lothr.	80	75	5	20	wie vor.	400
—	72	wie vor.	wie vor.	80	66	30	48	wie vor.	Erzh. Albr.-B. Öster. Südb.	70	70	4	15	wie vor.	500
—	45	wie vor.	wie vor.	50	41	24	30	wie vor.	Erzh. Albr.-B. Elsaß-Lothr.	50	38	3	10	wie vor.	800
24	36	wie vor.	wie vor.	40	33	20	24	wie vor.	wie vor.	40	30	9	5	Braunschw. Öst. N.-W.-B.	1000
15	24	wie vor.	wie vor.	25	22	15	15	Braunschw. Öster. St.-B.	wie vor.	—	20	6	5	wie vor.	1500
10	18	Oberhess. B. Württemberg	Öst. Südbahn Öster. St.-B.	19	16	11	10	wie vor.	Berlin Elsaß-Lothr.	20	15	0	5	wie vor.	2000
0	12	Öst. Südbahn Württemberg	Sächs. St.-B. Öster. St.-B.	8	11	8	8	Braunschw. K. F. Nordb.	wie vor.	10	10	—	4	K. F. Nordb.	3000
—	7	wie vor.	Sächs. St.-B. Ungar. St.-B.	5	7	5	5	Braunschw. Sächs. St.-B.	Köln, lrh. Ungar. St.-B.	6	4	—	2	Sächs. St.-B.	5000

aufgeführt war. Das Verhältnis der kleinsten zu den größten Maßen beträgt annähernd bei Geschwindigkeiten bis 3, 1892 1 : 1,5; von 30 km 1884 1 : 15 bis 20, 1892 1 : 4.

vorwiegendem Personenverkehr und nahezu gleichen Personen- und Güterverkehr die größeren Überhöhungen — $m = 700$ und mehr — als die günstigeren erwiesen haben und daß sich auch bei Gleisen mit vorwiegendem Güterverkehr die stärkeren Überhöhungen nicht ungünstiger gezeigt haben, als die niedrigeren. Auch aus den Kosten der Gleisunterhaltung lassen sich keine Schlüsse zugunsten der kleineren Werte der Überhöhung ziehen. Hiernach wird man doch wohl schließen können, daß die größeren Überhöhungen zweckmäßiger erscheinen als die kleineren, wenngleich wir auch hier die aus der verhältnismäßig kurzen Dauer der Versuche entspringende Unzuverlässigkeit erwähnen und in Übereinstimmung mit Sandner hervorheben müssen, daß die sonstigen auf die Kosten der Gleisunterhaltung einwirkenden Umstände von viel größerer Bedeutung sind als die Größe der Schienenüberhöhung, und daß auch in Rücksicht auf die Flächenabnutzung der Schienen zweifellos andere sehr wesentliche Einflüsse mitwirken.

Günstigste Überhöhung $\left(h = \frac{mv}{r}\right)$ bei

vorwiegendem Personenverkehr, d. h. dieser $\geqq 55$ v. H.			vorwiegendem Güterverkehr, d. h. dieser $\geqq 55$ v. H.			nahezu gleichem Personen- und Güterverkehr		
mit Rücksicht auf								
gleichmäßige Flächenabnutzung beider Stränge	Zugwiderstand und ruhigen Gang	Kosten der Gleisunterhaltung	gleichmäßige Flächenabnutzung beider Stränge	Zugwiderstand und ruhigen Gang	Kosten der Gleisunterhaltung	gleichmäßige Flächenabnutzung beider Stränge	Zugwiderstand und ruhigen Gang	Kosten der Gleisunterhaltung
$1 \times m = 354$ 1 » » $= 472$ 7 » » $= 700$ 2 » » $= 500$ 2 » » $= 500$ und 700 gleich gut	$1 \times m = 590$ und 700 gleich gut $1 \times m = 500$ und $\frac{3600}{r}$ gleich gut $6 \times$ alle Formeln gleich gut	$4 \times m = 700$ 3 » » $= 500$ 1 » » $= 885$ 1 » » $= 300$ $7 \times$ alle Formeln gleich gut	$1 \times m = 885$ 1 » » $= 800$ und » $= 500$ gleich gut $2 \times m = 700$ 2 » » $= 700$ und 500 gleich gut $3 \times m = 500$	$1 \times m = 700$ 1 » » $= 500$ $8 \times$ alle Formeln gleich gut	$2 \times m = 802$ 1 » » $= 700$ 5 » » $= 500$ 1 » » $= 246$ $3 \times$ alle Formeln gleich gut	$2 \times m = 708$ 2 » » $= 826$ 2 » » $= 700$ 1 » » $= 500$ 1 » » $= 800$	$1 \times m = 826$ 1 » » $= 700$ $6 \times$ alle Formeln gleich gut	$2 \times m = 708$ 1 » » $= 700$ 1 » » $= 826$ 1 » » $= 500$ 1 » » $= 600$ $4 \times$ alle Formeln gleich gut
$7 \times m = 700$ 4 » » $\leqq 500$ 2 » » gleich gültig		$5 \times m \geqq 700$ 4 » » $\leqq 500$ 7 » » gleich gültig	$3 \times m \geqq 700$ 3 » » $= 500$ 2 » » gleich gültig		$3 \times m \geqq 700$ 6 » » $\leqq 500$ 3 » » gleich gültig	$7 \times m \geqq 700$ 1 » » $= 500$		$5 \times m \geqq 600$ 3 » » $= 500$ 4 » » gleich gültig

5. Es ist noch zu erörtern für welche Geschwindigkeit die Schienenüberhöhung zu berechnen ist. Auch hierüber gehen die Ansichten auseinander und die großen Abweichungen in den Werten der Überhöhung sind z. T. darauf zurückzuführen, daß entweder die in den Geraden der betreffenden Strecke zulässige Höchstgeschwindigkeit, oder die größte, oder mittlere fahrplanmäßige Geschwindigkeit, oder auch eine mittlere Geschwindigkeit der verschiedenen auf der betreffenden Strecke verkehrenden Züge — Schnellzüge, Personenzüge, Güterzüge — eingesetzt oder auch andere Verfahren eingeschlagen werden.

Wollte man der Schienenüberhöhung eine nach der Zahl der über die betreffende Strecke in langsamen und in schnellen Zügen beförderten Achsen festzustellende mittlere Geschwindigkeit zugrunde legen, so wäre das nicht nur umständlich, sondern die Berechnung müßte bei allen wesentlichen Änderungen in den Betriebs- und Verkehrsverhältnissen der Bahn, die erfahrungsgemäß nicht selten sind, erneut, auch müßten den geänderten Verhältnissen entsprechend die vorhandenen Schienenüberhöhungen zum Schaden einer ruhigen, festen Gleislage mit großen Kosten geändert werden. Es erscheint daher am richtigsten und einfachsten, die Geschwindigkeit in die Formel einzuführen, welche nach gesetzlicher oder verwaltungsseitiger Bestimmung in der betreffenden Krümmung nicht überschritten werden darf, sei es, daß diese Geschwindigkeit sich aus der Krümmung selbst ergibt, oder aus dem Gefälle, in dem sie etwa liegt. Nach diesem Grundsatze, der auch dem Gesichtspunkt am vollkommensten Rechnung trägt, die gerade bei den schnellfahrenden Zügen besonders stark auftretende Fliehkraft für die Reisenden möglichst unwirksam zu machen, wird u. a. bei den preußischen Staatsbahnen verfahren.

Die Grenzwerte für die Geschwindigkeiten, mit denen die Bogen durchfahren werden dürfen, sind für Deutschland in der Betriebs-Ordnung § 66[4] festgesetzt. Die für die Eisenbahnen in Österreich-Ungarn zulässigen Höchstgeschwindigkeiten lassen sich ungefähr durch die Formel:

$$V = \alpha \sqrt{R - \beta} \tag{3}$$

ausdrücken, wenn für α und β die Werte 4 und 50 gesetzt werden, die Höchstgeschwindigkeit ist aber auf 80 km/St. begrenzt, während sie in Deutschland seit Erlaß der neuen B.-O. nicht mehr begrenzt ist.

In Abbildung 23 sind die Grenzwerte der zulässigen Geschwindigkeiten nach der deutschen Betriebs-Ord. und der Formel (3) dargestellt.

6. Die Schienenüberhöhung wird von vielen Bahnverwaltungen vor Bahnhöfen um $^1/_5$ bis $^1/_2$ ermäßigt. Innerhalb der Bahnhöfe pflegt sie gleichfalls in den durchgehenden Gleisen in diesem Verhältnis verringert oder auch ganz weggelassen zu werden, besonders wenn in den betreffenden Stationen auch die schnellfahrenden Züge anhalten. Wenn diese Züge die Stationen aber mit unverminderter Geschwindigkeit durchfahren, sollte man die Überhöhung weder vor noch in den Bahnhöfen verringern. In den Nebengleisen wird sie ziemlich allgemein fortgelassen. Über die Herstellung der Überhöhung siehe II. Kapitel des I. Bandes.

Die Überhöhungsrampen, durch welche die Überhöhungen an den Bogenenden auslaufen, sollten mit den Übergangsbogen zusammenfallen und möglichst flach angelegt werden, damit der Übergang von der Geraden in den Bogen möglichst allmählich und sanft erfolgt und damit auf den Rampen nicht etwa Entgleisungen eintreten. Diese sind besonders bei gebremsten Fahrzeugen zu befürchten, denn ein entlastetes gebremstes Rad kann von den Bremsklötzen, die fest mit den Langbalken verbunden sind, von den Schienen abgehoben werden, so daß es frei schwebt. Die T. V. § 7[5] bestimmen hierüber: »Die Überhöhung soll in den Übergangsbogen oder in den zunächst an die Krümmung anschließenden geraden Strecken auf eine Länge auslaufen, welche mindestens das 200fache der Überhöhung beträgt.« Das Verhältnis 1 : 200 ist aber ein recht steiles, es ist daher für die deutschen Eisenbahnen in der neuen B.-O. auf 1 : 300 abgeflacht worden. Bei manchen Bahnverwaltungen sind noch flachere Neigungen bis 1 : 500 üblich.

7. Das auf manchen englischen Eisenbahnen übliche Verfahren, unter erheblicher Ermäßigung oder gänzlicher Weglassung der Schienenüberhöhungen neben der Innenschiene in scharfen Krümmungen Streichschienen anzuordnen, trägt zwar dem Gesichtspunkte der Betriebssicherheit Rechnung, vernachlässigt aber den der Wirtschaftlichkeit und des ruhigen Fahrens.

Bei vollspurigen Lokaleisenbahnen kann nach den Grundzügen § 7[4] die Überhöhung fortfallen und dafür der Spurkranz auf die Außenschiene auflaufen, wenn Zwangsschienen zur Anwendung kommen. Diese Bestimmung war im Interesse der Herstellung von Straßenbahnen, wo sich die Überhöhung für den Straßenverkehr als sehr lästig erweisen würde, notwendig.

§ 9. Die verschiedenen Oberbausysteme. — Man teilt die Oberbauarten einesteils nach der Schienenform ein in:

Oberbau mit Stuhlschienen und Breitfußschienen (siehe I. S. 70 und 73).

Außerdem unterscheidet man nach den Schienenunterlagen zwischen:

Querschwellenbau, Langschwellenbau und Oberbau mit Einzelunterstützungen;

endlich wird auch nach dem zu den Schienenunterlagen verwandten Materiale unterschieden zwischen:

Oberbau mit Stein-, Holz- und Eisenunterlagen.

Die Ansichten darüber, welches unter diesen verschiedenen Systemen das zweckmäßigste ist, gehen noch weit auseinander; überhaupt kann von einer Bauart, die für alle möglichen Fälle die beste wäre, schon um deswillen nicht die Rede sein, weil die Dichtigkeit des Verkehres und die klimatischen Verhältnisse des Landes bei der Wahl der Bauweise eine große Rolle spielen. Außerdem sprechen, wie in anderen Zweigen des Bauwesens, so auch hier hergebrachte Anschauungen und persönliche Meinungen des ganzen Volkes und der maßgebenden Kreise ein gewichtiges Wort.

Je dichter der Betrieb einer Bahn, je größer die Zugzahl, je höher die Zuggeschwindigkeit, desto mehr Widerstandsfähigkeit muß der Oberbau besitzen, denn desto größer ist seine Beanspruchung und desto schwieriger und kostspieliger seine Unterhaltung. Es wird daher in solchem Falle technisch und wirtschaftlich richtig sein, selbst unter hohem Kostenaufwand einen möglichst leistungsfähigen Oberbau herzustellen, um eine lange Dauer und niedrige Unterhaltungskosten zu erzielen. Schwacher Verkehr, wenige, leichte, langsam fahrende Züge dagegen lassen es technisch und wirtschaftlich gerechtfertigt erscheinen, mit niedrigen Anlage- und dafür verhältnismäßig höheren Unterhaltungskosten zu arbeiten, also mit einem weniger vollkommenen, aber darum billigeren Oberbau.

Die klimatischen Verhältnisse kommen besonders insofern in Betracht, als in Ländern, in denen alle Holzarten raschem Verderb unterliegen, also besonders in den Gegenden der heißen Zone, die Verwendung von Holz zum Oberbau entweder überhaupt ausgeschlossen ist, oder doch wesentlich eingeschränkt werden muß. Auch ist zu beachten, daß die Verwendung von Holz zu solchen Befestigungsteilen, die dauernd eine möglichst gleichmäßige Stärke haben müssen, überall dort nicht angebracht erscheint, wo die Witterungsverhältnisse große Schwankungen im Feuchtigkeitsgrade der Luft mit sich bringen.

Nach den bisherigen Erfahrungen sind als für Haupt- und Nebenbahnen ungeeignet zunächst auszuscheiden der Oberbau mit Steinunterlagen und mit Langschwellen. Steinunterlagen sollen auch nach den T. V. § 12 nur bei Nebengleisen für besondere Zwecke und nach den Grundz. f. L. § 12 nur ausnahmsweise verwendet werden. Tatsächlich sind sie in Hauptgleisen, ebenso wie Holzlangschwellen, wegen der schlechten damit gemachten Erfahrungen, ganz aufgegeben, und auch die Eisenlangschwelle hat die auf sie gesetzten Hoffnungen und Erwartungen nicht erfüllt und ist in Hauptgleisen nur noch ausnahmsweise anzutreffen. Der Technische Ausschuß des V. d. E. V. spricht sich schon 1893[24]) dahin aus, »daß im allgemeinen der Langschwellenoberbau dem Querschwellenoberbau nachsteht. Insbesondere scheint nach dem übereinstimmenden Urteile vieler Bahnverwaltungen der eiserne Langschwellenoberbau nach den Bauarten Hilf und nach damit verwandten Bauarten[25]) sich für Hauptbahnen nicht bewährt zu haben, da er zumeist aus den von Schnellzügen befahrenen Hauptgleisen entfernt wurde, oder noch beseitigt wird«. Und diese Anschauung, der auch die T. V. in § 14[2] mit den Worten Ausdruck geben: »die Anwendung von Querschwellen ist der von Langschwellen unbedingt vorzuziehen«, hat inzwischen immer mehr Anhänger gefunden. Allerdings hat Hohenegger noch in neuester Zeit[26]) nachzuweisen versucht, daß sein Langschwellenoberbau (s. S. 77) dem Querschwellengleis namentlich in der Frage der Unterhaltungskosten überlegen sei. Aber die von ihm angeführten günstigen Ergebnisse auf verhältnismäßig kurzen Strecken, die noch dazu unter dem maßgebenden Einfluß des Erfinders stehen, erscheinen gegenüber den an so vielen anderen Orten und auf sehr langen Strecken gemachten ungünstigen Erfahrungen kaum durchschlagend. Der eiserne Langschwellenoberbau wird daher im allgemeinen nur noch für Lokalbahnen in Frage kommen.

Es verbleiben also als vorzugsweise in Betracht zu ziehende Oberbauarten der Querschwellenoberbau mit Stuhl- und mit Breitfußschienen bei Verwendung hölzerner und eiserner Schwellen und der Oberbau mit Einzelunterlagen, die fast ausschließlich aus Eisen hergestellt werden.

Die letztgenannte Anordnung ist fast nur auf Länder der heißen Zone und anschließende Gegenden beschränkt. Hier ist diese Bauweise auch durchaus angemessen, weil einerseits Schienenunterlagen aus Holz wegen der Angriffe, denen dieses Material durch Tiere und rasche Fäulnis ausgesetzt ist, unzweckmäßig sein würden, während anderseits oft eine so schlechte Bettung — nur Sand oder Erde — zu Gebote steht, daß eine möglichst breite Lagerfläche der Schienenunterlagen notwendig wird. Eine solche ist aber gerade bei Einzelunterlagen ohne übermäßigen Kostenaufwand leicht zu erreichen. Da außerdem die Eisenbahnen in solchen Ländern in der Regel keinen starken Betrieb und hochentwickelten Schnellverkehr aufweisen, so sind die mit den Einzelunterlagen verknüpften Schwierigkeiten in der sicheren Erhaltung einer richtigen Gleislage nach Höhe, Richtung und Spurweite weniger drückend, wie auf den verkehrsreichen Eisenbahnen Europas und Nordamerikas.

Für die Eisenbahnen dieser letztgenannten Gebiete ist der Querschwellenoberbau in immer steigendem Maße der fast allein herrschende geworden, weil er

[24]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänzungs-Bd., 1893.

[25]) Hierher gehören alle Langschwellensysteme, die bisher in größerer Ausdehnung verlegt worden waren (s. § 4.b[2], S. 74).

[26]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1905, S. 94.

den Ansprüchen eines dichten Betriebes am besten zu genügen und sich besonders durch Vermehrung oder Verminderung der auf eine gewisse Gleislänge benutzten Schwellenzahl den wechselnden Bedürfnissen verschiedener Bahnstrecken am besten anzupassen vermag. Dabei überwiegt zurzeit die Holzschwelle gegenüber der Eisenschwelle noch in hervorragendem Maße. Eiserne Querschwellen sind in größerer Ausdehnung bisher überhaupt fast nur in Deutschland und der Schweiz zur Verwendung gekommen und nehmen hier stark zu, da die Bahnverwaltungen, die ausgedehnte und langjährige Versuche mit ihnen gemacht haben, sie den Holzschwellen für gleichwertig halten[27]).

Hinsichtlich der Schienenform — Stuhlschienen und Breitfußschienen — sind die Verwendungsgebiete ziemlich scharf nach Ländern und Landschaftsgrenzen geschieden ohne ersichtlichen zwingenden Grund für diese Scheidung. Die britischen Inseln, sowie das südwestliche Frankreich sind dem Stuhlschienenoberbau stets treu geblieben, während in den andern hier in Frage kommenden Gebieten die Breitfußschiene die Stuhlschiene verdrängte. Gewiß hat, besonders in England, hierbei die Neigung am Hergebrachten festzuhalten mitgespielt, aber allein maßgebend kann dieser Grund nicht gewesen sein; man wird vielmehr annehmen müssen, daß sich der Stuhlschienenoberbau, mit seiner großen Masse, gegenüber dem ursprünglich sehr leichten Breitfußschienenoberbau bei dem jenseits des Kanals schon in früher Zeit recht starken Verkehre tatsächlich besser bewährte. Auch spielten in dem reichen Lande die durch die Breitfußschiene zu erreichenden niedrigeren Anlagekosten keine so große Rolle, wie in ärmeren Ländern, während umgekehrt gerade diese Ersparnis an Anlagekosten unzweifelhaft bei den meisten Bahnen des europäischen Festlandes und Nordamerikas in erster Linie bestimmend war für die Annahme der Breitfußschiene. Die weitere besonders in Deutschland vorgenommene wissenschaftliche und praktische Erprobung ergab dann, daß der Oberbau mit Breitfußschienen sowohl hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, wie der Betriebssicherheit dem Stuhlschienenoberbau nicht nachsteht. Es lag daher kein Grund für die Bahnen, die jenen angenommen hatten, vor, zu diesem zurückzukehren. Ganz besonders nicht für Deutschland, seit hier in steigendem Umfange zur Verwendung eiserner Querschwellen übergegangen wurde, deren Vorzüge gerade in Verbindung mit der Breitfußschiene besonders zutage treten.

Nach der Statistik des V. d. E. V. waren von 1880—1902 die verschiedenen Oberbausysteme nach Kilometern auf den Vereinsbahnen wie nachstehende Tabelle zeigt verteilt.

Hiernach erscheint in Europa allerdings Deutschland als das Land, das hinsichtlich der Erfahrungen über die Verwendung von Breitfußschienen auf eisernen Querschwellen in erster Linie in Betracht kommt, weil sich diese Erfahrungen auf Versuche stützen, die wirklich im Großen angestellt sind. Nächstdem kommt vor allem die Schweiz in Frage, deren Bahnen auf Grund der günstigen Erfahrungen gleichfalls mit starken Schritten zum Oberbau mit eisernen Querschwellen übergehen. Schon im Jahre 1893 betrugen auf den fünf Hauptbahnen die Gleise mit eisernem Oberbau 40 v. H. der Länge der durchgehenden Gleise und sie haben hier inzwischen mehr als 52 v. H. und auf sämtlichen Bahnen schon bald 50 v. H. erreicht.

---

[27]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänzungs-Bd., 1893; Deutsche Bauzeitung, 1894, S. 158.

Jahr	Stuhlschienen auf Holzschwellen			Breitfußschienen auf Holzschwellen			Breitfußschienen auf Eisen- Langschwellen			Breitfußschienen auf Eisen- Querschwellen			Sonstiger eiserner Oberbau			Steinwürfel-oberbau		
	Deutschland	Österr.-Ungarn	ganzes Vereinsgebiet	Deutschland	Österr.-Ungarn	ganzes Vereinsgebiet	Deutschland	Österr.-Ungarn	ganzes Vereinsgebiet	Deutschland	Österr.-Ungarn	ganzes Vereinsgebiet	Deutschland	Österr.-Ungarn	ganzes Vereinsgebiet	Deutschland	Österr.-Ungarn	ganzes Vereinsgebiet
	Länge aller Gleise in km																	
1880	1354	22	1502	50 903	24 525	81 514	3194	26	3239	1 336	4	1 541	80	—	80	428		428
1885	966	15	1069	50 251	28 890	86 636	5285	87	5413	6 405	57	6 860	60	—	67	452		452
1890	766	8	1006	52 908	33 944	95 564	5724	98	5855	11 881	188	12 516	96	4	231	429	—	429
1895	588	4	653	57 846	38 649	106 159	4751	106	4868	17 228	257	17 840	123	5	259	407	1	408
1897	546	4	607	60 245	41 413	111 696	4226	113	4350	19 084	304	19 762	150	3	284	440	1	441
	Länge der durchgehenden Hauptgleise in km																	
1898	213	13	226	44 888	35 812	88 133	2913	95	3018	16 003	152	16 509	127	2	130	131	—	131
1899	146	19	165	46 000	37 104	90 723	2584	95	2689	16 538	152	16 968	126	2	128	98	—	98
1900	128	28	155	47 105	37 655	92 437	2348	93	2450	17 078	152	17 481	117	1	118	77	—	77
1901	114	40	153	48 334	38 354	94 455	2075	94	2178	17 479	148	17 852	103	—	104	46	—	46
1902	29	—	29	49 357	37 655	96 082	1769	99	1877	17 948	152	18 295	102	—	103	42	—	42

Bei Verwendung der Stuhlschienen ist man bisher dagegen in der Benutzung eiserner Querschwellen nicht über kleine Versuche hinausgekommen, weil Schiene und Stuhl ganz besonders zur Befestigung auf Holz durchgebildet sind, und sich daher zur Verbindung mit eisernen Schwellen und zur Ausnutzung der Vorteile dieser nur schlecht eignen.

Über die Vorteile und Nachteile der verschiedenen Oberbauarten in konstruktiver Hinsicht wird unter VII. noch eingehend die Rede sein.

III. Die Schiene.

§ 10. Material der Schiene; Ansprüche an die Güte des Materials. Dauer der Schienen. — a. Arten und Unterschiede des Materials. — Wie schon unter I. bemerkt wurde, stellte man die Schienen ursprünglich aus Gußeißen und seit 1820 aus gewalztem Schmiedeeisen (Schweißeisen) dar, während zur Zeit fast ausschließlich Flußstahl zur Verwendung kommt.

Sowohl Eisen wie Stahl werden aus dem durch fremde Beimengungen verunreinigten Roheisen durch Frischen gewonnen. Je nachdem ob das Metall nur in teigartigen oder in flüssigen Zustand gelangt, unterscheidet man Schweißeisen — nicht merklich härtbar — und Schweißstahl — merklich härtbar — einerseits, und Flußeisen und Flußstahl anderseits, wobei der Unterschied zwischen Eisen und Stahl wieder in dem Grade der Härtbarkeit liegt. In England und Frankreich wird bei Flußmetall zwischen Eisen und Stahl in der Regel nicht unterschieden, sondern alles als Flußstahl bezeichnet, mit der Unterscheidung zwischen weichem und hartem Stahl. In früherer Zeit war an Stelle der Benennung Flußstahl vielfach die Bezeichnung Gußstahl üblich, die gegenwärtig höchstens noch dem bei der Massenschienenerzeugung nicht in Betracht kommenden Tiegelstahl zukommt.

Das Gefüge des beim Frischen gewonnenen Metalls — Eisen und Stahl — ist ursprünglich körnig-krystallinisch; die Korngröße hängt von der chemischen Zusammensetzung und von der Art der Darstellung ab. Wird kohlenstoffarmes Metall mechanisch unter Druck bearbeitet — durch Hämmern, Schmieden, Walzen — so wird das Gefüge sehnig, indem sich die Krystallkörnchen lang ausstrecken und dicht aneinander legen. Die Sehne wird um so feiner, je vollkommener und

weitergehend die mechanische Bearbeitung ist. Schweiß- und Flußeisen zeigen daher sehnigen Bruch. Dagegen behalten kohlenstoffreiche Eisenverbindungen auch bei der mechanischen Bearbeitung ihr körniges Gefüge bei; dieses wird aber gleichfalls um so feiner, je weiter die mechanische Bearbeitung — durch Auswalzen usw. — fortgesetzt wird. Schweiß- und Flußstahl haben also körnigen Bruch. Eine Übergangsstufe zwischen Eisen und Stahl ist sogenanntes Feinkorneisen, das gleichfalls körnigen Bruch besitzt und früher in der Erzeugung von Schienen eine große Rolle spielte (siehe unten).

b. Schweißeißen und Schweißstahl. Bis zu Anfang der sechziger Jahre wurden die Schienen nur aus Schweißeisen hergestellt. Das Frischen erfolgt hierbei im Puddelofen, d. i. ein Flammofen, in dem etwa 250 bis 300 kg Roheisen eingeschmolzen und dann durch Umrühren mit eisernen Haken und durch Kneten mit eisernen Stangen — Puddeln — zu mehreren teigartigen Klumpen — Luppen — verarbeitet werden. Je nach dem Grade der Durcharbeitung und Entkohlung erhält man Schweißeisen, Feinkorneisen und Schweißstahl. Die Luppen enthalten noch Schlacken und werden daher unter dem Hammer oder einem Quetschwerk ausgeschmiedet, wobei ein Teil der Schlacken herausgequetscht wird; der so ausgeschmiedete Stab wird in derselben Hitze, d. h. ohne nochmals erwärmt zu werden, zu flachen Rohstäben ausgewalzt.

Aus solchen Rohstäben werden, unter etwaigem Zusatze von alten Eisenstäben, Eisenschienen usw., Pakete von der Zusammensetzung und Eisenmenge gebildet, die zur Herstellung einer Schiene nötig ist. Diese Pakete werden dann in Schweißöfen zu teigartigem Zustand erwärmt, dann unter dem Dampfhammer ausgeschmiedet — geschweißt —, wobei der Rest an Schlacken herausspritzt, und in mehreren Gängen fertig gewalzt. Das Schweißen mittels des Dampfhammers unterbleibt, wenn die Walzen einen solchen Druck auszuüben vermögen, daß hierbei die Schweißarbeit mit verrichtet werden kann, wie dies bei neueren Walzwerken allgemein üblich ist.

Der Schienenkopf soll möglichst hart und dicht, der Schienenfuß möglichst zäh und sehnig sein. Bei der Bildung der Pakete wurde in der Auswahl der Eisenarten hierauf nach Möglichkeit Rücksicht genommen, indem man den Kopf womöglich aus Feinkorneisen, ja seit Anfang der sechziger Jahre sogar aus Stahl — Stahlkopfschienen — bildete. Die Schweißhitze des kohlenstoffarmen und des daran reichen Metalls ist aber so verschieden, daß hierdurch die Schwierigkeit der Herstellung einer so festen und sicheren Schweißung, wie sie für die starke Beanspruchung der Schienen im Eisenbahnbetriebe notwendig ist, gesteigert wurde. Die Gefahr einer Zerstörung der Schienen mit Köpfen aus Feinkorneisen und Stahl in den Schweißnähten mußte daher wachsen und die Erfahrung hat diese Befürchtung auch bestätigt.

Um dauerhaftere Schienen zu erhalten, ging man daher dazu über, sie ganz aus Puddel-(Schweiß-)Stahl anzufertigen. Aber wenn solche Schienen auch vermöge der wesentlich größeren Festigkeit und Härte ihres Kopfes gegenüber den Schienen aus Schweißeisen als ein großer Fortschritt betrachtet werden mußten, so haftete ihnen doch der Mangel der Herstellung aus einzelnen getrennten Stücken, die erst durch das Schweißverfahren in Zusammenhang gebracht wurden, ebenfalls an.

Sobald es daher gelang, ein Flußmetall von ausreichender Güte zu mäßigem Preise herzustellen, wurde die Schienenherstellung aus Schweißmetall mehr und mehr verlassen. Dies geschah seit Ende der sechziger und Anfang der siebziger Jahre in stets steigendem Maße. Die Techniker-Versammlung des V. d. E. V., die 1868 in München tagte, empfahl schon Übergang zu Flußstahlschienen und zehn Jahre später wurde in Stuttgart festgestellt, daß schon 32 Verwaltungen mit Flußstahlschienen gute Erfahrungen gemacht hatten[28]), und daß nach keiner Richtung hin Bedenken gegen deren allgemeine Einführung zu hegen waren.

c. Flußeisen und Flußstahl wird, soweit die Schienenerzeugung in Frage kommt, vorzugsweise im Bessemer- (sauren), Martin-Siemens- und Thomas- (basischen) Verfahren hergestellt. Das erste und letztgenannte Verfahren unterscheiden sich vorzugsweise durch die zur Verwendung kommenden Roheisensorten und die Art des Ofenfutters. Sie haben im äußeren Verlaufe viel übereinstimmendes.

Beim Bessemer-Verfahren wird möglichst phosphorarmes, beim Thomas-Verfahren dagegen phosphorreiches Roheisen verarbeitet. Bei beiden wird das unmittelbar aus dem Hochofen kommende flüssige, oder das vorher in Flammöfen geschmolzene Roheisen in eine 3 bis 10 t

[28]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. VI. Ergänzungs-Bd., S. 3—8.

fassende Birne — Konverter — eingelassen und hier bei starker Windzufuhr auf den gewünschten Grad des zu erzielenden Erzeugnisses gefrischt — erblasen —, wobei im Thomas-Verfahren während des Verlaufes Roheisensorten von bestimmter Zusammensetzung, besonders Ferromangan (Roheisen mit 20 bis 80 v. H. Mangangehalt) nach Bedarf zugeschlagen werden. Die eiserne Birne ist mit feuerfestem Futter ausgekleidet, das beim Bessemer-Verfahren eine saure, beim Thomas-Verfahren eine basische Zusammensetzung hat. Nach Ablauf des Vorganges, der etwa 10 bis 20 Minuten dauert, wird das flüssige Metall — die Charge — in die Gußpfanne abgelassen und von hier in die einzelnen Gußformen abgegossen. Beim Ablassen in die Gußpfanne wird nach Bedarf beim Thomas-Verfahren noch ein Zusatz von Spiegeleisen mit etwa 10 v. H. Mangangehalt gemacht.

Im Gegensatze zu diesem raschen Verlaufe dauert der Vorgang beim Martin-Siemens-Verfahren mehrere Stunden — mindestens 5 bis 7 —; es ist daher möglich, während desselben die chemischen Vorgänge durch Probeentnahmen zu überwachen und ein Endergebnis von ganz bestimmter Eigenschaft zu erzielen, was beim Bessemer- und Thomas-Verfahren schwieriger ist. Beim Martin-Siemens-Verfahren werden Roheisen und Abfalleisen, dessen Beschaffenheit ziemlich genau bekannt ist, in Flammöfen bei sehr hoher, die Schmelzwärme des Schmiedeeisens übersteigender Hitze geschmolzen und unter Durchrühren des Bades gefrischt. Je nach dem Phosphorgehalt des verwendeten Eisens und der Beschaffenheit des Futters wird ein saures und basisches Verfahren unterschieden. Auch beim Martin-Siemens-Verfahren werden nach Bedarf während des Verlaufes Zusätze bestimmter Roheisenarten, besonders von Ferromangan gemacht. Das fertige Metallbad wird in Gußpfannen abgelassen und in Gußformen gegossen.

Sobald die nach den genannten drei Verfahren erzeugten Gußblöcke soweit erstarrt sind, daß man sie aus den Formen herausheben kann, werden sie in rotglühendem Zustand in Heizgruben gebracht und dort so lange gelassen, bis sie innen und außen eine gleichmäßige Wärme angenommen haben. Bei lebhaftem Betrieb ist ein besonderes Heizen dieser Gruben entbehrlich, weil die frisch eingesetzten Blöcke die Grubenwände in ausreichendem Maße erhitzen.

Aus den Heizgruben kommen die Gußblöcke in die Walzen und werden hier womöglich in einer Hitze in 15 Durchgängen — Stichen — in 2- bis 3-facher Schienenlänge fertig ausgewalzt, wobei die fertige Schiene noch hellrotglühend aus der letzten Walze kommen soll. Das früher übliche Aushämmern der Gußblöcke, behufs Beseitigung etwaiger Blasen, ist verlassen; man sucht dafür blasenfreie Gußblöcke herzustellen. Auch ist man mehr und mehr zur Überzeugung gekommen, daß ein recht rasches Auswalzen für die Güte der Schienen von Vorteil ist und hat daher insbesondere das Walzen in zwei Hitzen, — mit einem Vorwalzen bei 9 bis 12 Durchgängen, darauf folgendem Wiedererwärmen und dem Fertigwalzen in 11 bis 13 Durchgängen — das früher meistens üblich war, mehr und mehr durch das Auswalzen in einer Hitze ersetzt. Hierzu ist es nötig, daß die Walzen einen besonders kräftigen Druck ausüben können, um mit weniger Durchgängen auszukommen und das für die Güte der Schienen nachteilige wiederholte Erkalten und Erwärmen zu vermeiden, sowie daß die Walzen entweder eine Umkehrung ihrer Drehbewegung zulassen oder in drei Lagen übereinander stehen, um das zu walzende Stück nicht nur beim Hingang, sondern auch beim Rückgang durch die Walzen führen zu können.

d. Die Anforderungen, die in den verschiedenen Ländern an die Güte des Schienenstahles gestellt werden, weichen ziemlich stark voneinander ab und die Ansichten hierüber gehen in den Kreisen der Sachverständigen — Eisenbahn- und Hüttentechniker — noch weit auseinander. Darüber scheint indes Übereinstimmung zu herrschen, daß die chemische Zusammensetzung allein nicht maßgebend ist für die Bewährung des Stahles in der Schiene und daß daher, wie schon erwähnt, Vorschriften über eine bestimmte chemische Zusammensetzung nicht

angebracht sind. Ebenso steht fest, daß reines Material geringere Härte (Festigkeit) aber gleichmäßigeres Verhalten, sowie größere Zähigkeit zeigt als Stahl mit verhältnismäßig vielen fremden Beimengungen. Auf dem internationalen Eisenbahnkongreß von 1889 zu Paris wurde zwar harter Stahl auch hinsichtlich der gleichmäßigen Abnutzung und der Bruchgefahr dem weichen Stahl als überlegen bezeichnet[29]), in derselben Erklärung wurde aber im Gegensatze hierzu dem weichen Stahl für Brems- und Tunnelstrecken, d. h. also dort, wo die Schienen stark beansprucht werden, auf Bremststrecken mechanisch, in Tunneln durch Rosten, der Vorzug gegeben. Ebenso wird nach Erhebungen, die bis 1898 reichen, vor der Verwendung zu harten Stahles wegen der Gefahr von Schienenbrüchen gewarnt, und auf dem Kongreß von 1900 wurde zur Sache erklärt, daß es nicht möglich erscheine, die Art des Metalls, die man für die Herstellung der Schienen empfehlen sollte, z. Z. genau zu bezeichnen[30]). Auch nach den Erfahrungen auf den Reichseisenbahnen, über die Schübler berichtet und die sich auf die Zeit von 1884—1896 erstrecken, ist ein erheblicher Unterschied in der Abnutzung harter und weicher Schienen — Bessemer-Stahl mit durchschnittlich 67, 59 und 52 kg/qmm Festigkeit für harten, mittleren und weichen Stahl — nicht nachweisbar[31]), und auch die Erfahrungen auf der Niederländischen Staatsbahn, über die Post berichtet[32]), bestätigen dieses Ergebnis. Hier zeigte sich insbesondere, daß die Abnutzung des harten Stahles, die während der ersten 5 Jahre allerdings wesentlich geringer war als die des weichen Stahles, während der weiteren 10 Jahre auf 10000 Züge bezogen, um 5—14 v. H. größer wurde als beim weichen Stahl. Die Zugfestigkeit des letzteren war 50—51 kg/qmm, die des harten Stahles 65 und 74,5 kg/qmm. Ferner ist als feststehend zu betrachten, daß die Querschnittsform der Schiene auf die gleichmäßige oder ungleichmäßige Erkaltung ihrer einzelnen Teile beim Walzen und dadurch auf die Güte des Stahles im fertigen Zustand einen großen Einfluß ausübt[33]) und daß es sich namentlich empfiehlt, das Fertigwalzen bei nicht zu hohem Wärmegrad auszuführen. Je kräftiger die Schienen sind, um so sorgfältiger muß gewalzt werden[34]), und es wäre wohl am Platze, die Herstellung der Schienen noch sorgfältiger zu überwachen[35]) und den Schienenwalzwerken vorzuschreiben, namentlich für eine gleichmäßige Abkühlung der ganzen Schiene Sorge zu tragen, um ungleichmäßige Spannungen nach Möglichkeit auszuschließen.

Da Stuhlschienen eine für gleichmäßige Abkühlung geeignetere Form haben als Breitfußschienen, so wird vielfach bei ersteren ein härterer Stahl, der gegen ungleichmäßige Abkühlung empfindlicher ist, als weicheres Metall, für eher zulässig gehalten, als bei letzteren; bei den französischen Bahnen wird auch tatsächlich hier-

---

[29]) Verhandlungen des intern. Eisenbahnkongresses, 1889; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 135 bis 137.

[30]) Bulletin de la commission internationale du congrès des chemins de fer, 1901, Märzheft.

[31]) Zentralbl. d. Bauverwaltung 1898, S. 213.

[32]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 268.

[33]) Ebenda 1880, S. 124 u. 258; W. Ast, Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material, Bericht über die Frage V A des internat. Eisenbahnkongresses zu Petersburg, Wien 1892, S. 135 bis 137.

[34]) Bericht über Frage 1 der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901.

[35]) Bericht über die Fortschritte der Technik des Eisenbahnwesens in den letzten Jahren — Schienenmaterial —, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 13. Ergänzungsband, 1903. — Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses zu Washington, 1905, Revue générale des chemins de fer, 1905, 2. Halbj., S. 29.

nach verfahren[36]). Es läßt sich aber nicht allgemein feststellen, daß bei Stuhlschienen überall härterer Stahl verwendet wird, als bei Breitfußschienen. In England, wo allgemein Stuhlschienenbau herrscht, war bis 1900 eine Festigkeit von 63 bis 78,8 kg, meistens 70,9 kg/qmm, üblich, ein von den Bahnen eingesetzter Ausschuß zur Festlegung von Normalquerschnitten und Lieferungsbedingungen für Schienen, schlägt aber eine Zerreißfestigkeit von nur 59,9 bis 70,9 kg/qmm vor[37]), während auf den französischen Bahnen auch bei Breitfußschienen eine Mindestfestigkeit von 70 kg/qmm verlangt wird[38]).

Übrigens ist auch zu beachten, daß im allgemeinen Stahl von hoher Festigkeit eine geringere Zähigkeit besitzt, als weicherer Stahl und daß von vielen Sachkundigen der durch die bei den Zerreißversuchen beobachteten Ausdehnung oder Einschnürung des Stabes in Hundertteilen gemessenen Zähigkeit ein mindestens gleich großer Wert beigelegt wird, wie der Festigkeit, weil die Sicherheit einer Schiene gegen Bruch mehr von der Zähigkeit, als von der Festigkeit des Stahles abhängen soll[39]). — So verlangen die englischen Bahnen bei den vorgenannten Festigkeiten mindestens 15 v. H. Dehnung[40]), so daß die Summe beider Zahlen, die vielfach als der eigentliche Wertmesser betrachtet wird, in England bis zu 93,8 betragen würde. Es unterliegt übrigens keinem Zweifel, daß man selbst bei Flußstahl, dessen Festigkeit (Härte) nur 50 kg/qmm beträgt, die Zähigkeit leicht so weit steigern kann, daß die Summe beider Zahlen gleichfalls 85 bis 90 ausmacht.

Demgemäß hat man auch in Deutschland und Österreich-Ungarn, sowie bei den sonstigen Bahnen des V. d. E. V., wo im allgemeinen der Zähigkeit ein größerer Wert beigelegt wird, als besonders in Frankreich, sich lange Zeit zu deren Gunsten mit einer Festigkeit bis zu 50 kg/qmm herab begnügt, wobei auch der Gesichtspunkt in Betracht kam, daß es bei dem für die deutsche Eisenindustrie besonders wichtigen Thomasverfahren früher schwierig war, eine höhere Festigkeit zu erzielen. Nachdem es aber gelungen ist, durch Nachkohlung — Zusatz von Ferromangan und Spiegeleisen nach teilweiser Beseitigung des Phosphors — auch im Thomasverfahren eine große Härte zu erzielen und da doch mancherlei Mängel im Betriebe beobachtet worden sind, die sich als Folgen der geringen Härte der Schienen kennzeichneten, wird auch hier mit den Mindestanforderungen an die Festigkeit höher gegangen. So haben die preußischen Staatsbahnen diese von 50 auf 60 erhöht; ebenso die meisten anderen deutschen und österreichisch-ungarischen Bahnen und einige gehen bis zu 65 kg/qmm Festigkeit[41]), z. B. die Kaiser Ferd.-Nordbahn, die Ungarischen Staatsbahnen bei schweren Schienen für Hauptbahnen und die holländische Eisenbahn-Gesellschaft. Dabei haben die Bahnen vielfach, so z. B. die preußischen Staatsbahnen, die Forderung fallen lassen, daß Festigkeit und Einschnürungsmaß zusammen mindestens 85 betragen solle, weil man zur Überzeugung gekommen ist, daß die gewünschte Zähigkeit bei der heutigen Herstellungsart des Flußstahles tatsächlich überall erreicht

[36]) Staně, Theorie und Praxis des Eisenbahngleises, Wien 1892, S. 83; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 135 bis 137.

[37]) Glasers Annalen, 1905, 56. Bd., S. 135, Bericht von Frahm.

[38]) Bericht über Frage 1 der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901.

[39]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 124.

[40]) Glasers Annalen, 1905, 56. Bd., S. 135, Bericht von Frahm.

[41]) Bericht über die Fortschritte der Technik des Eisenbahnwesens in den letzten Jahren — Schienenmaterial —, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 13. Ergänzungsband, 1903.

wird und hinreichend sicher durch geeignete Biege- und Schlagversuche geprüft werden kann. (Über die Art der Ausführung solcher Versuche siehe unten.)

Tatsächlich sind in westdeutschen Hüttenwerken Flußstahlsorten von 70 kg Festigkeit bei 43,6 v. H. Einschnürung hergestellt worden, trotz eines Phosphorgehaltes von 0,15[42]), also Stahlsorten von großer Härte und Zähigkeit. Hiernach ist anzunehmen, daß die Schädlichkeit des Phosphorgehaltes durch die übrige Zusammensetzung des Eisens abgeschwächt werden kann, was auch, außer von deutschen Hüttenleuten, von dem Franzosen Musy, Oberingenieur des Staatsbergwerke, und von Professor Tetmajer in Zürich bestätigt wird[43]). Immerhin ist hervorzuheben, daß es nicht zweckmäßig war, mit der Festigkeit des Schienenstahls bis auf 50 kg/qmm herabzugehen.

Da die Festigkeit des Stahls auch in enger Beziehung zu seiner chemischen Zusammensetzung steht, werden auch über diese vielfach Vorschriften gegeben. So fordert man vielfach einen Kohlenstoffgehalt von mindestens 0,3 bis 0,4 v. H. und beschränkt den zulässigen Phosphorgehalt auf höchstens 0,1 v. H. In England ist die übliche Zusammensetzung: *C* 0,35 bis 0,50 v. H., *Si* 0,06 bis 0,15 v. H., *S* 0,06 bis 0,08 v. H., *P* 0,06 bis 0,08 v. H., *Mn* 0,8 bis 0,10 v. H. Auch mikroskopische Untersuchungen werden als nützlich bezeichnet, aber über alle diese Fragen gehen die Ansichten noch auseinander[44]).

Bei der Bemessung der Härte des Schienenstahles wird von manchen Fachleuten auch die Härte des zu den Radreifen benutzten Stahles in Betracht gezogen, weil man annimmt, daß beide Stoffe möglichst dieselbe Härte besitzen sollen, um einem vorzeitigen Verschleiß des einen oder anderen Teils vorzubeugen. Nach eingehenden Versuchen von Anitschkow und Werschowsky soll die günstigste Festigkeit für Radreifen 66 bis 73 kg/qmm mit 15 bis 17 v. H. Dehnung sein[45]), so daß demgemäß auch für Schienen etwa 70 kg/qmm mit der genannten Dehnung zu fordern wäre, wenn für Radreifen eine so hohe Festigkeit verlangt wird.

e. Es muß noch erörtert werden, auf welche Weise das Maß der Festigkeit bestimmt wird. Geschieht dies, wie im Gebiet des V. d. E. V. üblich, durch Zerreißproben, also durch unmittelbare Feststellung der Zerreißfestigkeit, so erhält man erheblich niedrigere Werte, als bei Berechnung der Biegungsfestigkeit aus Biegeversuchen. Schienen mit einer Zerreißfestigkeit von 50 kg/qmm ertragen eine äußerste Spannung von 60 kg/qmm bei Biegeversuchen unter ruhender Last ohne zu brechen, ihre Biegefestigkeit liegt also noch höher. Bei der Art der Beanspruchung der Schienen erscheint es berechtigt, mit der Biegungsfestigkeit und der aus wiederholten Biegeversuchen abgeleiteten erhöhten Elastizitätsgrenze zu rechnen[46]). Wenn nun bei der Prüfung der Schienen Zerreißversuche überhaupt nicht, oder nur ausnahmsweise vorgenommen werden, wie dies z. B. in Frankreich gebräuchlich ist, so ist es nicht auf-

[42]) Encyklopädie des gesamten Eisenbahnw. Wien 1891, S. 2881.

[43]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 86. — Tetmajer, Über das Verhalten der Thomasschienen, Zürich 1894.

[44]) Bericht über Frage 1 der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901; Glasers Annalen, 1905, 56. Bd., S. 135; Revue générale des chemins de fer, 1905, 2. Halbj., S. 29; Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses in Washington; Bulletin du congrès intern. des chemins de fer, 1905, S. 791, Bericht von Dudley.

[45]) W. Ast, Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material, Bericht über die Frage V A des internationalen Eisenbahnkongresses zu Petersburg. St. Petersburg 1892, S. 139.

[46]) Ebenda S. 127 bis 129.

fallend, wenn die dort als gefordert bezeichnete Festigkeit, die bis zu 80 kg/qmm steigt, aber auf andere Weise ermittelt sein muß, über die im V. d. E. V. als ausreichend erachtete, aber ausschließlich durch Zerreißversuche ermittelte Festigkeit von 50 bis 65 kg/qmm hinausgeht und auch die in anderen Ländern üblichen Festigkeitszahlen z. T. übertrifft.

Bei den Bahnen des V. d. E. V. wird außer der Zerreißprobe, bei der in der Regel auch Dehnung und Einschnürung festgestellt werden, auch die Prüfung durch Biege- und Schlagversuche ausgeführt und besonders in dieser die sichere Gewähr für die Brauchbarkeit der Schienen erblickt. Auf demselben Standpunkt stehen auch die Eisenbahnen in England, Belgien, Skandinavien, Spanien, der Schweiz, während in Frankreich vorzugsweise besondere Härteproben bedungen sind[47]). In der Schweiz gilt seit 1891 nach Tetmajers Vorschlag nicht die Summe sondern das Produkt der bei den Zerreißversuchen ermittelten Zugfestigkeit und Dehnung als Wertmesser; es soll bei 5,5 t/qcm Zugfestigkeit mindestens 90 betragen.

Bei den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen bestimmen die neuesten Lieferungsbedingungen bezüglich des Materials das Folgende: Zerreißfestigkeit: mindestens 60 kg/qmm des ursprünglichen Querschnittes, zugleich ist Dehnung und Einschnürung zu ermitteln. Schlag- und Biegeproben: Schienenstücke von 1,3 m Länge sollen bei 1 m Stützweite unter den auf die Kopfmitte ausgeführten Schlägen eines Fallbärs von 600 bis 1000 kg Gewicht eine Durchbiegung von mindestens 100 mm ertragen können ohne zu brechen oder sonstige Mängel zu zeigen. Die Schläge sollen mit 1500 kgm Arbeitswert ausgeführt werden, bis die geforderte Durchbiegung erreicht ist, und sollen bei etwa $^1/_3$ der Probestücke bis zum Bruche fortgesetzt werden. Die Auflager der Schienen sollen so eingerichtet sein, daß die Schienen nicht umkippen oder herausspringen können und mit einem Halbmesser von 50 mm halbzylindrisch geformt sein. Mit den den Schlagversuchen ausgesetzten Stücken sind noch Zerreißversuche zu machen, indem aus dem Innern des Kopfes des am wenigsten verbogenen Schienenteils Versuchsstäbe kalt herausgearbeitet werden, deren Zerreißfestigkeit, Dehnung und Einschnürung festzustellen ist. Unter 200 fertig bearbeiteten Schienen kann je eine zu solchen Versuchen entnommen werden.

Die Zerreißversuche werden in der Regel mit Stäben ausgeführt, die genau die in Abb. 24 dargestellte Gestalt haben, insbesondere auf genau 25 mm Durchmesser auf 240 mm Länge abgedreht sind. Die Einschnürung wird an der Zerreißstelle, die Dehnung gegenüber der ursprünglichen Länge des ganzen Stabes bestimmt. Verschiedene Bahnen des V. d. E. V. fordern eine Dehnung von 10 bis 15 v. H., andere wieder eine Einschnürung von 20 v. H.

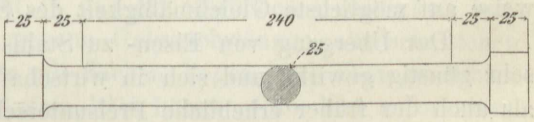


Abb. 24.

Neuerdings werden auf den Bahnen des V. d. E. V. z. T. auch Druckproben ausgeführt; so soll z. B. bei den preußischen Staatsbahnen eine Kugel von 19 mm Durchmesser bei einem Druck von 50 t eine Eindrückung von mindestens 3,5 und höchstens 5,5 mm hervorrufen.

Über umfassende Festigkeitsversuche, die im Jahre 1897 ausgeführt wurden, berichtet Professor Frank in Hannover[48]). Er fand sehr große Verschiedenheiten bei den Lieferungen desselben Werkes, ja selbst bei derselben Schiene, und auch oft ein auffallend verschiedenes Verhalten derselben Schiene gegenüber den Zerreißversuchen und den Schlagproben. Abgesehen von einem ungewöhnlich schlechten, also auszuscheidenden Ergebnisse, schwankte die Zerreißfestigkeit zwischen 50 und 67,4 kg/qmm, die Einschnürung zwischen 2 und 30 v. H., die Dehnung zwischen 2 und 25 v. H., und die Summe von Einschnürung und Festigkeit zwischen 53,4 und 94,6. Bei derselben Schiene kamen Unterschiede vor in der Festigkeit von 10,5 bis 16,8 kg/qmm, bei der Einschnürung von 6,6 bis 21,3 v. H. und bei der Dehnung von 15 v. H. Professor Frank sieht die Hauptursache dieser Ungleichheiten in der Art der Zurichtung der Schienen. Auch bei Erörterung der Frage des Schienenmaterials im Bericht des technischen Ausschusses des V. d. E. V.

[47]) Stanĕ, Theorie und Praxis des Eisenbahngleises, Wien 1892, S. 81.

[48]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 124.

über die Fortschritte der Technik des deutschen Eisenbahnwesens in den letzten Jahren[49]) wird die Ungleichmäßigkeit des Materials in derselben Schiene festgestellt und eine weitere Verbesserung des Materials empfohlen. Endlich hat der internationale Eisenbahnkongreß von 1900 den Wunsch ausgesprochen, daß es gelingen möge, einheitliche Vorschriften über die Bestimmung der Güte des Materials festzusetzen und der internationale Eisenbahnkongreß in Washington, 1905, hat die Methoden zur Bestimmung der Güte des Materials, namentlich auch zur Feststellung von Blasen im Stahl für verbesserungsbedürftig erklärt[50]).

f. Die Dauer der Schienen hängt naturgemäß von deren Abnutzung ab, und diese von der Güte des Schienenstahles. Im III. Kapitel dieses Bandes werden über diese Frage an der Hand der Statistik eingehende Mitteilungen gemacht werden; es sei hier daher nur auf einige Punkte hingewiesen. Nach den bisherigen Erfahrungen muß angenommen werden, daß die Mehrzahl der Schienen- und Gleis-Auswechselungen nicht infolge der regelmäßigen Abnutzung der Schienen notwendig wird, sondern infolge außergewöhnlicher Abnutzung und von Herstellungsmängeln, sowie infolge von Mängeln und starkem Verschleiß anderer Gleisteile, nicht ausschließlich der Schienen. Die Dauer der Schienen wird in den Gleisen der freien Strecke selten ausgenutzt; sobald das ganze Gleis oder auch nur einzelne Strecken — Bremsstrecken, scharfe Bogen usw. — oder endlich einzelne Konstruktionsteile einen gewissen Grad des Verschleißes zeigen, so daß eine gute Erhaltung umfassende allgemeine Nacharbeiten oder weitgehende Einzelauswechselungen erfordert, handelt man wirtschaftlich richtiger, das ganze Gleis zu erneuern und die alten Teile in Nebengleisen weiter auszunutzen.

Man ersieht hieraus, daß es unwirtschaftlich sein kann, dem einen Gleisteil, insbesondere der Schiene, durch Gestaltung und Material gegenüber den anderen Teilen eine größere Dauer geben zu wollen. Insbesondere wird es z. B. oft unzweckmäßig sein, noch nicht ausgenutzten Schienen, deren Unterschwellung abgängig ist, eine neue Unterschwellung zu geben, weil hierdurch doch kein tadelloses Gleis mehr herzustellen ist. Auch werden Bahnen, bei denen durch zahlreiche Bremsstrecken, Tunnel, Bogen u. dergl. m. ungewöhnliche Schienenabnutzungen eintreten, vorzugsweise auf möglichste Gleichmäßigkeit des Stahls zu sehen haben.

Der Übergang von Eisen- zu Stahlschienen hat auf die Dauer der Schienen sehr günstig gewirkt und sich in wirtschaftlicher Hinsicht um so wertvoller gezeigt, als auch der früher erhebliche Preisunterschied zwischen Eisen und Stahl sich mehr und mehr ermäßigt hat. So betrug die Auswechselung auf einer belgischen Bahnstrecke mit 22 bis 28 v. H. Gefälle, bei

Eisenschienen:	Stahlschienen:
50 v. H. nach einem Jahre	50 v. H. nach 13 Jahren
100 v. H. nach drei Jahren[51]).	

Auf der Grand Central Belge-Eisenbahn wurde 1882 festgestellt, daß bei den 1865 verlegten Eisenschienen die Auswechselung nach vier Jahren begann und bis 1882 rund 50 v. H. betrug, während bei den 1869 verlegten Stahlschienen erst nach 10 Jahren mit der Auswechselung hatte begonnen werden müssen und diese bis zu der genannten Zeit erst 0,4 v. H. ausmachte[52]).

[49]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903, XIII. Ergänzungsband.

[50]) Bericht über Frage 1 der Verhandlungen, Brüssel 1901; Washington, 1905, Bericht zu Frage 2 in der Revue générale des chemins de fer 1905, 2. Halbj., S. 29.

[51]) Revue générale des chemins de fer, 1883, S. 333.

[52]) Stahl u. Eisen, 1883, S. 488.

Auch die Gefahr der Schienenbrüche, die man ursprünglich bei Stahlschienen besonders fürchtete, hat sich durch die Erfahrung als nicht größer, sondern eher geringer erwiesen, als bei Eisenschienen. Auf den Bahnen des V. d. E. V. kamen 1899 auf 1000000 Bruttotonnen Kilometer 0,088 Schienenbrüche.

Ebenso hat die Forderung einer Gewährleistung für eine Dauer der Schienen auf mehrere Jahre sehr günstig auf die Beschaffenheit der Schienen und besonders auf die Gleichmäßigkeit des Materials eingewirkt. Näheres hierüber enthält eine Abhandlung von Funk[53]), der durch Gegenüberstellung von Ergebnissen aus Festigkeitsversuchen vor und nach dem Jahre 1880, zu welcher Zeit eine Gewährdauer von 10 bis 12 Jahren eingeführt wurde, zeigt, in welchem Zusammenhang Materialbeschaffenheit und Auswechslungsverhältnis stehen, welchen großen wirtschaftlichen Wert eine lange Gewährzeit für die Bahnverwaltungen hat, und daß die Festigkeits- und Zähigkeitsziffern, sowie die Summe beider, die sog. Güteziffer, nicht nur viel gleichmäßiger, sondern auch erheblich höher geworden sind. Und wenn dies nun auch in erheblichen Umfange den Fortschritten der Hüttentechnik zuzuschreiben ist, so wird doch immerhin die damals übliche lange Gewährzeit fördernd hierauf eingewirkt haben und es erscheint fraglich, ob es richtig war, die Gewährzeit, die z. Z. in der Regel nur mehr fünf Jahre beträgt, so weit herabzusetzen.

§ 11. Zurichtung, Fertigstellung und Abnahme der Schienen. — a. Zurichtung und Fertigstellung. — Wenn die Schiene aus der Fertigwalze herauskommt, ist sie noch nicht gebrauchsfähig, sondern muß erst fertig zugerichtet werden. Dieses Zurichten besteht aus dem Abschneiden auf bestimmte Länge, dem Geraderichten, der Lochung, dem Abfasen der Kopfkanten an den Schienenenden und dem Entfernen der etwa beim Walzen entstandenen Grate.

Das Abschneiden erfolgt im warmen Zustande durch Kreissägen, wobei das der Wärme entsprechende Schwindmaß zugegeben werden muß. Je nach der Länge der gewalzten und der Gebrauchsschiene werden aus ersterer ein, zwei oder noch mehr Schienen geschnitten. Die Enden der gewalzten Schiene fallen stets ab, weil hier die Querschnittform der Schienen nicht in der erforderlichen Genauigkeit hergestellt werden kann. Die auf möglichst genaue Gebrauchslängen abgeschnittenen Schienen kommen auf das Warmlager, einer mit flachem Bogen nach oben gewölbten Unterlage — Pfeilhöhle 100 bis 150 mm auf etwa 10 m Länge — um hier zu erkalten. Die Wölbung ist nötig, weil der Schienenkopf wegen der größeren Dicke mehr schwindet, als der Schienenfuß und die Schiene auf ebener Unterlage daher beim Erkalten krumm würde.

Genau gerade Schienen werden aber trotzdem selten auf diese Weise gewonnen; die Schiene muß daher noch durch Pressen mit Handrad oder mit mechanischem Betriebe gerade gerichtet werden. Früher tat man das mit der erkalteten Schiene — Kaltrichten —, hierdurch werden aber unzweifelhaft in den Schienen Spannungen hervorgerufen, die auf ihre Festigkeit von nachteiligem Einflusse sind, besonders wenn kurze aber verhältnismäßig starke Biegungen gerade gerichtet werden müssen. Man ist daher dazu übergegangen, das Richten im rotwarmen Zustande vorzunehmen, indem man die fertig gewalzte Schiene noch durch drei Paar Richtwalzen laufen läßt, wodurch besonders die kurzen Knicke wirksam beseitigt werden können, so daß zum Fertigrichten bei erkalteter Schiene nur noch geringe Nacharbeiten nötig sind. Das Richten spielt hinsichtlich der Festigkeit und Dauerhaftigkeit der Schienen eine sehr

53) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1888, S. 60.

wichtige Rolle und verdient daher sowohl von seiten der Hüttenwerke wie besonders auch des abnehmenden Beamten eine eingehende und sorgfältige Überwachung.

Die gerichtete Schiene wird demnächst auf ihre genaue Gebrauchslänge abgefräst, die oberen Kopfkanten werden auf 1 bis 2 mm schräg abgefast (Abb. 25) und ebenso werden etwaige Gratbildungen am Kopfe und Fuße, die an den Berührungsstellen der Walzen entstanden sind, abgefeilt. Dagegen dürfen etwaige Fußkanten- und Kopfrisse nicht verkittet oder verstemmt und dann glatt gefeilt werden — sogenanntes Schienenflicken —, vielmehr sind solche Schienen als unbrauchbar oder wenigstens minderwertig auszuschießen.

Schließlich müssen die Schienen noch an ihren Enden die für die Befestigung der Laschen erforderliche Lochung erhalten (siehe unter V.), den im inneren Strang der Bogen nötigen (kürzeren) Ausgleichschienen (siehe § 13) pflegt man außerdem noch ein weiteres Loch zu geben, um sie leicht von den gewöhnlichen Schienen unterscheiden zu können. Das Lochen der Schienen erfolgte früher, besonders bei geschweißten Schienen, durch Stanzen, soll aber zurzeit nur durch Bohren geschehen, weil dabei das Material der Schiene in der Umgebung der Löcher bedeutend weniger angegriffen wird. Die ausgebohrten Löcher müssen an den Kanten noch abgefeilt werden, um den Grat zu beseitigen.

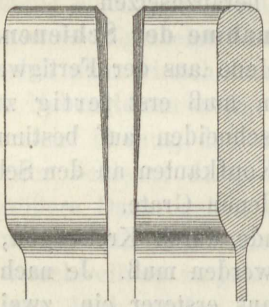


Abb. 25.

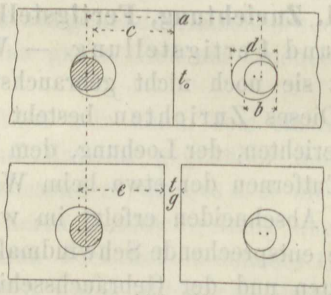


Abb. 26.

Die Löcher für die Laschenbolzen müssen weiter sein, als die Stärke der Laschenbolzen es erfordert, weil sich die Schienen mit der zunehmenden und abnehmenden Luftwärme ausdehnen und zusammenziehen und diese Bewegung der Schiene möglich sein soll, ohne daß auf die Laschenbolzen ein Seitendruck ausgeübt wird. Wenn die den größten vorkommenden Wärmeschwankungen der Schiene und den sonstigen Konstruktionsrücksichten entsprechende größte Stoßlücke (siehe § 13) zwischen zwei Schienenenden mit t_g bezeichnet wird, so muß in Abb. 26 die Beziehung bestehen:

$$d = b + \tfrac{1}{2} t_g \quad \text{und}$$
$$c = \tfrac{1}{2}(a + b - d),$$

wo a gleich dem Abstande der Laschenlochmitten ist[54]). Wenn c zu groß und d zu klein gemacht wird, was nicht selten vorkommt, so können in den Wandungen der Laschenbolzenlöcher in den Schienen und in den Laschenbolzen schädliche Pressungen und Verbiegungen entstehen.

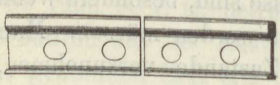


Abb. 27.

In früherer Zeit wurden die Laschenbolzenlöcher in den Schienen oft länglich oder auch am einen Schienenende rund — ohne Ausdehnungsspielraum —, am anderen Ende länglich hergestellt (siehe Abb. 27). Neuerdings werden aber, um die Ausführung beim Bohren zu

[54]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893, S. 88.

vereinfachen, die Löcher meistens an beiden Enden in gleicher Weite und kreisrund angelegt. Die Zahl der Löcher an jedem Schienenende und deren Entfernung untereinander hängt von der Zahl der Laschenbolzen und deren Abstand ab und beträgt in der Regel 2 bis 3, deren Abstand zwischen weiten Grenzen — 100 bis 230 mm — schwankt.

In der Regel werden die Schienen an ihren Enden rechtwinklig zu ihrer Längenachse abgeschnitten; es hat aber nicht an Vorschlägen und Versuchen gefehlt, die Schienenenden schräg abzuschneiden oder mit Überblattung zu versehen, um auf diese Weise die Stoßfuge möglichst unschädlich zu machen. Sollen die Schienen derartig bearbeitet werden, so geschieht das gleichfalls auf dem Hüttenwerke und es muß dabei auch wieder auf die Beseitigung von Graten und die sehr sorgfältige Abfasung oder Aus- und Abrundung scharfer Ecken und Kanten Bedacht genommen werden, weil solche für den Bestand der Schienen von ungünstigem Einfluß sein können, indem sie die Bruchgefahr steigern.

b. Bei der Abnahme der Schienen sind nicht nur die vollständig fertiggestellten Schienen einer genauen Besichtigung und Nachmessung zu unterwerfen, sondern es müssen schon die Herstellung und insbesondere die Zurichtungsarbeiten fortgesetzt überwacht werden, weil gerade hierbei Mängel und Unterlassungen vorkommen könnea, die an der fertigen Schiene überhaupt nicht mehr oder nur sehr schwierig wahrnehmbar sind und doch die Dauer der Schienen ungünstig beeinflussen können. Die Zurichtung der Schiene, besonders das Kaltrichten, übt auf deren Festigkeit überhaupt keinen günstigen Einfluß aus, was z. B. deutlich daraus zu erkennen ist, daß sich der Stahl bei den Abnahmeversuchsstücken — die vielfach aus den der Zurichtung nicht unterliegenden Schienenendabschnitten entnommen werden — im Durchschnitt im Gebiete des V. d. E. V. als so erheblich besser ergibt, als bei Versuchen mit alten im Betriebe gebrochenen Schienen, daß der etwaige schädigende Einfluß der Betriebslasten bei letzteren nicht als ausreichende Erklärung betrachtet werden kann[55]). Man ersieht hieraus, wie wichtig eine sehr sorgfältige Zurichtung ist und daß es angebracht wäre, die Abnahmeversuchsstücke vorzugsweise den fertig bearbeiteten Schienen zu entnehmen.

Für die Abmessungen der Schienen werden von den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen bei der Abnahme folgende Spielräume zugelassen:

In der Länge ± 2 mm auf 12 m; in der Höhe und Breite des Schienenkopfes ± 0,5 mm und in der Breite des Schienenfußes ± 1,0 mm. Im übrigen sollen die Abmessungen und die Form genau der von der Eisenbahnverwaltung dem Werke bei Übertragung der Lieferung übergebenen abgestempelten Lehre entsprechen, die bei der Schienenabnahme in unbeschädigtem Zustande zuzückzugeben ist. Beim Gewicht sind 2 v. H. Minder- und 3 v. H. Mehrgewicht zulässig. Bei anderen Eisenbahnverwaltungen gelten ähnliche Bestimmungen.

In die als gut befundenen Schienen wird zum Zeichen der erfolgten Abnahme von dem Abnahmebeamten an einer der Endflächen des Schienenkopfes mit einem amtlichen Stempel ein Zeichen eingeschlagen. Andere als derartig abgestempelte Schienen dürfen nicht zum Versand kommen. Wegen irgend welcher Fehler ausgeschossene Schienen pflegen dadurch kenntlich gemacht zu werden, daß die eingewalzten Firmenzeichen an auffälliger Stelle weggemeißelt werden.

---

[55]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 124, 166.

§ 12. Form und Abmessungen des Schienenquerschnittes. Schienengewicht. — a. Allgemeines. — Tragfähigkeit und Steifigkeit einer Schiene hängen ab von der Querschnittsform und Größe und vom Material der Schiene. Die Tragfähigkeit ist abhängig vom Widerstandsmoment (W), die Steifigkeit dagegen vom Trägheitsmoment (J) des Querschnittes. Eine wirtschaftlich möglichst günstige Schienenform muß bei kleinstem Stoffverbrauch möglichst hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit aufweisen. Auch bei dem Erfordernis der Vermehrung der Leistungsfähigkeit der Schiene kommt es darauf an, nicht einfach das Schienengewicht zu erhöhen, sondern vielmehr mit der geringsten Stoff- oder Gewichtszunahme die größtmögliche Widerstandserhöhung zu erzielen.

Die günstigste Schienenquerschnittsform wäre somit die I-Form; diese ist aber aus praktischen Gründen nicht anwendbar. Immerhin soll sich die Querschnittsgestaltung dieser Form nähern, und das Material vorzugsweise im Kopf und Fuß angehäuft sein (Abb. 28).

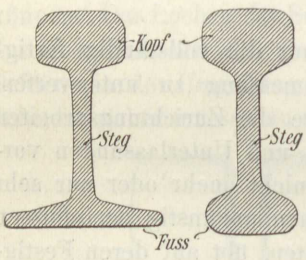


Abb. 28.

Die Schiene muß — besonders in den der Abnutzung vorwiegend ausgesetzten Teilen, wie dem Kopfe — solche Abmessungen haben, daß sie auch bei der nach der Bauart des Gleises zulässigen größten Abnutzung noch einen genügenden Widerstand leisten kann. Dieser muß demnach von vornherein so reichlich bemessen werden, daß eine wirtschaftliche Dauerleistung der Schiene gesichert ist. Dabei ist die ungünstigste Art der Beanspruchung durch den sehr häufigen und sehr raschen Last- und Spannungswechsel[56]), sowie auch der Umstand zu berücksichtigen, daß die Betriebslasten im Laufe der Zeit zu wachsen pflegen. Eine Zunahme des Raddruckes wirkt, abgesehen von den dadurch bedingten erhöhten statischen Beanspruchungen, besonders deshalb ungünstig, weil die unter den bewegten Lasten eintretende Reibungsarbeit zwischen der Schiene und ihren Unterlagen, welche die Stützflächen verschleißt, mit dem Quadrate der Radbelastung wächst[57]).

Bei der weiteren Besprechung der Schienenformen ist zunächst die Gestaltung des Kopfes, also desjenigen Teiles, auf dem die Fahrzeuge unmittelbar ruhen, für sich zu betrachten. Die Kopfform ist nicht sowohl abhängig von der sonstigen Schienenform — Breitfuß- oder Stuhlschiene — als von den Beziehungen zwischen Rad und Schiene, und daher auch für alle Schienenformen nach gemeinsamen Gesichtspunkten zu behandeln.

b. Die Form des Schienenkopfes. — Bei der Gestaltung des Schienenkopfes kommen vorzugsweise zwei scharf auseinander zu haltende konstruktive Gesichtspunkte und ein walztechnischer in Betracht, nämlich: die Form des von den Rädern berührten Teiles des Kopfes, die Form des Überganges vom Kopf zum Steg und das Verhältnis zwischen der Höhe und Breite des Kopfes.

1. Die Form der von den Rädern berührten Kopfteile. — Bei den älteren Schienen war die Kopflauffläche meistens flach mit schwacher Abrundung an den Seiten, es kamen aber auch Schienen mit halbkreisförmiger Kopfoberfläche vor. Diese zeigten einen sehr starken und raschen Verschleiß und bei jenen wurden

[56]) F. Loewe, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883, S. 186 nimmt hierfür eine zusätzliche Beanspruchung gleich der aus dem ruhenden Raddrucke entspringenden an.

[57]) Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 437. Abhandlung von Dr. Zimmermann.

die Radreifen stark abgenutzt. Man schlug daher den Mittelweg ein und gab der Oberfläche eine schwache Wölbung, deren Halbmesser im Gebiete des V. d. E. V. 1850 zwischen 131 und 183 mm schwankte und nach den T. V. von 1865 130 mm betragen sollte, bei einer Kopfbreite von 57 mm. Aber auch bei diesen Schienen war sowohl die eigene Abnutzung, wie die der Radreifen noch eine sehr starke und man kam daher, besonders seit Ende der achtziger Jahre, mehr und mehr zur Überzeugung, daß Schienen mit flachen, breiten Köpfen für Schiene und Rad besser seien, sobald nur die seitliche Abrundung der Radreifenform entspreche und daß die früher mit flachköpfigen Schienen gemachten schlechten Erfahrungen nicht auf die flache Oberfläche, sondern auf die nicht zur Radreifenform passende und zu scharfe seitliche Abrundung zurückgeführt werden müssen. Demgemäß bestimmen die T. V. von 1897 in § 5: »Der Kopf der Schienen soll nicht weniger als 57 mm breit sein und eine ebene oder eine mit mindestens 200 mm Halbmesser gewölbte Oberfläche haben. Größere Kopfbreiten bis zu 70 mm werden empfohlen. Bei Neubeschaffungen muß die innere seitliche Abrundung des Kopfes mit einem Halbmesser von mindestens 14 mm erfolgen.«

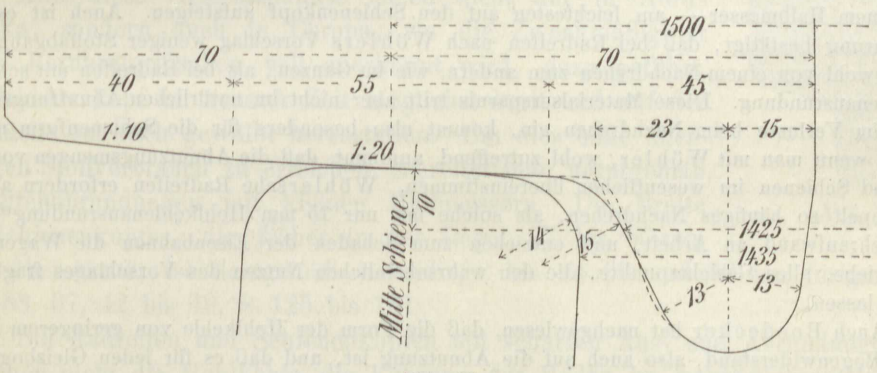


Abb. 29.

Hierzu ist zu bemerken, daß zwischen Preußen und Österreich-Ungarn eine Ausrundung der Hohlkehle zwischen der Radlauffläche und dem Radflansch mit 15 mm Halbmesser vereinbart worden ist, so daß die beiden Maße nur um 1 mm voneinander abweichen (Abb. 29).

Zwischen den übrigen europäischen Staaten sind über diese Maße noch keine Vereinbarungen getroffen, sie werden aber von vielen Eisenbahnverwaltungen angestrebt und wurden auf dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Petersburg 1892 von W. Ast[58]) warm befürwortet.

Leider sind aber die Beziehungen zwischen Radreifen und Schienenkopf wissenschaftlich noch nicht so weit geklärt, daß man die für die gegenseitige Schonung günstigsten Formen auf theoretischem Wege feststellen könnte; auch kommen bei dieser Frage noch wichtige praktische Gesichtspunkte in Betracht, durch welche die Schwierigkeiten noch erhöht werden. Diese liegen ganz besonders darin, daß die gegenseitigen Wirkungen im geraden Gleis andere sind, als im gekrümmten und daß sie in den Gleisbogen wieder mit dem Halbmesser, der Spurerweiterung und dem Achsstande wechseln, besonders auch an der Außen- und Innenschiene verschiedene

[58]) Siehe dessen schon mehr genannten Bericht, S. 236.

sind. Alle diese Umstände bringen so viele schlechterdings unvermeidliche, von Fall zu Fall veränderliche Ungleichheiten hervor, daß es bisher noch nicht geglückt ist, zu allseitig anerkannten einheitlichen Grundlagen zu gelangen.

Besonders eingehend sind diese Fragen von Wöhler und Boedecker behandelt[59]). Es muß hier ein tieferes Eindringen in die Sache unterbleiben und auf die unten angegebenen Quellen verwiesen werden. Nur einige besonders wichtige Gesichtspunkte seien kurz angedeutet. Wöhler suchte zu beweisen, daß zylindrische Radreifen und wagerechte ebene Schienenlaufflächen die richtigste Form seien. In der Abhandlung 1881 weist er zwar darauf hin, daß kegelförmige Radreifen den Vorteil haben, den aus Ungenauigkeiten in der Gleislage der geraden Linie und in der Achsenstellung entspringenden schwankenden Gang der Fahrzeuge zu mildern, indem bei seitlichen Verschiebungen der Achsen aus der Gleismittellage ungleiche Radhalbmesser zur Abwälzung kommen, wodurch die Fahrzeuge immer wieder zur Gleismittellage zurückgeführt werden. Trotzdem erachtet er aber für die Gerade die zylindrische Form für die naturgemäße. In Krümmungen dagegen soll die Form der Hohlkehle zwischen der Radreifenlauffläche und dem Radflansch die Führung der Räder übernehmen und demgemäß verlangt Wöhler im Interesse möglichster Sicherheit und geringster Abnutzung eine Flanschform mit weit ausgerundeter Hohlkehle von etwa 28 bis 37 mm Halbmesser und einen auf der oberen Lauffläche ebenen, an den Seiten flach abgerundeten Schienenkopf. Bezüglich der Sicherheit stimmen diese theoretischen Ergebnisse mit dem Erfahrungssatze überein, daß Wagen mit scharf gelaufenen Radreifen — d. h. also Hohlkehlen mit sehr kleinem Halbmesser — am leichtesten auf den Schienenkopf aufsteigen. Auch ist es durch die Erfahrung bestätigt, daß bei Radreifen nach Wöhlers Vorschlag weniger Stoffabgang stattfindet (sowohl von einem Nachdrehen zum andern, wie im Ganzen), als bei Radreifen mit schärferer Hohlkehlenausrundung. Diese Materialsersparnis tritt aber nicht im natürlichen Abnutzungsverlust, sondern im Verluste beim Nachdrehen ein, kommt also besonders für die Schienenform nicht in Betracht, wenn man mit Wöhler, wohl zutreffend, annimmt, daß die Abnutzungsmengen vom Radreifen und Schienen im wesentlichen übereinstimmen. Wöhlersche Radreifen erfordern aber ein etwa doppelt so häufiges Nachdrehen, als solche mit nur 15 mm Hohlkehlenausrundung[60]), also einen Mehraufwand an Arbeit, und entziehen zum Schaden der Eisenbahnen die Wagen öfter dem Betriebe, alles Gesichtspunkte, die den wahrscheinlichen Nutzen des Vorschlages fraglich erscheinen lassen.

Auch Boedecker hat nachgewiesen, daß die Form der Hohlkehle von geringerem Einfluß auf den Bogenwiderstand, also auch auf die Abnutzung ist, und daß es für jeden Gleisbogen und für jeden Wagenachsstand je eine günstigste Radreifenform gibt. Diesem theoretischen Ergebnisse würde praktisch wohl am ehesten dadurch Rechnung getragen, daß man der Hohlkehle eine Form gäbe, bei welcher der Krümmungshalbmesser von der Reifenlauffläche nach dem Flansch hin allmählich immer kleiner wird, und daß man auch den Schienenkopf entsprechend formte.

Den vorstehend dargelegten, vorzugsweise aus der Betrachtung der Radreifen entsprungenen Vorschlägen einer weit ausgerundeten Hohlkehle und ebenen Schienenlauffläche mit flachen Seitenabrundungen, stehen aber gerade entgegengesetzte Anschauungen gegenüber, die vorzugsweise aus Erfahrungen am Gleis abgeleitet sind und Schienen mit schwach gekrümmter Lauffläche und scharfen Kopfabrundungen, sowie scharf ausgerundete Hohlkehlen der Radreifen für richtiger halten. In der Geraden und auch an der Innenschiene der Bogen nimmt nämlich mit fortschreitender Abnutzung der Schienen die seitliche Abrundung des Schienenkopfes leicht eine scharfkantige, fast rechtwinkelige Form an, besonders wenn sich eine oft beobachtete Stoffverdrückung mit der Abnutzung verbindet (Abb. 30). Radreifen der in Abb. 29 (S. 117) in ausgezogenen Linien dargestellten Form werden daher in solchem Falle die Schienen

---

[59]) Abhandlungen von Wöhler in der Zeitschrift f. Bauwesen 1859, S. 359; Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 181; ebenda 1884, S. 177. — Boedecker, Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887. Hahn.

[60]) Die Angaben beruhen auf Ergebnissen von Versuchen, die auf den sächsischen Staatsbahnen im gewöhnlichen Betriebe angestellt wurden.

stark nach außen zu drängen suchen und gleichzeitig selbst in der Hohlkehle scharf ausgefressen. Ein Radreifen von der in Abbildung 29 gestrichelt angegebenen Form dagegen wird die abgenutzten Schienen nicht so stark seitlich beanspruchen. In Nordamerika sind Radreifen mit scharf ausgerundeter Hohlkehle ziemlich allgemein üblich und demgemäß auch Schienen mit scharfer seitlicher Kopfabrundung bis herab zu 6 mm[61]), womit der durch die Abnutzung eintretende Zustand konstruktiv berücksichtigt ist. Sowohl diese scharfe Ab- und Ausrundung, als auch eine schwache Wölbung des Schienenkopfes sind von einem Ausschusse des nordamerikanischen Ingenieurvereins, der die betreffenden Fragen eingehend geprüft hat, 1889 gutgeheißen worden. Die Wölbung wurde besonders deswegen für notwendig erachtet, weil sich ganz ebene Flächen am schwersten genau walzen lassen, und daher schwach gewölbte Laufflächen tatsächlich größere Berührungsflächen, also auch geringere gegenseitige Abnutzung ergeben, als ungenaue ebene Flächen. Es kommt hinzu, daß sich die Schienen im Betriebe verdrehen und die Radreifen hohl laufen, wodurch ebene Laufflächen in noch höherem Maße ungenügende Berührungsflächen ergeben.

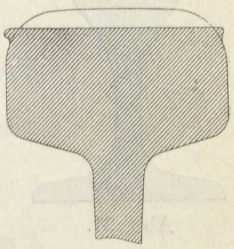


Abb. 30.

Alle diese Gesichtspunkte haben nicht nur in Nordamerika, sondern auch in Europa, wo die Zweckmäßigkeit breiter Berührungsflächen voll anerkannt wird, dazu geführt, den Schienenkopf in neuerer Zeit möglichst breit und auf der Oberfläche schwach gewölbt herzustellen. Um dies ohne übermäßigen Stoffverbrauch zu erreichen, schreitet man naturgemäß zu Seitenabrundungen mit kleinen Halbmessern. Die Breite des Schienenkopfes, die früher in der Regel 57 bis 60 mm nicht überschritt, ist demgemäß neuerdings bis zu 66 und 72 mm fortgeschritten (Abb. 33, 37, 42 bis 49, S. 125 bis 131).

Bei Radreifen und Schienenköpfen mit scharfen Aus- und Abrundungen kann allerdings nicht die Hohlkehle die Führung des Rades im gekrümmten Gleis übernehmen, sondern es wird die geradlinige Begrenzung des Flansches an die Seitenfläche des Schienenkopfes anlaufen. Dieser Fall tritt aber, wie die Erfahrung lehrt, auch bei flacherer Ausrundung in scharfen Bogen tatsächlich sehr bald ein, indem sich Rad und Schiene gegenseitig so abschleißen, daß eine breite Seitenberührungsfläche entsteht und der Schienenkopf Trapezform annimmt. Manche Bahnen, besonders in Nordamerika, haben behufs Vergrößerung der Laschenanlageflächen schon dem neuen Schienenkopf Trapezform mit größerer unterer Breite gegeben (siehe Abb. 34, 47, S. 125 bis 130), so in Europa die württembergische Staatseisenbahn, die Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen, die österreichische Nordwestbahn, die holländische Eisenbahn, und neuerdings sind auch die indischen Bahnen auf diesem Wege gefolgt. In der unten genannten Quelle[62]) wird darauf hingewiesen, daß die Außenschienen in den Bogen eigentlich mit anderer Kopfform versehen sein sollten, als die anderen Schienen oder von besonders hartem Stahl hergestellt werden sollten. Mit zunehmender Einführung beweglicher Achsen (Lenkachsen und Drehgestelle) nehmen übrigens die gegenseitigen Angriffe zwischen Radreif und Schienenkopf ab, so daß diese Frage vom praktisch wirtschaftlichen Standpunkt aus an Bedeutung verliert.

---

[61]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 205; 1890, S. 81, 172; 1892, S. 157.

[62]) Engineering News 1904, S. 329.

2. Übergang vom Kopf zum Steg. — Man pflegt den Schienenkopf symmetrisch zur lotrechten Achse zu gestalten, um die Schiene im Gleis umwenden zu können. Bei den älteren Schienen wurde der Kopf allmählich in den Steg übergeführt, der Kopf erhielt Birnenform (Abb. 31) besonders aus walztechnischen Gründen. Nach Einführung der Laschen zur Deckung des Schienenstoßes — um 1850 — bemühte man sich aber, eine scharf unterschnittene Kopfform (Abb. 32) herzustellen, weil bei dieser die Wirksamkeit der Laschen vollkommener ist, als bei der Birnenform. Die anfänglichen Schwierigkeiten der Herstellung scharf unterschnittener Schienenköpfe wurden von der Walztechnik bald überwunden, und da solche Schienen auch bei gleichem Stoffaufwand eine größere Tragfähigkeit und Steifigkeit besitzen, als die ältere Form, so ging man, besonders in Deutschland, in den fünfziger und sechziger Jahren allgemein von der Birnenform ab. Schon 1868 herrschte im Gebiete der V. d. E. V. die Schiene mit scharf unterschnittenem Kopfe vor[63]).

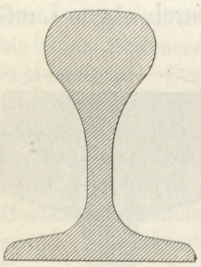


Abb. 31.

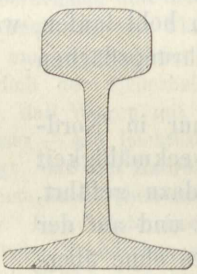


Abb. 32.

Die Neigung der Laschenanlageflächen ist aber bis auf den heutigen Tag noch sehr verschieden und schwankt zwischen 1 : 1,75 bis 1 : 5 gegen die Wagerechte. Die schärfste Unterschneidung ist in Deutschland, Belgien und Nordamerika üblich mit 1 : 4; 1 : 5; 1 : 4,3, während in Österreich-Ungarn, Frankreich, England das Verhältnis 1 : 3 und 1 : 2, letzteres besonders bei Stuhlschienen, vorherrscht. Es wird aber neuerdings ziemlich allseitig anerkannt, daß eine scharfe Unterschneidung von etwa 1 : 4 zur Gewinnung möglichst breiter Laschenanlageflächen und wirksamer Stoßdeckung erwünscht ist, und selbst in England geht man zu Neigungen von 20° (1 : 2,75) über[64]). Um diese Anlageflächen zu vergrößern, hat man gleichzeitig die Abrundungen zwischen Kopf und Steg, sowie zwischen Steg und Fuß mit immer kleineren Halbmessern gestaltet, und ist schon bei Maßen bis herab zu 2 und 1,6 mm angekommen[65]).

3. Bei dem Verhältnisse zwischen der Breite und Höhe des Schienenkopfes kommt vorzugsweise die leichte Auswalzfähigkeit und die Rücksicht auf ein gleichmäßig dichtes und widerstandsfähiges Gefüge des Schienenkopfes in Betracht.

Um der Schiene eine möglichst lange Dauer zu geben, wendete man in der Annahme, daß die Schienenhöhe die Hauptrolle spiele, oft sehr hohe Schienenköpfe an, die eine recht weitgehende Abnutzung der Schienenlauffläche ermöglichen sollten. Nachdem aber durch die Erfahrung immer mehr erwiesen ist, daß die Schienenhöhe überhaupt nur verhältnismäßig selten ausgenutzt wird, daß vielmehr die Seitenabnutzung der Schienenköpfe die Hauptursache der Auswechslung ist, breite Schienenköpfe der vorzeitigen Auswechslung der Schienen also wirksam vorbeugen[66]), und

63) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. II. Ergänzungs-Bd., 1868.

64) Ebenda 1890, S. 123, 216; der auf S. 110 in Fußnote 45 genannte Bericht v. Ast, S. 206; Verhandl. d. internat. Eisenbahnkongr. v. 1889 u. 1892; ferner Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 83, 162; 1891, S. 81, 172. Frahm, Glasers Annalen 1905, 56. Bd., S. 135.

65) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 205; 1891, S. 81, 172.

66) Siehe u. a. Railroad Gazette 1903, S. 177; Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses in Washington, 1905; Bericht in der Revue générale des chemins de fer, 1905, 2. Halbj., S. 29; Bulletin du congrès intern. des chemins de fer, 1905, S. 791 von Dudley.

Nachweisung der Höhe und Breite des Kopfes bei einigen neueren Schienenformen.

1	2	3	4	5	6	7
Nr.	Land	Eisenbahnverwaltung	Höhe mm	Breite mm	Verhältnis beider	Bemerkungen
		A. Breitfußschienen.				
1	Deutschland	Preuß. Staats-Eisenb. 1885 ..	39	58	1 : 1,5	Für Haupt- und Nebenbahn.
2	»	» » » 1890 ..	39	72	1 : 1,85	Für Hauptbahnen mit starkem Verkehr.
2a	»	» » » 1905 ..	43,5	72	1 : 1,66	Für besonders stark belastete Strecken.
3	»	Bayerische Staats-Eisenb.	36,5	58	1 : 1,6	
4	»	Bayerische u. Württemberg. Staats-Eisenb. 1898.....	45	65	1 : 1,44	Wie zu 2.
5	»	Sächsische Staats-Eisenb....	44,2	58	1 : 1,31	
6	»	» » » 1890	48	66	1 : 1,38	Wie zu 2.
7	»	Badische Staats-Eisenb.	43,5	60	1 : 1,38	
8	»	» » » 1893	45	65	1 : 1,44	Wie zu 2.
9	Österreich-	Österr. Staats-Eisenb.	44	58	1 : 1,32	
10	Ungarn	» » » 1903..	45	68	1 : 1,51	Wie zu 2.
11	»	Ungar. Staats-Eisenb.....	43	57	1 : 1,33	
12	»	Österr.-Ungar. St.-E.-G.....	39,5	59	1 : 1,5	
13	»	Kaiser-Ferdinand-Nordb.....	43,5	58	1 : 1,33	
14	»	Österr. Südbahn	45	68	1 : 1,50	Wie zu 2.
15	Belgien	Belgische Staats-Eisenb. 1886	49	72	1 : 1,47	
16	Schweiz	Schweiz. Bundesbahnen 1902	45	65	1 : 1,44	
17	»	» Gotthardbahn 1890.	49	70	1 : 1,43	
18	Frankreich	Paris-Lyon-Méd.-Eisenb. 1889	55	66	1 : 1,20	
19	»	Nordbahn 1894.....	50	60	1 : 1,20	
20	»	Ostbahn 1889	54,5	60	1 : 1,11	
21	Nordamerika	Normalprofil d. Ing.-Ver. 1889	37,5	63,5	1 : 1,7	
22	»	New York Central 1887	38	64	1 : 1,7	
	»	Michigan Central 1888.....				
23	»	New York-Lake Erie 1889 ...	38	70	1 : 1,84	
24	»	Philadelphia-Reading 1888 ..	45,2	67	1 : 1,48	
25	»	Boston-Albany 1903	39,8	76,2	1 : 1,91	
26	»	Illinois Central 1897.....	43,3	69,8	1 : 1,61	
		B. Stuhlschienen.				
27	Frankreich	Westbahn, alt	40	62	1 : 1,55	
28	»	» neu.....	54	62	1 : 1,15	
29	England	London u. Nord-West-E. ...	50	69,9	1 : 1,4	
30	»	Midland-Eisenb.....	54	67	1 : 1,24	
31	»	Great Western 1897	53,2	69,8	1 : 1,31	
32	»	Vom Ausschuß empfohlene	43	65,2	1 : 1,52	
33	»	Formen, 1904[67])	48	69,9	1 : 1,46	

[67]) Glasers Annalen 1905, 56. Bd., S. 135, Bericht von Frahm.

da endlich neuere Erfahrungen auch gezeigt haben, daß auch die ungleiche Abnutzung der Radreifen bei breiten Schienenköpfen geringer ist als bei schmalen, so tritt der vorgenannte Gesichtspunkt mehr in den Hintergrund. Auch sollen mikroskopische Untersuchungen besonders starker und hoher Köpfe ergeben haben, daß sich im Innern grobkörnige Kristallgruppen zeigen, daß also ein nicht so dichtes Gefüge vorhanden ist, wie bei Schienen mit schwächeren Köpfen[68]). In neuester Zeit werden daher breite und dabei niedrigere Köpfe, deren Vorzüge desto mehr hervortreten, je reiner der Stahl ist und die wegen der gleichmäßigeren Abkühlung auch für die Auswalzung günstiger sind, für die zweckmäßigsten gehalten und von namhaften Fachmännern warm befürwortet[69]).

Demgemäß nähert sich das Verhältnis der Schienenkopfhöhe (in der Mitte der Schiene bis zum Schnittpunkte der Laschenanlageflächen gemessen) zur Kopfbreite bei neueren Schienenformen dem Werte 1 : 1,5 immer mehr, während es bei älteren Schienen meistens beträchtlich über diesem Werte blieb, und namentlich in Deutschland und in Nordamerika, wo breite scharf unterschnittene Köpfe sehr beliebt sind, geht es bis zu 1 : 1,85 herab.

In vorstehender Zusammenstellung sind die betreffenden Maße für mehrere Schienenformen verschiedener Länder nachgewiesen. Daraus ist zu ersehen, daß immer noch erhebliche Abweichungen vorkommen. Zum Teil sind diese aus der mehr oder minder starken Unterschneidung des Kopfes zu erklären, denn je stärker diese Unterschneidung ist, um so kleiner wird das genannte Verhältnis. Indes spielen hier, wie in vielen anderen Fragen der Oberbaugestaltung, augenscheinlich auch Gewohnheitsanschauungen ohne konstruktive Begründung mit.

c. Die Gesamtform des Schienenquerschnittes. — Bei der Gesamtform der Schiene muß zwischen Breitfuß- und Stuhlschienen unterschieden werden. Außerdem kommen noch die Schwellenschienen in Betracht, letztere allerdings nur für besondere Verhältnisse.

A. Breitfußschienen.

1. Querschnittsgestalt, Massenverteilung. — Bei der Gestaltung der Breitfußschienen spielt das Verhältnis zwischen der Schienenhöhe und der Fußbreite, sowie die Massenverteilung zwischen Schienenkopf, Fuß und Steg eine besonders wichtige Rolle.

Das Verhältnis von Fußbreite zur Schienenhöhe beeinflußt nicht nur die Standsicherheit der Schiene gegen Seitenkräfte, sondern auch die Beanspruchung der Befestigungsmittel zwischen der Schiene und deren Unterlagen. Je größer die Breite im Verhältnis zur Höhe, desto größer ist die Standsicherheit und desto geringer die Beanspruchung der Befestigungsmittel.

Dagegen wachsen Trägheitsmoment und Widerstandsmoment, von denen die Steifigkeit und Tragfähigkeit der Schiene gegenüber den lotrechten Kräften abhängen,

---

[68]) Deutsche Bauzeitung 1890, S. 198. — Glasers Annalen 1890 I, S. 271; Railroad Gazette 1889, S. 425.

[69]) W. Ast in dem auf S. 110 in Fußnote 45 genannten Bericht, S. 206; Stockert, Organ für d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 289; Michel, auf dem internat. Eisenbahnkongresse 1889; Sandberg, Engeneering News 1890, August, S. 167; Amerikanische Ingenieure, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 205; 1902, S. 157; XIII. Ergänz.-Bd. 1903, S. 8; Railroad Gazette 1903, S. 177.

mit der 3. und 2. Potenz der Schienenhöhe. Im Interesse großer Widerstandsfähigkeit gegen diese für die Schienenbeanspruchung wichtigsten Kräfte ist daher eine große Höhe wichtiger, als große Fußbreite; auch kommt eine große Höhe, besonders wenn sie mit reichlicher Kopfhöhe verknüpft ist, einer längeren Abnutzungsdauer der Schiene zugute. Man hat früher außerdem die Anwendung eines breiten und dünnen Fußes aus walztechnischen Bedenken vermieden, weil man die genaue Herstellung der dünnen Fußränder kaum leisten konnte und schädliche Spannungen befürchtete.

Lange Zeit gingen daher die Bestrebungen der Eisenbahningenieure dahin, notwendige Verstärkungen des Schienenquerschnittes fast ausschließlich in vermehrter Schienenhöhe und in großer Kopfmasse zu suchen. In neuerer Zeit ist darin aber ein Wandel eingetreten, da auch die Verbreiterung und Verstärkung des Fußes sowie des Steges mehr wie früher für notwendig gehalten wird.

Beim Übergange von Eisen- zu Stahlschienen hatte man fast überall dort, wo Breitfußschienen benutzt werden, im Interesse der Kostenersparnis das Schienengewicht verringert und zwar in der Regel durch Verschwächung des Schienenfußes und Steges, während die Abmessungen des Kopfes der Eisenschienen beibehalten, ja sogar zuweilen noch in der Kopfhöhe vergrößert wurden, um auf diese Weise eine möglichst ausnutzungsfähige und trotzdem leichte Schiene zu erhalten. So entstanden Schienen, deren Kopfmasse erheblich überwog und bei denen insbesondere die Stegdicke bis auf 11 mm für Hauptbahnen und 8 mm für Nebenbahnen herabgesetzt wurde. Am weitesten ist man in der Herstellung leichter Schienen im östlichen Frankreich und in Nordamerika gegangen, wo das Gewicht auf 30 kg/m und 25 bis 30 kg/m verringert worden ist.

Man ist heute einig darüber, daß das ein Fehler war, einesteils weil die großen Massenungleichheiten zwischen Kopf, Steg und Fuß bei der Schienenerzeugung zu größeren inneren Spannungen führen, als bei Schienen mit gleichmäßigerer Massenverteilung und dann, weil Schienen mit solch dünnem Fuß und Steg durch die Seitenkräfte vorübergehenden Verbiegungen ausgesetzt sind, die auf den Gang der Fahrzeuge einen nachteiligen Einfluß ausüben und auch den Widerstand der Schienen gegen die senkrechten Beanspruchungen beeinträchtigen können. Über das beste Verhältnis zwischen Fußbreite und Höhe und die zweckmäßigste Massenverteilung zwischen Fußbreite und Höhe und die zweckmäßigste Massenverteilung zwischen Kopf, Fuß und Steg gehen die Ansichten freilich noch auseinander. Es herrscht wohl Einverständnis darüber, daß eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Masse auf Kopf und Fuß im Interesse der Vermeidung ungleichmäßiger Abkühlung der Schienen beim Walzen dringend erwünscht ist; und es ist einleuchtend, daß diese Forderung bei breitem Fuße leichter zu erreichen ist, als bei schmalem. Anderseits spielt aber doch die Höhe für die Leistungsfähigkeit der Schiene eine so maßgebende Rolle, daß man besonders aus wirtschaftlichen Gründen an einer reichlichen Schienenhöhe festhalten muß. Das gilt in erster Linie für Länder, wo die Kosten der Schienenunterlagen hohe sind, so daß auch auf deren sparsame Verwendung und sorgsame Schonung besonders Bedacht genommen werden muß.

Hinsichtlich der Höhe und Fußbreite der Schienen bestimmen die T. V. in § 5[3]: »Bei Querschwellenoberbau mit Breitfußschienen wird eine Schienenhöhe von nicht unter 125 mm und eine Schienenfußbreite von nicht unter 100 mm empfohlen.« Es entspricht dies einem Verhältnisse von Fußbreite zu Schienenhöhe gleich 0,8, das auch in Deutschland durchschnittlich eingehalten wird, indem hier die betreffenden Werte

zwischen 0,71 und 0,82 schwanken, während in Österreich-Ungarn (woselbst bis in die neueste Zeit im allgemeinen niedrigere Schienen im Gebrauche sind, als in Deutschland) das Verhältnis zugunsten der Fußbreite größer ist und 0,81 bis 0,92 beträgt.

Auf dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Paris 1889 (auf dem Deutschland bekanntlich nicht vertreten war) wurde als Durchschnitt für die vertretenen (nur europäischen) Bahnen ein Wert dieses Verhältnisses von 0,85 festgestellt, und 0,9 als zweckmäßig bezeichnet. Selbst der Wert 1 wurde empfohlen, zugleich aber die Befürchtung ausgesprochen, es möchten hierbei im Auswalzen des Schienenfußes Schwierigkeiten entstehen[70]).

Tatsächlich ist das Verhältnis 0,9 schon vielfach bei europäischen Bahnen überschritten, wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung (S. 126 und 127) und den Abbildungen 42 bis 46 (S. 129 und 130) hervorgeht. In Nordamerika besteht fast allgemein das Verhältnis 1, wodurch wohl erwiesen ist, daß die walztechnischen Bedenken gegen diese Anordnung nicht mehr begründet sind.

Es ist aber hervorzuheben, daß eine große Schienenfußbreite allein die Standfestigkeit der Schiene nicht verbürgt, sondern daß es dabei noch wesentlich darauf ankommt, ob der Schienenfuß auch nach der Art der Befestigung auf den Unterlagen und nach dem Materiale dieser letzteren als tatsächlich dauernd in ganzer Breite festaufliegend angenommen werden kann. Wenn Schienen unmittelbar auf Holzschwellen aufliegen, ist dies zweifellos weniger sicher, als wenn breite Unterlagsplatten zwischen Schiene und Schwelle gelegt werden, oder als wenn auch die Schwellen aus Eisen sind. Da nun sowohl in Österreich-Ungarn, als auch in Frankreich bei vielen und in Nordamerika bei fast allen Eisenbahnen die Verwendung von Unterlagsplatten bei Holzschwellen viel seltener ist, als in Deutschland, — wo sie neuerdings sowohl im Interesse der Betriebssicherheit, wie der Schonung und langen Dauer der Schwellen bei den meisten Bahnen grundsätzlich auf jeder Holzschwelle zur Anwendung kommen und wo auch die Verwendung eiserner Schwellen eine viel weitere Verbreitung gefunden hat, als in jenen Ländern — so ist es erklärlich, daß hier die Fußbreite verhältnismäßig kleiner gewählt werden kann zugunsten erhöhter Tragfähigkeit und Steifigkeit der Schienen bei geringerem Materialverbrauch. Die Standsicherheit der Schienen leidet dadurch keinen Schaden, im Gegenteil wächst das mehrgenannte Verhältnis, wenn man die Breite der Unterlagsplatte einrechnet, in Deutschland auf 1,25 bis 1,4. So wird auch in Nordamerika anerkannt, daß die dort übliche große Fußbreite eingeschränkt werden kann, sobald die Verwendung von Unterlagsplatten allgemein wird. Aber selbst ohne solche ist die deutsche Breitfußschiene in hohem Maße standsicher und allen Beanspruchungen des gewöhnlichen Betriebes voll gewachsen, wie unzweideutig aus zahlreichen Versuchen hervorgeht, die Bräuning bei fahrenden Zügen in geraden und gekrümmten Gleisen gemacht hat[71]).

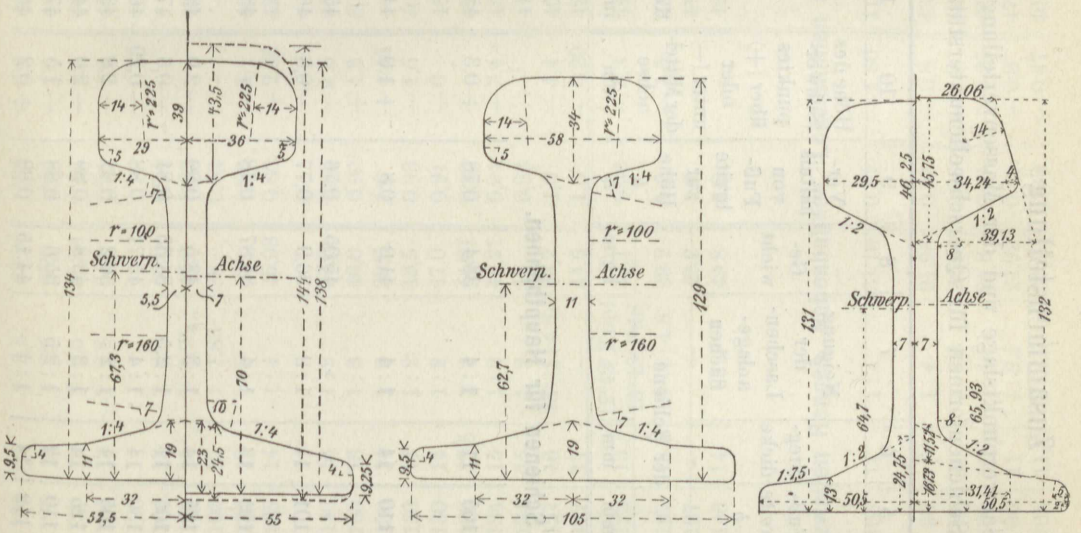
Die Nachweisung auf Seite 126, 127 enthält ferner Angaben über das Schienengewicht, die Schwerpunktslage, das Verhältnis der Massenverteilung zwischen Kopf, Fuß und Steg, die Stegdicke, sowie die Neigung der Laschenanlageflächen, auch sind einige der betreffenden Schienenquerschnitte in den Abbildungen 33 bis 49 dargestellt. Im allgemeinen zeigen die in Deutschland und Westeuropa üblichen hohen Schienen — mit 130 mm und mehr Höhe — ein stärkeres Überwiegen der Kopf- gegenüber der Fuß-, zum Teil auch der Stegmaße, als die besonders in Nord-

[70]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 215.

[71]) Zeitschrift f. Bauwesen 1902, S. 247. Siehe auch das I. Kapitel dieses Bandes, § 15.

amerika üblichen Schienen mit weniger als 130 mm Höhe. Am gleichartigsten ist die Massenverteilung zwischen Kopf, Fuß und Steg in Nordamerika, wo Eisenbahnverwaltungen und Hüttenleute ein Verhältnis von 40 : 38 : 22 erstreben und bei neueren Schienenformen auch schon annähernd erreicht haben. Naturgemäß liegt bei solchen Schienen auch der Schwerpunkt verhältnismäßig tief, im Gegensatz zu Schienen mit vorwiegender Kopfmasse, wie sie bis in die neueste Zeit in Europa üblich sind. Allerdings wird die Schwerpunktslage auch durch die Neigung der Laschenanlageflächen beeinflußt, wie aus der Nachweisung und den Zeichnungen deutlich zu ersehen ist, denn wenn diese Neigung gegen die Wagerechte 1 : 2 bis 1 : 3 ist, so liegt auch bei verhältnismäßig kräftigen Köpfen der Schwerpunkt der Schiene tief, weil schon die Kopfmasse für sich einen tieferen Schwerpunkt hat, als bei einer Neigung von 1 : 4 bis 1 : 5.

2. Vielgestaltigkeit der Schienen, Schienenverstärkung. — Die Zusammenstellung auf S. 126, 127 und die Abbildungen 33 bis 49 lassen erkennen, daß



a Hauptbahnen[72]).
1885; f. 7 t ——— 1890; f. 8 t ------- 1905 f. 9 t
Raddruck

b Nebenbahnen.
f. 7 t Raddruck (1894).

Abb. 33.
Preußische Staatseisenbahnen.

Abb. 34. Reichseisenb. in Elsaß-Lothr.

die Gestaltung der Schienen sehr verschieden ist. Bisher sind auch alle Versuche und Bestrebungen, wenigstens in demselben Lande zu einheitlichen Schienenformen, sogenannten Normalquerschnitten zu gelangen, gescheitert. Es ist zwar nicht zu verkennen, daß diese Vielgestaltigkeit hauptsächlich in der Verschiedenartigkeit der Verkehrs- und Betriebsverhältnisse, zum Teil auch in örtlichen Ursachen begründet ist und sich daher wohl niemals ganz vermeiden lassen wird, so erwünscht es auch für Eisenbahnverwaltungen und Hüttenwerke wäre, zu möglichst wenigen, einheitlichen Formen zu gelangen. Denn es wäre unwirtschaftlich, auf Eisenbahnen mit unbedeutendem Verkehre und mit schwacher Gleisbeanspruchung lediglich um der

[72]) Im Jahre 1905 ist eine weitere Verstärkung der Schiene von 1890 durch Vergrößerung der Kopfhöhe um 4,5 mm und der Fußdicke um 1,5 mm, also der Gesamthöhe um 6 mm eingeführt worden. Durch gleichzeitige Vermehrung der Schwellenzahl wird die Tragfähigkeit auf 9 Tonnen gebracht; die Schiene ist für besonders stark belastete Strecken bestimmt.

Zusammenstellung

der Abmessungen, des Gewichtes, der Schwerpunktslage und der Massenverteilung zwischen Kopf, Fuß und Steg bei einigen Schienenformen für Querschwellenunterstützung.

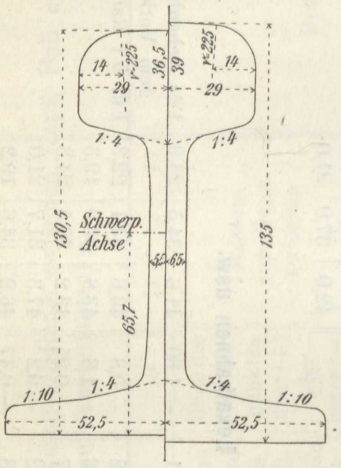
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nr.	Land	Eisenbahnverwaltung	Höhe h	Fußbreite b	Stegdicke	Neigung der Laschenanlageflächen	Gewicht	Verhältnis von Fußbreite zur Höhe $\frac{b}{h}$	Höhe des Schwerpunktes über (+) oder unter (−) der Mittelachse	Massenverteilung zwischen			Bemerkungen
			der Schiene							Kopf	Fuß	Steg	
			mm	mm	mm		kg/m		mm	in Hundertteilen			
		A. Schienen für Hauptbahnen.											
1	Deutschland	Preuß. Staats-Eisenb., Form 6 1885	134	105	11	1 : 4	33,4	0,78	+ 0,3	45,5	32,2	22,3	Für Hauptb. mit geringerem Verkehr und stark belastete Nebenb. mit 7 t Raddruck.
2	»	Preuß. Staats-Eisenb., Form 8 1890	138	110	14	1 : 4	41,0	0,8	+ 1,0	44,0	33,0	23,0	Für stark belastete Hauptb.
2a	»	Preuß. Staats-Eisenb., Form 15 1905	144	»	»	»	45,05	0,76	»	45,8	33,1	23,1	Für sehr stark belast. Hauptb.
3	»	Reichseisenb. in Elsaß-Lothr.	131	101	14	1 : 2	36,9	0,77	− 0,8	46,1	31,8	22,1	Für stark befahrene Hauptbahnen wird neuerdings die zu 2 genannte Schiene der Preuß. St.-E. verwandt.
4	»	Bayerische St.-Eisenb. 1892	135	105	13	1 : 4	34,87	0,78	−	43,1	32,5	25,4	
5	»	Bayerische St.-E., Form X u. Württemb. St.-E. 1898	140	125	14	1 : 3	43,5	0,89	− 2,0	43,5	35,6	20,9	Wie zu 2.
6	»	Sächsische St.-Eisenb., alt	130	105	11	1 : 2,5	34,35	0,81	− 0,6	47,9	35,7	16,4	Wie zu 1.
7	»	» » » 1890.	147	130	14	1 : 4	45,71	0,88	− 0,29	46,0	33,6	20,4	Wie zu 2.
8	»	Badische Staats-Eisenb., alt.	129	105	14	1 : 2	36,2	0,81	− 2,2	43,9	37,3	18,8	Wie zu 1.
9	»	» » » 1893	140	125	14	1 : 3	43,8	0,89	− 2,0	44,2	35,4	20,4	Wie zu 2.
10	Österreich-	Österr. Staats-Eisenb.	125	110	12	1 : 2,5	35,6	0,88	− 1,5	47,0	36,9	16,1	
11	Ungarn	» » » 1903	140	112	14	1 : 4	44,15	0,89	+ 0,2	46,6	33,6	19,8	Wie zu 2.

12	Österr.-Ung.	Ungarische Staats-Eisenb. ..	128	104	12	1 : 2,5	33,25	0,81	+ 0,3	46,6	33,1	20,3	
13	»	Österr.-Ungarische St.-E.-G..	125	105	14	1 : 2,5	33,0	0,84	— 1,5	44,4	34,3	21,3	
14	»	Kaiser-Ferd.-Nordbahn 1886.	127	110	12	1 : 2,5	35,34	0,87	— 1,1	46,5	35,5	18,0	
15	»	Österr. Südbahn, alt	128	104	13	1 : 2,8	34,0	0,81	— 1,0	43,2	36,7	20,1	Seit 1903 wird auch die Schiene zu Nr. 11 der österr. Staatsbahn verwendet.
16	Niederlande	Niederländische Staats-Eisenbahn 1886	138,7	102	13	1 : 2	40,0	0,74	—	—	—	—	
17	»	Holländische Eisenb. 1891 ..	140	130	15	1 : 1,75	47,0	0,93	—	49,0	36,3	14,7	
18	Belgien	Belgische Staats-Eisenb. 1881	125	105	17	1 : 1,83	38	0,84	—	—	—	—	
19	»	» » » » 1886	145	135	17	1 : 5	52	0,93	— 1,1	46,6	33,4	20,0	Sogenannte Goliathschienen.
20	Schweiz	Bundesbahnen 1902	145	125	14	1 : 4	45,93	0,86	+ 2,92	42,2	38,5	19,3	Die Schiene für Tunnel ist im Kopf und Fuß um je 2 mm höher.
21	»	Gotthardbahn, alt	130	110	13	1 : 2	37,0	0,85	+ 1,5	45,5	37,5	17,0	
22	»	» » 1890.....	145	130	13	1 : 3	46,0	0,90	+ 1,3	50,0	32,0	18,0	Die Schiene für lange Tunnel ist im Fuß um 2 mm höher.
23	Frankreich	Paris-Lyon-Méd.-E. 1868. ..	130	130	14	1 : 2	39,0	1,0	— 4,45	—	—	—	
24	»	» » » » 1883....	140	130	14	1 : 2	43,5	0,93	— 1,5	46,5	37,3	16,2	
25	»	» « » » 1889....	142	130	14	1 : 2	47,0	0,91	+ 0	48,4	36,7	14,9	
26	»	Ostbahn 1889	141	130	13,5	1 : 2	44,21	0,90	—	47,5	38,5	14,0	Die früheren Schienen hatten nur 30 kg/m Gewicht, 120 und 125 mm Höhe und 99 und 98 mm Fußbreite, waren also sehr schwach.
27	»	Nordbahn 1888	142	134	15	1 : 2	43,21	0,94	— 3,4	43,5	38,0	18,5	
28	»	» 1894	144	134	15	1 : 2	45	0,93	—	41,8	40,5	17,7	
29	Nordamerika	Normalschiene d. Ing.-V. 1889	127	127	16	13° (1 : 4,3)	39,7	1,0	— 4,4	40,3	37,4	22,3	
30	»	Philadelphia-Reading-E. 1888	127	127	17	—	44,6	1,0	— 0,20	42,0	36,7	21,3	
31	»	New York-Central-E. 1887 ..	127	122	13	12°42′ Kopf 13°18′ Fuß	39,7	0.96	— 3,3	44,0	37,0	19,0	
32	»	New York-Lake Erie-E. 1889	127	127	13,5	13° (1 : 4,3)	39,7	1,0	— 1,5	45,0	37,0	18,0	
33	»	Chicago-Burlingt.-Quincy1888	127	127	—	—	42,2	1,0	—	41,0	38,0	21,0	
34	»	Illinois Central 1897..	146	146	14	13°	49,8	1,0	—	42,0	37,0	21,0	

B. Schienen für Bahnen zweiten Ranges, Nebenbahnen, Lokalbahnen usw.

35	Deutschland	Preuß. Staats-Eisenb. 1894 ..	129	105	11	1 : 4	31,16	0,81	— 1,80	41,6	34,5	23,9	Für Nebenbahnen mit geringem Verkehr.
36	»	Bayerische Staats-Eisenb....	110	90	8	1 : 4	21,96	0,82	— 0,8	43,6	34,1	22,3	Für 5 t Raddruck.
37	»	Pfälzische Eisenb.....	105	90	10	1 : 2,5	24,98	0,86	— 1,8	43,8	36,9	19,3	
38	Österreich-Ungarn	Österr. Staats-Eisenb.	104	90	10	1 : 4	21,8	0,87	+ 0,25	43,2	32,5	24,3	
39	»	Ungarische Staats-Eisenb....	110	90	11	1 : 2,5	24,92	0,82	— 0,2	47,3	31,7	21,0	
40	»	Kaiser-Ferdinand-Nordb.....	119,5	105	11,5	1 : 2,5	31,19	0,88	— 0,47	46,2	34,6	19,2	

Einheit der Schienenformen willen eine ebenso kräftige Schiene zu verwenden, wie auf Hauptbahnen mit dichtestem Verkehr. In manchen Fällen ist die Vielzahl verschiedener Formen aber ebenso unzweifelhaft auf persönliche Anschauungen der maßgebenden Persönlichkeiten und auf eingewurzelte Gewohnheiten zurückzuführen.



Alte Form. (1892.)

Abb. 35. Bayerische Staats-E.

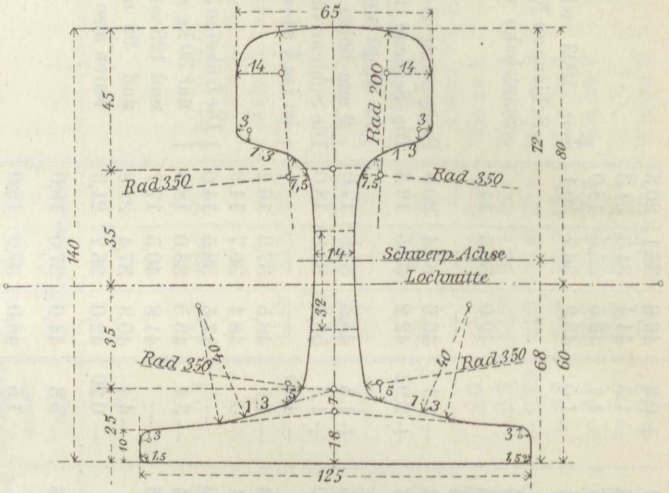
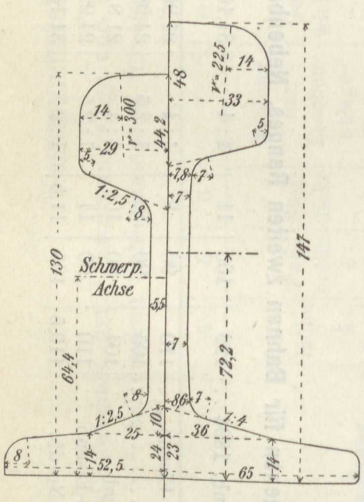
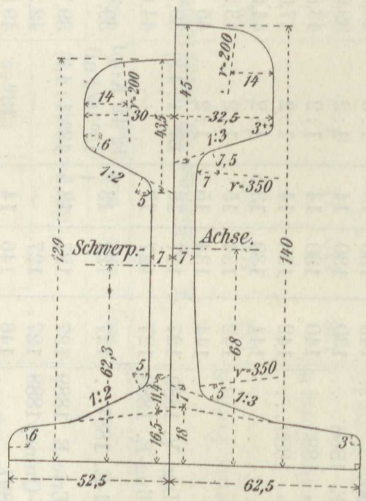


Abb. 36. Bayerische und württembergische Staats-E., 1898.



Alte Form. (1890.)

Abb. 37. Sächs. Staats-E.



(1891.) (1893.)

Abb. 38. Badische Staats-E.

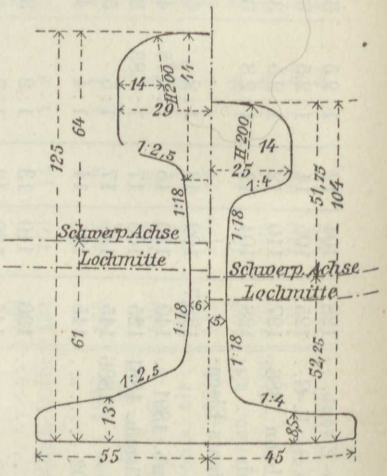


Abb. 39. Österreichische Staats-E.

Den verschiedenen Betriebsanforderungen der einzelnen Strecken wird selbst bei derselben Bahn öfter dadurch Rechnung getragen, daß Schienen verschiedener Stärke in Benutzung sind, z. B. Schienen für Haupt- und Nebenbahnen, Schienen für Hauptbahnen mit mittlerem und starkem Verkehr usw. So sind die meisten seit 1886 eingeführten Schienenverstärkungen zunächst nur für die am meisten belasteten Strecken in Aussicht genommen. Wenn dieselbe Bahn verschiedene Schienenarten benutzt, ist es empfehlenswert, die Maße und Formen derart zu wählen, daß für starke und schwache Schienen dieselben Laschen benutzt werden können. Auch beim

allgemeinen Übergange zu stärkeren oder schwächeren Schienen ist oft dieser Weg betreten, so z. B. von den preußischen Staatseisenbahnen bei Einführung der Schienen von 1885, 1890 und 1894, der Paris-Lyon-Méditerr.-E. bei Einführung ihrer Schienenverstärkungen 1883 und 1889 und auch von anderen Eisenbahnverwaltungen (Abb. 33,

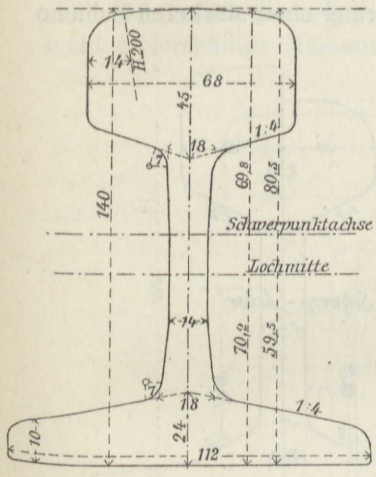
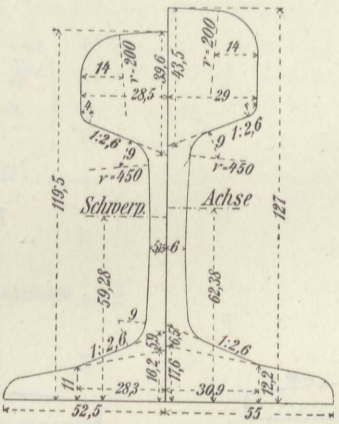
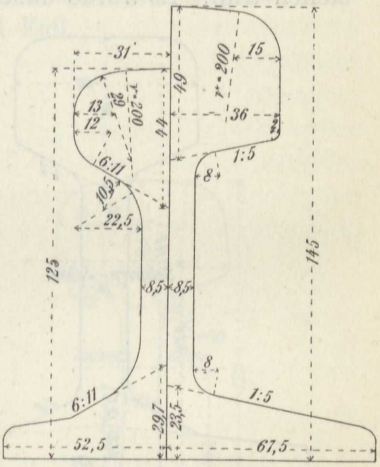


Abb. 40. Österreichische Staats-E., 1903.



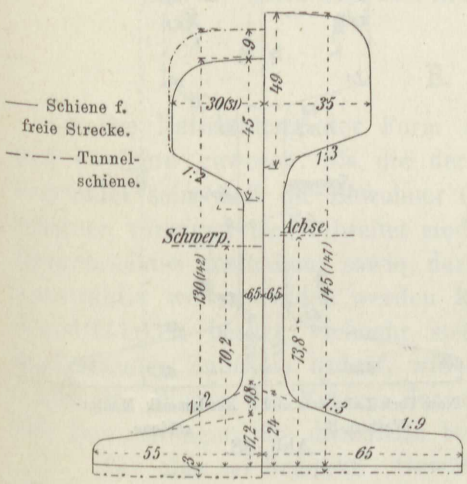
Bahnen 2. Ranges. Bahnen 1. Ranges.

Abb. 41. Kaiser Ferd.-Nordbahn.



(1881.) (1886.)

Abb. 42. Belgische Staats-E.



Alte Form. (1890.)

Abb. 43. Gotthardbahn.

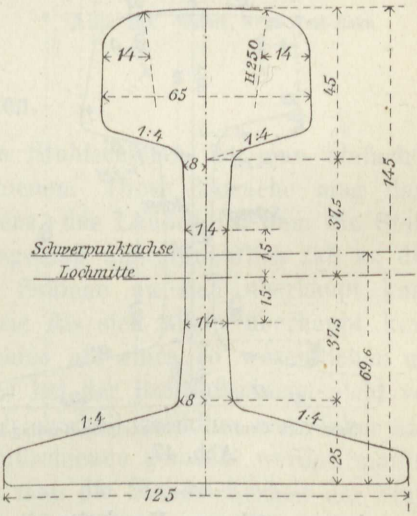


Abb. 44. Schweizerische Bundesbahnen, 1902.

35, 46). Hierin dürfte auch einer der Gründe zu suchen sein, warum viele Eisenbahnen bis in die neueste Zeit an den Neigungen 1 : 2 bis 1 : 3 für die Laschenanlageflächen festgehalten haben, obgleich eine schärfere Unterschneidung des Kopfes wohl ziemlich allseitig als zweckentsprechender erkannt ist.

Eine eigenartige Verstärkung von Schienen für bestimmte Zwecke hat die Gotthardbahn für notwendig erachtet. Da erfahrungsgemäß in schlechtgelüfteten,

feuchten Tunneln, an denen diese Bahn besonders reich ist, der Schienenverschleiß durch Rosten sehr groß ist, so führte sie eine besondere Tunnelschiene (Abb. 43) ein und gab dieser sowohl im Kopf, wie im Fuß erheblich größere Stärke, als der Schiene für die freie Strecke. Die weitere Erfahrung zeigte aber, daß der stärkere Verschleiß in Tunneln weniger den Schienenkopf als vielmehr den Schienenfuß an den Auflagerstellen trifft. Es wurde daher 1890 bei allgemeiner Einführung einer stärkeren Schiene

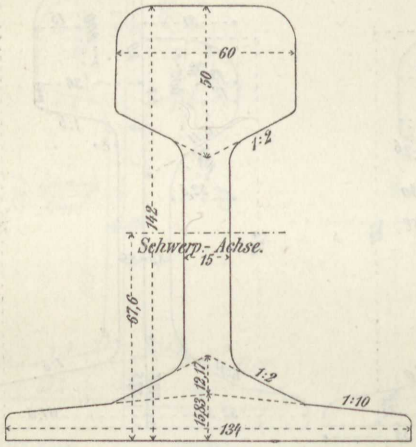
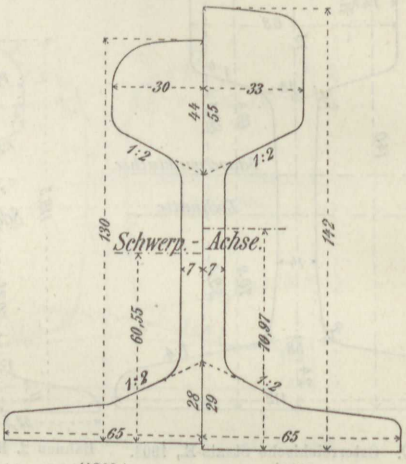
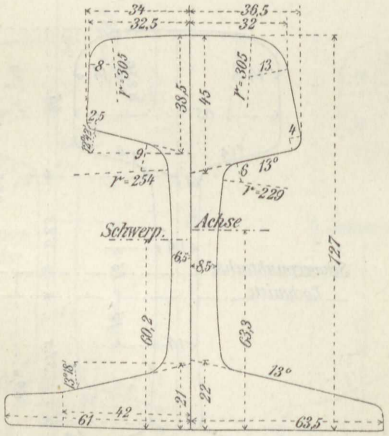


Abb. 45. Französische Nordbahn (1888)[73].



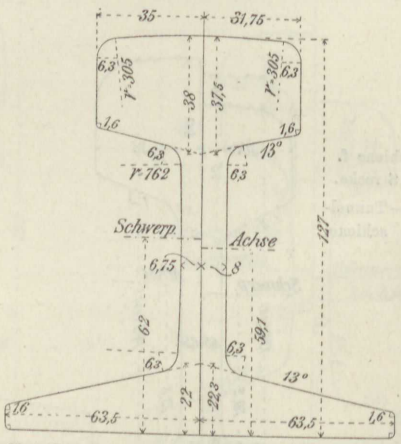
(1868.) (1889.)

Abb. 46. Paris-Lyon-Mittelm.-Bahn.



New York Central. Philadelphia-Reading-Bahn.

Abb. 47.



New York-Lake Erie and Western-B. Nordamerik. Musterschiene.

Abb. 48.

von einem stärkeren Kopf für die Tunnelschiene abgesehen und nur die Höhe des Fußes um 2 mm größer genommen, als bei der Schiene für die freie Strecke, so daß beim oft wiederkehrenden Übergang von der freien zur Tunnelstrecke nunmehr die verschiedenen Schienen unmittelbar unter Benutzung der gewöhnlichen Stoßverbindungen miteinander verbunden werden können, während früher immer besondere Übergangsverbindungen nötig waren. Dies Verfahren erscheint für derartige Zwecke sehr beachtenswert.

[73]) Im Jahre 1894 ist die Fußdicke dieser Schiene um 2 mm vergrößert, die Gesamthöhe also auf 144 mm gebracht worden.

Bei der Unterstützung der Schienen durch Langschwellen hat man den Schienen oft schwächere Abmessungen gegeben, als beim Querschwellenoberbau, und besonders die Höhe und Fußbreite eingeschränkt, wodurch Formen entstanden, bei denen die Kopfmasse noch mehr überwiegt, als bei Schienen für Querschwellen. Die auch für Querschwellenoberbau bestimmte Schiene der österreichischen Nordwestbahn (Abb. 50) besitzt diese Eigentümlichkeit allerdings nicht, sondern im Gegenteil eine recht gleichmäßige Massenverteilung zwischen Kopf und Fuß.

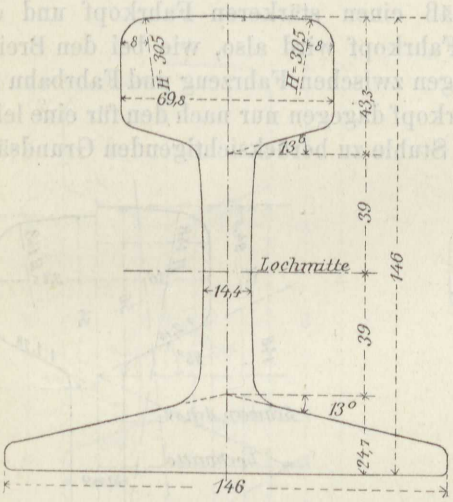


Abb. 49. Illinois Central-Bahn, 1897.

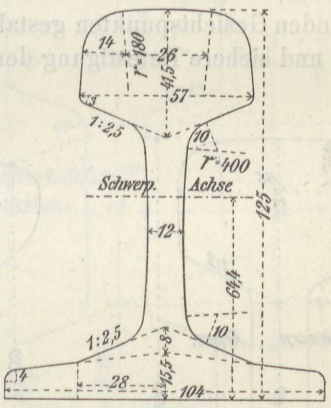


Abb. 50. Österr. Nord-West-Bahn.

B. Stuhlschienen.

Die Entwicklung der Form der heutigen Stuhlschienen ist eine einfachere und stetigere gewesen, als die der Breitfußschienen. Diese Tatsache mag darin begründet sein, daß die Bewohner Großbritanniens, des Landes, in dem die Stuhlschienen vorzugsweise verbreitet sind, erfahrungsgemäß außerordentlich zäh an dem Hergebrachten festhalten, sowie darin, daß die Schiene an sich überhaupt kaum konstruktiv weitergebildet werden kann, weil sie für sich allein überhaupt keine Standfähigkeit besitzt, vielmehr stets ihres Stuhles als eines so wesentlichen und maßgebenden Zubehörs bedarf, wie ein ähnliches bei der Breitfußschiene nicht vertreten ist. Wegen des Fehlens der eigenen Standsicherheit entfallen hier daher auch alle Betrachtungen, die dieserhalb bei den Breitfußschienen gemacht werden mußten.

Nur eins sei bemerkt. Gewöhnlich pflegt man die Standsicherheit der Stuhlschienen nach dem Verhältnis der Auflagerbreite der Stühle zur Gesamthöhe der Schienenlauffläche über den Schienenunterlagen zu bemessen. Ein anderes Verfahren ist auch schlechterdings nicht anwendbar; nur darf man die so bestimmte Standsicherheit nicht unmittelbar mit der Standsicherheit der Breitfußschienen vergleichen, denn die Befestigung der Stuhlschienen in den Stühlen bringt eine zusätzliche Beweglichkeit, also Unsicherheit gegenüber der Befestigung der Breitfußschienen auf den Unterlagen mit sich, die, wenn vielleicht auch gering, doch immerhin vorhanden und nur zahlenmäßig nicht ausdrückbar ist. Unmittelbare Vergleiche der beiderseitigen Schienenarten in dieser Richtung sind daher nur von sehr fragwürdigem Werte.

In Hinsicht auf die Verteilung der Massen zwischen Fahrkopf, Steg und Unterkopf sind die Stuhlschienen den Breitfußschienen unzweifelhaft insofern überlegen, als eine große Massenhäufung im Fahrkopf weniger bedenklich erscheint, weil trotzdem bei der Herstellung, Abkühlung und Zurichtung der Schienen so ungünstige Umstände, wie sie aus dem breiten und dünnen Fuß der Breitfußschienen entspringen, nicht eintreten können. Die wesentlichste konstruktive Weiterbildung, welche die Stuhlschienen seit ihrer Einführung erfahren haben, beruht darin, daß man von der ursprünglich angenommenen symmetrischen Gestalt zur wagerechten Mittelachse abgegangen ist und den Schienen demgemäß einen stärkeren Fahrkopf und einen schwächeren Unterkopf gegeben hat. Der Fahrkopf wird also, wie bei den Breitfußschienen, lediglich nach den für die Beziehungen zwischen Fahrzeug und Fahrbahn maßgebenden Gesichtspunkten gestaltet, der Unterkopf dagegen nur nach den für eine leichte, gute und sichere Befestigung der Schiene im Stuhle zu berücksichtigenden Grundsätzen.

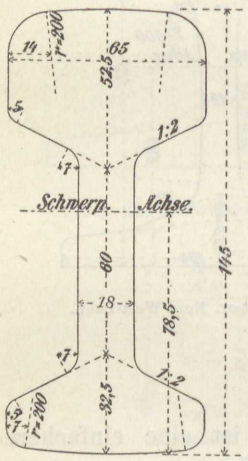


Abb. 51. Badische Staats-E.

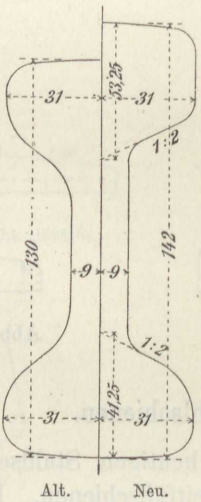


Abb. 52. Französ. Westbahn.

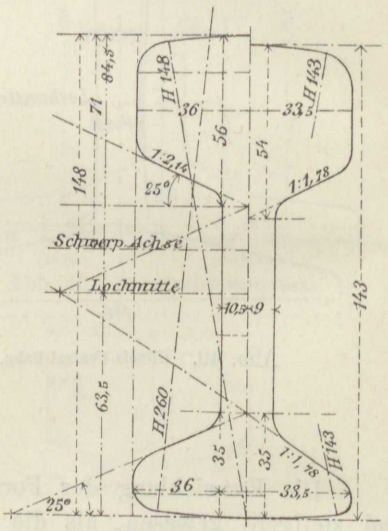


Abb. 53. Engl. Mittellandbahn.

Eines der Hauptziele für die Gestaltung der Stuhlschienen war ja unzweifelhaft das, eine umwendbare Schiene zu erhalten, bei der zuerst der eine und dann der andere Kopf unter den Betriebslasten ausgenützt werden sollte. Die Erfahrung lehrte aber bald, daß diese Annahme auf Irrtum beruhe, denn der zuerst in den Stühlen befestigte Kopf zeigte, wenn die Schiene gewendet werden sollte, solche Abnutzung an den Stuhlberührungsflächen, daß er als Fahrkopf nicht mehr brauchbar war; und der bisherige Fahrkopf erwies sich infolge des eingetretenen Verschleißes zur dauerhaften Befestigung im Stuhl mit den gewöhnlichen Mitteln schlecht geeignet. Die umwendbaren symmetrischen Schienen sind daher bald aufgegeben worden.

Die Eisenbahnen mit Stuhlschienen haben beim Übergange zu Stahlschienen die bei vielen Verwaltungen mit Breitfußschienen beliebte Verschwächung des Querschnittes, insbesondere des Schienensteges nicht mitgemacht, vielmehr ihr hohes Schienengewicht in der Regel beibehalten, ja sogar teilweise noch gesteigert.

In den Abbildungen 51[74]) bis 54 sind einige Stuhlschienenquerschnitte dar-

[74]) Abb. 51 stellt die seit 1893 versuchsweise verlegte Stuhlschiene der badischen Staatseisenbahnen dar. Der ganze betreffende Oberbau ist dem älteren der englichen Midland-Eisenbahn nachgebildet. Auch auf andern deutschen und österreichischen Bahnen werden Versuche mit Stuhlschienenoberbau gemacht.

gestellt. Es ist daraus zu ersehen, daß namentlich die Stegstärke größer ist, als bei Breitfußschienen, z. T. auch die Höhe, abgesehen von einigen der neuesten Formen der letzteren. Auch kommen so flache Neigungen der Laschenanlageflächen, wie sie bei vielen Breitfußschienen gebräuchlich sind und, unabhängig von der Schienenform, für zweckmäßig erachtet werden müssen, nicht vor. Es ist dies wohl auch im wesentlichen eine Folge des zähen Festhaltens am Altgewohnten seitens der auf dem Gebiete des Stuhlschienenoberbaues maßgebenden englischen Fachleute. Immerhin ist bei den neueren Schienenformen auch hier ein Übergang zu flacheren Neigungen zu beobachten.

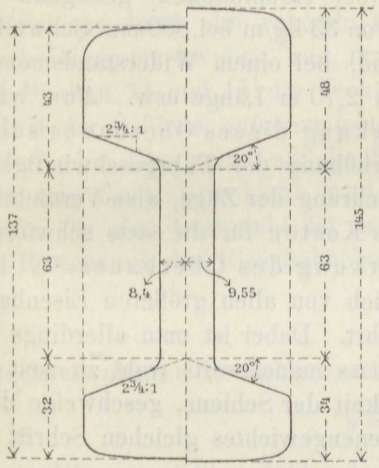


Abb. 54a. Vom englischen Ausschuß vorgeschlagene Schiene.

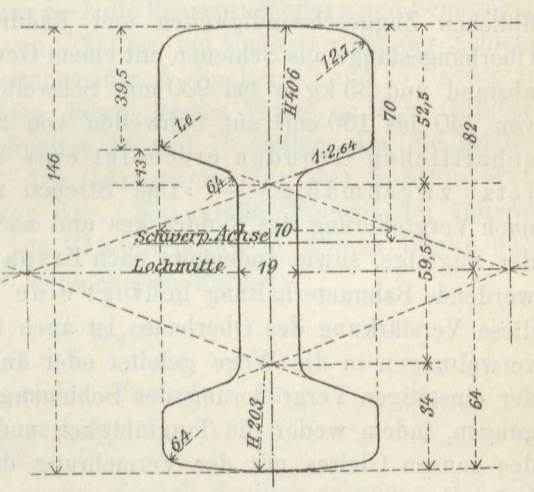


Abb. 54b. Engl. Große West-Bahn.

C. Schwellenschienen.

Während die Breitfußschienen, wie die Stuhlschienen besonderer tragender Schienenunterlagen bedürfen, sind die Schwellenschienen ohne Schienenunterlagen unmittelbar in der Bettung gelagert. Sie vereinigen also, wie auch ihr Name sagt, Schiene und Schwelle. Um die Herstellung zu erleichtern und die Unterbrechung der Fahrfläche an den Stoßlücken zu vermeiden, hat Haarmann, dessen Schwellenschiene bei Hafenbahnen vorzugsweise in Betracht kommt (siehe S. 80) die Schwellenschiene aus zwei Teilen zusammengefügt und die Stöße der beiden Halbschienen versetzt. Der Schienenkopf ist dabei den in Deutschland üblichen Kopfformen der Breitfußschienen nachgebildet, während der Fuß eine sehr erhebliche Breite erhalten hat (siehe Abb. 18, S. 80) an eine möglichst günstige Drucküber-tragung auf die Bettung zu erhalten.

D. Gewicht und Leistungsfähigkeit der Breitfuß- und Stuhlschienen.

Wie schon mehrfach betont wurde, hängt die Leistungsfähigkeit einer Schiene keineswegs nur von ihrem Gewicht ab, sondern vielmehr von ihrer ganzen Gestalt und der möglichst günstigen Verteilung der Massen auf die Stellen, wo sie zur Erhöhung des Trägheits- und Widerstandsmomentes sowie der Ausnutzungsfähigkeit von besonderem Einfluß und Wert sind. Theoretisch wäre somit eine recht leichte Schiene mit größtmöglichem Trägheits- und Widerstandsmoment vom

wirtschaftlichen Standpunkt aus besonders erstrebenswert. Aus praktischen Gründen erscheint es aber doch richtiger, auch die Masse der Schiene, also deren Gewicht, nicht zu klein zu nehmen, insbesondere im Fuß und Steg nicht zu weit mit der Materialersparnis zu gehen. Auch muß wegen der von den Schienen zu verlangenden Dauerleistung ein anfänglicher Überschuß an Widerstandsfähigkeit über das theoretisch bestimmte Maß hinaus besonders aus wirtschaftlichen Gründen für richtig bezeichnet werden.

Demgemäß hat die Techniker-Versammlung des V. d. E. V. im Jahre 1893 auf ihrer XIV. Tagung erklärt: »Für die Betriebssicherheit erscheint bei den jetzt üblichen Zuggeschwindigkeiten und Raddrücken (bei Hauptbahnen) genügend ein Oberbaugestänge aus Schienen mit einem Gewichte von 33 kg/m bei 800 mm Schwellenabstand und 35 kg m bei 900 mm Schwellenabstand, bei einem Widerstandsmoment von 140 bis 160 cm^3 auf Schwellen von 2,40 bis 2,70 m Länge usw. Aus wirtschaftlichen Gründen erscheint eine Verstärkung dieses Oberbaues schon jetzt zweckmäßig.« — »Das Streben nach Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit, nach Vergrößerung des Raddruckes und nach Vermehrung der Züge, also Verdichtung der Zugfolge, sowie anderseits nach Ersparnis an Kosten für die stets schwieriger werdende Bahnunterhaltung bedingt eine Verstärkung des Oberbaues«[75]. Und diese Verstärkung des Oberbaues ist auch tatsächlich von allen größeren Eisenbahnverwaltungen in die Wege geleitet oder durchgeführt. Dabei ist man allerdings mit der einseitigen Vergrößerung des Schienengewichtes mancherorts wohl zu weit gegangen, indem weder die Tragfähigkeit und Steifigkeit der Schiene, geschweige denn des ganzen Gleises mit der Vermehrung des Schienengewichtes gleichen Schritt gehalten hat.

In der Zusammenstellung (S. 136 und 137) sind die für die Leistungsfähigkeit verschiedener Schienenformen maßgebenden Werte angegeben und zwar sowohl für Breitfuß-, als auch für Stuhlschienen. Die Spalten 7 und 8, die das Güteverhältnis der Schienen, d. h. das Verhältnis von Trägheits- und Widerstandsmoment zum Gewicht nachweisen, zeigen, daß die schwersten Schienen keineswegs die günstigsten sind; insbesondere bleibt die Goliathschiene der belgischen Staatsbahn nicht unwesentlich hinter beträchtlich leichteren, deutschen, französischen und schweizerischen Schienen zurück.

Außerdem ist aus den Spalten 7 und 8 zu ersehen, daß bei Stuhlschienen im allgemeinen das Güteverhältnis niedriger ist, als bei Breitfußschienen. Es beträgt im Durchschnitt bei

	Breitfußschienen:	Stuhlschienen:
$W =$	0,25 bis 0,27 Fh;	0,21 bis 0,22 Fh,
$J =$	0,13 Fh^2;	0,105 bis 0,115 Fh^2,

wenn F die Querschnittfläche und h die Schienenhöhe ist. Tatsächlich pflegt man auch die Höhe der Stuhlschienen größer zu nehmen, als die der Breitfußschienen, nämlich etwa gleich 1,1 der Höhe der letzteren, um bei gleichem Querschnitte (Gewicht) annähernd dieselbe Widerstandsfähigkeit zu erhalten, wie bei Breitfußschienen. Man hat aber neuerdings bei Breitfußschienen Höhen angewandt, welche die der Stuhlschienen noch übertreffen und dadurch die Leistungsfähigkeit der ersteren auch den neuesten Stuhlschienen gegenüber noch gesteigert. Ein Vergleich der betreffenden

[75]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänzungsband, 1893.

Maße und Werte läßt die Überlegenheit der Breitfußschiene der Stuhlschiene gegenüber bezüglich des Güteverhältnisses zwischen Trägheits- und Widerstandsmoment und Gewicht deutlich erkennen.

Aber die größtmögliche verhältnismäßige Leistungsfähigkeit der Schiene ist für den Wert eines Oberbaues nicht allein maßgebend. Es kommt vielmehr darauf an, die Schiene so zu lagern, daß sie durch die Betriebslasten keine zu weit gehende Senkung und Spannung erfährt. Sie muß derart unterstützt werden, daß sie im ganzen Gleis in möglichst vollkommener Weise ausgenutzt wird. Um auch die in dieser Hinsicht in Frage kommenden Werte in Vergleichstellen zu können, sind in der auf S. 136 und 137 mitgeteilten Zusammenstellung auch die Beanspruchungen und Senkungen der Schiene durch eine ruhende Radlast von 7000 kg, bei Unterstützung der Schiene durch Holzquerschwellen und für die Bettungsziffer 8 (Spalten 12 und 13), sowie in den Spalten 14 und 15 die Verhältniszahlen dieser letzten Werte zu dem Güteverhältnis der Schiene aufgenommen. Die Spalten 14 und 15 stellen also die bei der betreffenden Oberbauart auf die Einheit der Gütewertziffer der Schiene entfallende Beanspruchung und Senkung dar. Das größte Moment der äußeren Kräfte für den Lastpunkt ist nach der von Zimmermann in seinem Werke über die Berechnung des Eisenbahnoberbaues[76]) entwickelten Formel:

$$M = \frac{8\gamma + 7}{8(2\gamma + 5)} Ga$$

berechnet; ebenso die Schienensenkung nach der Formel:

$$y = \frac{16\gamma^2 + 112\gamma + 11}{32\gamma(2\gamma + 5)} \cdot \frac{G}{D}.$$

Die mitgeteilten Zahlen lassen den großen Einfluß deutlich erkennen, den eine gute Durchbildung der Schienenform und eine kräftige Unterstützung der Schienen auf die Leistungsfähigkeit des Gestänges ausübt. Sie zeigen besonders, daß auch sehr kräftige Schienen bei ungenügender Unterschwellung nicht in vollem Maße zur Geltung kommen, sondern ein weniger standhaftes Gleis ergeben, als schwächere Schienen mit besserer Unterstützung. Diese Tatsache ist besonders bei der Schienensenkung bemerkenswert.

So ist die Senkung des belgischen Oberbaues mit der 52 kg/m schweren Goliathschiene (Nr. 14 der Zusammenstellung) infolge ungenügender Schwellenstärke ebenso groß, wie die Senkung der 45,71 kg/m schweren sächsischen und sogar größer als bei zahlreichen schwächeren Schienen, die auf vollkommenerer Unterschwellung ruhen (Nr. 1^a, 2, 2^a, 3^a, 5, 9, 11^a, 12, 15, 16, 21 der Zusammenstellung). Namentlich läßt sich aus einem Vergleich der Nr. 1^a, 2^a, 3^a, 5 mit Nr. 7, 13, 14, 18 die große Bedeutung einer guten Unterschwellung erkennen.

Nun hat sich allerdings bei eingehenden Durchbiegungsmessungen, die Wasiutynski auf der Warschau-Wiener Bahn angestellt hat, ergeben, daß der günstige Einfluß einer kräftigen Schiene auf Verminderung der elastischen Formänderungen des Gleises doch größer ist, als der nach den theoretischen Formeln berechnete[77]), aber es hat sich dabei ergeben, daß auch der günstige Einfluß einer guten Unterschwellung namentlich der von langen Schwellen größer ist, als die Theorie es lehrt.

[76]) Berlin, Ernst und Korn 1888. S. auch I. Kapitel, § 12, wo die obigen Formeln abgeleitet sind und die Bedeutung der Buchstaben erklärt ist. Wegen D und γ vergl. insbesondere S. 49.

[77]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 294; Bulletin de la commission internationale du congrès des chemins de fer, 1898, S. 1437; 1900, S. 2561.

Zusammenstellung

der für die Leistungsfähigkeit verschiedener Schienenformen maßgebender Werte. Holzquerschwellen, Raddruck 7000 kg, Bettungsziffer 8.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Nr.	Land	Eisenbahnverwaltung	Gewicht	Trägheitsmom.	Widerstandsmom.	Güteverhältnis		Größter Abstand	Abmessungen	Größtes Moment der äuß. Kräfte für die Schienenbeansp.	Beanspruchung	Senkung	Verhältnis zwischen Beanspruchung	Verhältnis zwischen Senkung	Bemerkungen
			G	J	W	J/G	W/G	der Schwellen		der Schiene im Lastpunkt			u. d. Güteverhältn. d. Schiene		
			der Schiene										$Sp\frac{12}{8}$	$Sp\frac{13\cdot100}{7}$	
			kg/m	cm⁴	cm³			cm	cm	kg/cm	kg/cm	mm			
		A. Breitfußschienen.													
1	Deutschland	Preuß.-hess. Staats-E. Form 6 1885	33,4	1036,6	154	31,0	4,61	85,8	270. 26. 16	152 500	990	1,32	214,7	5,9	16 Schwellen auf 12 m.
1a	»	Preuß.-hess. Staats-E. Form 6 1885	»	»	»	»	»	70	» » »	144 200	936	1,51	203	4,9	18 » » » »
2	»	Preuß.-hess. Staats-E. Form 8 1890	41	1352	193,1	33,0	4,71	85,3	» » »	161 900	838	1,60	177,9	4,8	16 » » » »
2a	»	Preuß.-hess. Staats-E. Form 8 1890	»	»	»	»	»	77	» » »	157 800	817	1,52	173,5	4,6	17 » » » »
2b	»	Preuß.-hess. Staats-E. Form 15 1905	45,05	1582,9	216,8	35,1	4,81	70	» » »	161 700	746	1,41	155,1	4,0	18 » » » »
3	»	Reichs-E. in Els.-Lothr.	37,8	1092	165	28,9	4,37	80	» » »	151 200	916	1,74	209,7	6,0	
3a	»	» » » » 1893	»	»	»	»	»	66,7	» » »	144 610	876	1,44	200	5,0	19 » » » »
4	»	Bayerische St.-E. 1892	34,87	1071,7	156,5	30,7	4,49	81,6	» » »	158 450	1012	1,68	225,4	5,5	
5	»	» St.-E. Form X u. Württ. St.-E. 1898	43,5	1457	202	33,5	4,64	75	» » »	159 900	792	1,46	170,7	4,4	18 » » » »

6	»	*Sächsische St.-E.*	*34,35*	*1001,3*	*152,6*	*29,1*	*4,44*	*82,5*	*250. 26. 16*	150 020	984	1,92	221,6	6,6	
7	»	» » 1890.	45,71	1700	230,4	37,2	5,04	»	» » »	174 410	757	1,67	150,2	4,5	
8	Österreich-	Österr. Staats-E.	35,6	925	144,6	26	4,06	81	250. 25. 15	149 970	1037	1,91	255,4	7,3	16 Schwellen auf 12,5 m.
8a	Ungarn	» »	»	»	»	»	»	72	» » »	145 630	1007	1,74	245,6	6,7	18 » » » »
9	»	» » 1903. .	44,15	1441,5	205,3	32,6	4,65	81	270. 26. 16	162 270	791	1,55	170	4,8	
10	»	Ungarische Staats-E. .	33,25	910,6	141,6	27,4	4,26	97	250. $^{25}/_{17}$. 15	169 750	1199	2,37	281,6	8,6	⎫ Trapezförmige
11	»	Kais. Ferd.-Nordb.	35,34	951,4	147,2	26,9	4,17	86	240. $^{31}/_{16}$. 16	150 500	1022	1,86	245,2	6,9	⎭ Schwellen.
11a	»	» » »	»	»	»	»	»	73,1	270. 26. 16	142 580	968	1,60	232,1	5,9	
12	»	Österr. Südb. 1903	44,0	1460,7	208,5	33,2	4,74	72	240. $^{26}/_{16}$. 16	164 610	789	1,59	166,5	4,8	Trapezförm. Schwellen.
13	Niederlande	Holländ. E.	47	1488	207	31,7	4,4	92	260. 28. 15	168 100	812	1,68	184,5	5,3	
14	Belgien	Belgische St.-E.	52	1707	232	32,8	4,46	80	260. 28. 14	173 600	748	1,67	167,8	5,1	Halbrunde Schwellen.
15	Schweiz	Schweiz. Bundesb. 1902	45,9	1623	215,5	35,4	4,69	75	270. 25. 15	167 280	776	1,50	165,5	4,2	
16	»	Gotthardbahn 1890 . . .	46	1635	223	35,5	4,83	75	250. 24. 15	171 540	760	1,60	150,3	4,5	
17	Frankreich	Paris-Lyon-M.-E. 1883	43,5	1430	200	32,9	4,62	90	275. 20. 15	179 550	898	2,17	194,3	6,6	
18	»	» » » 1889	47	1585	223	33,7	4,74	85	» » »	178 510	801	2,00	168,9	5,9	
19	»	Ostbahn	44,21	1476	201	33,4	4,55	82	250. 24. 15	172 200	857	2,43	188,3	7,3	
19a	»	»	»	»	»	»	»	78	» » »	169 260	842	1,76	185,1	5,3	
20	»	Nordbahn	43,21	1466	197	33,9	4,56	80	260. 26. 13	167 100	848	1,67	186	4,9	
21	»	»	45	1630	215	36,2	4,67	80	» » »	171 670	799	1,62	171,1	4,5	

B. Stuhlschienen.

22	Deutschland	Badische St.-E. 1893 .	42,5	1357	173	31,9	4,07	80	270. 25. 15	163 520	945	1,73	232,2	5,4	
23	Frankreich	Südbahn	37,6	996	148,6	26,5	3,95	82	265. 25. 13	154 980	1043	2,00	264	7,5	
24	»	Westbahn alt	38,75	940	144,6	24,3	3,73	85	265. 22,5. 14	151 720	1049	2,11	281,3	8,7	
25	»	» neu	44,0	1264	164,2	28,7	»	83,4	» » »	163 460	996	1,96	266,9	6,8	
25a	»	» »	»	»	»	»	»	74,8	» » »	162 320	989	1,80	265	6,3	
26	England	London & North-W.-E.	44,6	1242	160	27,8	3,6	91,44	272. 25,4. 12,7	160 750	1061	2,05	294,8	7,3	
27	»	Midland-E. alt	42,2	1245	160	29,5	3,79	91,44	» » »	169 750	1061	2,05	280	6,9	
27a	»	» neu	49,8	1490	194	29,9	3,9	80,8	» » »	168 500	869	1,68	222,8	5,6	
28	»	Great Western-E. neu	48,4	1435	189	29,6	3,9	77,5	274. 25,4. 12,7	165 040	768	1,63	196,9	5,5	

Die mitgeteilten Zahlen behalten für einen Vergleich daher ihren Wert. Es muß daher als falsch bezeichnet werden, eine Gleisverstärkung ausschließlich durch eine Verstärkung der Schiene herbeizuführen, so lange die Unterschwellung noch eine Verstärkung zuläßt. Der umgekehrte Weg würde im allgemeinen wirtschaftlich und konstruktiv richtiger sein. Jedenfalls sollte man, wenn eine Verstärkung der Schiene für erforderlich erachtet wird, auch die Unterschwellung derart verbessern, daß die Schienenverstärkung möglichst vollkommen ausgenutzt wird, um so eine ausgiebige Dauerleistung des ganzen Gleises zu erhalten.

Die Abmessungen der Schienen müssen natürlich, wie schon erwähnt, so gewählt werden, daß sie auch im abgenutzten Zustande noch den Betriebsanforderungen genügen. Welches Maß der Abnutzung beim Entwurf einer Schiene zugrunde zu legen ist, richtet sich nach den bei der betreffenden Bahn gemachten Erfahrungen, die je nach den örtlichen und Betriebsverhältnissen voneinander abweichen können.

§ 13. Länge der Schienen. — a. Schienen gewöhnlicher Länge. — Da die Schiene mit steigender oder abnehmender Luftwärme länger oder kürzer wird, so muß beim Zusammenstoße zweier Schienen eine Lücke — die Wärmelücke — offen bleiben, um die Wärmeausdehnung zu ermöglichen. Die Wärmelücke muß um so größer sein, je länger die einzelnen Schienen sind und da zu große Wärmelücken für den sicheren und dauernd guten Bestand eines Gleises schädlich sind, so ist auch in dem Maße der zulässigen größten Wärmelücken und der in dem betreffenden Bahngebiete vorkommenden größten Wärmeunterschiede eine Grenze für die Länge der Schienen gegeben. Da es übrigens beim Verlegen eines Gleises kaum möglich ist, die Wärme der Schienen genau zu messen, so müssen die Lücken zwischen den Schienenenden etwas größer gemacht werden, als der für die Ausdehnung der Schienen erforderliche Zwischenraum es bedingt. Diese vergrößerten Lücken — die Stoßlücken — sind bei der Bemessung der Schienenlänge in Betracht zu ziehen[78]). Ferner ist die Länge der Schienen abhängig von dem Gewichte, das man behufs leichter Handhabung der einzelnen Schienen nicht glaubt überschreiten zu sollen. Hiernach wären im Interesse leichter Handhabung und kleiner Stoßlücken kurze Schienen erwünscht, anderseits bieten aber lange Schienen so erhebliche Vorteile, daß man trotz der vergrößerten Stoßlücken und der mit zunehmendem Gewichte schwieriger werdenden Handhabung zielbewußt zu immer größeren Schienenlängen übergangen ist.

Die schwächsten Punkte eines Gleises sind nämlich immer die Schienenstöße. Es liegt daher in der Verringerung der Zahl dieser schwachen Punkte stets eine wesentliche Verbesserung des Gleises. Auch ist durch Theorie und Erfahrung erwiesen[79]), daß die Gleisbeanspruchung sowohl den lotrechten wie den Seitenkräften gegenüber mit zunehmender Länge der Schienen abnimmt, sowie daß auch die aufzuwendende Zugkraft bei langen Schienen geringer ist, als bei kurzen.

Die Eisenbahnverwaltungen haben daher immer das Bestreben gehabt, die größte Länge, die nach Maßgabe des zu verwendenden Materials und der Art der Herstellung bei Massenerzeugung in verlangter Güte und Gleichmäßigkeit zu erreichen war, auch wirklich zu benutzen. So lange die Schienen aus Gußeisen hergestellt wurden, war eine größere Länge als etwa 1 m nicht zu ermöglichen. Mit Einführung

78) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893, S. 61.

79) Siehe Ast, Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material, Bericht über die Frage V A des internat. Eisenbahnkongresses zu Petersburg, Wien 1892, S. 56, 67, 76.

des Schmiedeeisens und des Walzverfahrens stieg die Länge aber alsbald 1820 auf 15′ englisch (4,57 m) und wuchs bis 1850 auf 6 bis 7 m. Im Gebiete des V. d. E. V. kamen 1868 Längen von 5,65 bis 7,5 m vor und in anderen Ländern lagen die Verhältnisse ähnlich. Größere Längen waren beim Schweißeisen mit dem Verfahren des Paketierens nicht angebracht, schon die Länge von 7,5 war eine ungewöhnliche, meistens wurde 6,6 m nicht überschritten.

Auch beim Übergange zu Stahlschienen scheute man sich größere Längen anzunehmen, weil man die Güte und Gleichmäßigkeit des Stoffes noch nicht zu beurteilen vermochte und bei Bruch oder sonstigem Schaden an den Schienen zu viel Verlust an dem teuren Materiale fürchtete. Aber schon 1878 wurden auf der Technikerversammlung des V. d. E. V. zu Stuttgart Längen von 7,5 bis 10 m bei Eisen- und von 7,5 bis 12 m bei Stahlschienen empfohlen. Nach 1880 ging man bei gleichzeitiger Einführung des Flußstahles fast überall zu Längen von 9 und mehr Metern über. Im Jahre 1884 sprachen sich alle Verwaltungen des V. d. E. V. über die mit der Verlängerung der Schienen gemachten Erfahrungen günstig aus[80]). W. Ast empfiehlt in seinem oben in der Fußnote genannten Berichte zu Frage V A des internationalen Eisenbahnkongresses von 1892 den Übergang zu Schienen von 12 bis 15 m, womit man inzwischen auch tatsächlich in Deutschland, Österreich, Frankreich und in anderen Ländern vorgegangen ist. Besonders werden Schienen von 12 m Länge vielfach benutzt. Sie sind von den preußisch-hessischen und andern deutschen Staatseisenbahnen als Regel, sowie in der Schweiz, in Frankreich usw. vielfach angenommen. Einzelne Bahnen verwenden auch schon Schienen von 18 m Länge. Dabei muß den Stoßlücken aber schon eine unangenehme Größe gegeben werden. Die T. V. von 1897 besagen: »Die Schienen sollen . . . in Längen von nicht weniger als 6 m verwendet werden. Größere Längen, jedoch nicht über 15 m, werden empfohlen«, und der internationale Eisenbahnkongreß von 1892 erklärte: »Die Vergrößerung der Schienenlänge bietet ein vorzügliches Mittel zur Verbesserung des Gleises, aber da sie gleichzeitig eine Vergrößerung der Stoßlücken erfordert, so verlangt sie auch eine Erhöhung der Steifigkeit der Stoßverbindung.« Merkwürdigerweise hat sich allerdings der nordamerikanische Bahnmeister-Verein gegen größere Längen als 9 m ausgesprochen[81]), aber die angeführten Gründe können nicht als stichhaltig anerkannt werden.

Das Verlangen nach größerer Tragfähigkeit und Steifigkeit der Stoßverbindung läßt sich übrigens auch aus der Erhöhung dieser beiden Eigenschaften bei der Schiene selbst, nicht nur aus der größeren Stoßlücke ableiten; denn die Stoßverbindung soll mindestens dasselbe leisten, wie die Schiene. In Anbetracht der Mängel unserer heutigen Stoßverbindungen, die zu heben bisher mit durchschlagendem Erfolge noch nicht gelungen ist und die durch die Vergrößerung der Stoßlücke zunehmen, sind für allgemeine Benutzung Schienenlängen von 12 bis 15 m zunächst als obere Grenze anznsehen. Diese Längen führen bei einem äußersten Wärmeunterschied von 85° C. (— 25° bis + 60°) bei größter Kälte schon Stoßlücken von mindestens 15 bis 18 mm herbei, die sich in Krümmungen sehr leicht um mehrere Millimeter vergrößern können (siehe S. 141), und im Betriebe oft noch erheblich weiter werden. Stoßlücken

80) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX. Ergänz.-Bd. 1884, S. 3.

81) Railroad Gazette 1898, 16. Sept. Tatsächlich sind amerikanische Bahnen nach ungünstigen Erfahrungen mit 18,29 m (60′) langen Schienen, wieder zu Längen von 30′ und 33′ (9,14 und 10,54 m) zurückgekehrt (Bulletin du congrès intern. des chemins de fer 1905, S. 791, Bericht von Dudley).

von 20 mm und darüber sind aber für dauernd guten Bestand des Gleises schon recht nachteilig.

b. Dagegen können größere Schienenlängen in besonderen Ausnahmefällen mit Vorteil angewendet werden. Es sind auch tatsächlich z. B. auf den preußischen Staatseisenbahnen Schienen von 18 m Länge mehrfach in Gebrauch. Dies erscheint besonders dort angebracht, wo die Wärmeunterschiede durch Abhaltung der Sonnenstrahlen, oder durch dauernde Einbettung des größten Teils der Schiene geringer sind, als gewöhnlich, beispielsweise unter Hallen und in Tunneln, sowie auf Wegeübergängen, woselbst man also die Weite der Stoßlücken geringer bemessen kann. Eine der Sonne ausgesetzte Schiene von 9 m Länge erfordert etwa dieselbe Stoßlückenweite, wie eine unter einer Halle liegende Schiene von 15 m Länge; in Tunneln kann die Länge sogar bis zu 20 m gesteigert werden[82]). Schienenstöße auf Wegeübergängen sind sehr lästig und sollten hier womöglich ganz ferngehalten werden; ebenso sollte man ihre Zahl auch auf eisernen Brücken nach Möglichkeit einschränken. Durch Verwendung von Schienen außergewöhnlicher Länge, die aber zweckmäßig in einem einfachen Verhältnisse zur gewöhnlichen Schienenlänge steht, gelingt das bei Wegeübergängen und zwar ohne Vergrößerung der Stoßlückenweite, sowie bei kleineren Eisenbrücken, bei denen sich die Wirkungen der Schienenstöße besonders verderblich geltend machen, in der Regel vollständig.

Das Walzverfahren erfordert eine so weitgehende Beschränkung der Schienenlänge, wie sie nach vorstehendem aus kontruktiven Rücksichten geboten ist, nicht; denn es werden gegenwärtig im regelmäßigen Hüttenbetriebe anstandslos Schienen von 40 bis 50 m Länge gewalzt und dann auf die gewünschten Längen geschnitten[83]).

c. Gekürzte Schienen, Ausgleichschienen. — Neben Schienen außergewöhnlicher größerer Länge kommen beim Gleisbau auch Schienen geringerer Länge vor; und zwar einesteils als sogenannte Paßstücke, die in beliebiger Länge geschnitten oder gehauen werden, um bei Anschlüssen an Weichen, bestehende Gleise usw. die Gleislücken von wechselnder Länge zu schließen, andernteils als Ausgleichschienen, die den Zweck haben, in Gleisbogen die Verkürzung des inneren gegen den äußeren Schienenstrang zu ermöglichen. Man pflegt hier grundsätzlich den Außenstrang aus Schienen gewöhnlicher Länge zu bauen. Wollte man auch in den Bogen mit derselben Schärfe an der für die Geraden gestellten Forderung festhalten, daß die Enden beider Schienen eines Gleises in einer Senkrechten zur Gleisachse liegen, so müßten für jeden Bogenhalbmesser im Innenstrang Schienen von besonderer Länge verlegt werden. Um die daraus entspringende Vielheit der Längen der Ausgleichschienen zu vermeiden, begnügt man sich in der Regel mit nur einer oder einigen wenigen Sorten von gekürzten Ausgleichschienen, die man im Innenstrange nach Bedarf in entsprechenden Abständen verlegt, wobei die möglichst genaue Mittelpunktslage der Schienenstöße durch die Bemessung der Stoßlücken im Außen- oder Innenstrang zu erreichen gesucht wird[84]). Zur Wahrung einer guten dauerhaften Anordnung des Oberbaues und einer sparsamen Gleisunterhaltung muß auf die möglichst genaue Ausrichtung der Schwellen und der Schienenenden nach dem Mittelpunkte der Gleisbogen großer Wert gelegt werden. Dies gilt besonders

[82]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893, S. 92.

[83]) Haarmann, Geschichte des Eisenbahngleises, S. 88.

[84]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 232 und 1893, S. 61.

überall da, wo die Schienenstoßverbindung und ihre Befestigung auf den benachbarten Schwellen nutzbar gemacht wird, um das Wandern der Schienen, d. h. die im Betriebe eintretenden Längsverschiebungen zu verhüten. Nun wird diese Schwellenlage selbst dann, wenn jeder Vollschiene l im äußeren Schienenstrange eine passende Ausgleichschiene l_1 im inneren Schienenzuge entspricht, die um $k_1 = \frac{1{,}5}{R} l$ (R Krümmungshalbmesser) gegen l gekürzt ist, nur dann erreicht, wenn zufällig der Bogenanfang mit einem Schienenstoße zusammenfällt. Dies tritt nur außerordentlich selten ein; und da außerdem die Kürzung der Ausgleichschienen gegen die Vollschienen (k) meistens größer als k_1 ist, so ist die schiefe Lage der Schwellen an den Stößen in gewissen Grenzen nicht zu vermeiden. Die Abweichung wird am größten, wo im Innenstrange Vollschiene und Ausgleichschiene zusammenstoßen und beträgt dort mindestens $\frac{k-k_1}{2}$, erreicht aber sehr leicht das Maß von $\frac{k}{2}$. Bei $k = 70$ mm und mehr, Maßen, die im Gebiete des V. d. E. V. vorkommen, ja sogar bis zu 117 mm wachsen, kommen also Abweichungen von 35 bis 58 mm vor, d. h. bei einem Schienenmittenabstand von 1,5 m Neigungen von 1 : 43 bis 1 : 26 gegen die Mittelpunktsrichtung.

Da das Maß der Abweichung von der Größe k abhängt, ist es sachgemäß, die Kürzung der Ausgleichschienen in so mäßigen Grenzen zu halten, daß es möglich ist, die Abweichung der Schienenenden durch Erweiterung der Stoßlücken auf eine nicht zu lange Gleislänge wieder aufzuheben, ohne daß dadurch die Stoßlücken zu groß werden. Je länger die Schienen sind, desto größer müssen die Wärmelücken, also auch die Stoßlücken bemessen werden. Es folgt daraus, daß bei langen Schienen das Maß der Kürzung (k) nicht nur nicht größer genommen werden darf, als bei kürzeren Schienen, sondern eher kleiner zu wählen ist. Rüppell schlägt in der früher genannten Quelle vor, bei Schienen von 9 und 12 m Länge k zu 45 und 40 mm zu bemessen, das führt allerdings bei Bahnen mit scharfen Krümmungen dazu, daß zwei und drei Sorten von Ausgleichschienen (l_1, l_2, l_3) in Vorrat gehalten werden müssen, die gegenüber den Vollschienen (l) und unter sich immer um dasselbe Maß ($k = l - l_1 = l_1 - l_2 = l_2 - l_3$ usw.) zu kürzen wären. Hierbei wird das Maß der Abweichung $\frac{k}{2}$ höchstens gleich 22,5 und 20 mm, bleibt also in mäßigen Grenzen und kann daher schon auf etwa 5 bis 6 Schienenlängen, also in der Regel in der Krümmung selbst ausgeglichen werden, ohne daß die Weite der Stoßlücken selbst bei größter Kälte und 85° Wärmeunterschied das Maß von 16 bis 20 mm überschreitet.

Die Bestimmung der Zahl der verschiedenen Sorten von Ausgleichschienen ergibt sich aus folgenden Betrachtungen. Es sei

$L = \frac{\alpha}{180} \cdot R\pi$ die Länge des äußeren Schienenstranges für den Mittelpunktswinkel α und den Halbmesser R,

L_1 die Länge des inneren Schienenstranges und

$K = L - L_1$ deren Längenunterschied, ferner:

l die Länge der Vollschiene,

l_x; l_{x+1} die Länge der Ausgleichschienen Nr. x; $x+1$,

$k = l_x - l_{x+1}$ der unveränderliche Längenunterschied der aufeinanderfolgenden Schienen,

$m = \frac{L}{l}$ die Anzahl der in einem Schienenstrange des Bogens überhaupt erforderlichen Schienen und

Z, Z_x, Z_{x+1} die Zahl der im Innenstrange erforderlichen Schienen der Länge l, l_x, l_{x+1},

dann wird der Krümmungshalbmesser R_x, bei dem jeder Vollschiene im Außenstrang eine Ausgleichschiene l_x im Innenstrang entspricht:

$$R_x = \frac{1{,}5\, l}{x \cdot k}$$

und die Länge der einem beliebigen Halbmesser und der Vollschiene l entsprechenden Ausgleichschiene:

$$\lambda = (R - 1{,}5)\,\frac{R}{l}.$$

Soll diese Schiene λ durch die Schienen l_x und l_{x+1} ersetzt werden, so muß sein:

$Z_{x+1} : Z_x = l_x - \lambda : \lambda - l_{x+1}$, und da

$l_x = l - xk$; $l_{x+1} = l - (x+1)\,k$; $Z_x + Z_{x+1} = m$ ist, so wird:

(1) $$Z_x = m\left(x + 1 - \frac{1{,}5\, l}{k \cdot R}\right) \text{ und}$$

(2) $$Z_{x+1} = m\left(\frac{1{,}5\, l}{k \cdot R} - x\right).$$

Da K nicht durch k ohne Rest teilbar, vielmehr $K = nk \pm u$ sein wird, so muß n so gewählt werden, daß $u \leqq \frac{k}{2}$ bleibt, damit die Abweichung von der Mittelpunktsrichtung nicht über $\frac{k}{2}$ steigen kann; wird dabei u positiv, so müssen die Stoßlücken des Außenstranges, wird u negativ, diejenigen des Innenstranges um das Maß $\frac{u}{m}$ erweitert werden.

Aus den Gleichungen (1) und (2) ist die Zahl der um je 40 mm gekürzten Ausgleichschienen bei 12 m langen Vollschienen wie nachstehend angegeben berechnet.

Hieraus ist zu ersehen, daß trotz der geringeren Verkürzung der Ausgleichschienen für alle größeren Halbmesser, also für die Hauptgleise der meisten Hauptbahnen, eine Sorte von Ausgleichschienen genügt und daß eine größere Sortenzahl erst bei Bahnen mit scharfen Bogen notwendig wird.

Bei den Vorteilen, die Ausgleichschienen mit geringerer Verkürzung gegenüber solchen der früher vielfach üblichen Art mit einer Kürzung von 70 mm und mehr in konstruktiver Hinsicht und mit Rücksicht auf eine gute Gleislage bieten, erscheint die geringe Diensterschwernis, die aus der Bereithaltung und Verwendung mehrerer Sorten von Ausgleichschienen entspringt, nebensächlich. Demgemäß haben auch in zunehmendem Maße — so z. B. bei den badischen, preußischen und andern deutschen Staatsbahnen, sowie auch außerhalb Deutschlands — Ausgleichschienen mit geringer Kürzung Eingang gefunden. Am weitesten geht in dieser Hinsicht die badische Staatseisenbahn, die gegenüber der Vollschiene von 12 m Länge elf verschiedene Ausgleichschienen eingeführt hat, deren Längen immer um je 10 mm abnehmen, so daß die kürzeste Schiene eine Länge von 11,89 m hat.

Krümmungshalbmesser	Auf 1000 Schienen sind im Innenstrang zu verlegen: Vollschiene $l = 12$ m; Ausgleichsch. $l_1 = 11{,}960$ m, $l_2 = 11{,}920$ m, $l_3 = 11{,}880$ m			
	Stückzahl			
m	l	l_1	l_2	l_3
3000	850	150		
2000	775	225		
1500	700	300		
1000	550	450		
750	400	600		
600	250	750		
500	100	900		
450		1000		
400		875	125	
350		714	286	
300		500	500	
275		364	636	
250		200	800	
240		125	875	
230		43	957	
225			1000	
220			955	45
210			857	143
200			750	250
190			684	316
180			500	500

§ 14. Neigung der Schienen. — Bei den meisten Eisenbahnen Europas erhalten die Schienen eine gewisse Neigung nach innen. In Deutschland und Österreich-Ungarn beträgt sie 1 : 20 bis 1 : 16. Die T. V. bestimmen hierüber in § 7[1]: »Eine nach innen geneigte Stellung der Schienen mit einer Neigung von 1 : 20 wird empfohlen.« Auch ist für die Eisenbahnen des V. d. E. V. in § 70[6] der T. V. für die Lauffläche der Radreifen die Kegelform vorgeschrieben und auch hier die Neigung von 1 : 20 empfohlen. Der Zweck der Schienenneigung ist, den vorzugsweise nach außen gerichteten Seitenkräften, die von den Rädern auf die Schienen ausgeübt werden, schon durch die Stellung der Schienen einen möglichst großen Widerstand entgegenzusetzen und die kegelförmigen Radreifen der Eisenbahnfahrzeuge möglichst mit der Schienenmitte und nicht nur mit der Innenkante des Schienenkopfes zu unterstützen. Die Kegelform der Radreifen beruht auf der Annahme, daß solche Räder in geraden Strecken die Fahrzeuge möglichst genau in der Gleismittellinie führen (s. S. 118 und das Kapitel Bahn u. Fahrzeug) und in den Bogen gleichmäßiger und mit geringerem Widerstande abrollen, als Räder mit zylindrischen Reifen. Diese Annahme ist aber insofern nicht ganz zutreffend, als, wie schon unter II, § 8 S. 88 gezeigt wurde, sich keineswegs bei allen Achsen eines Fahrzeuges die Außenräder scharf an die Außenschiene anlegen, sondern daß vielmehr ein Anlaufen der Innenräder an die Innenschiene eintreten kann. Bei derartig laufenden Achsen ist aber die Kegelform der Radreifen für ein gleichmäßiges Abrollen beider Räder schädlich, weil der Rollkreis

des Innenrades größer wird, als der Rollkreis des Außenrades. Es hat daher nicht an wiederholten Vorschlägen gefehlt, die Kegelform der Radreifen durch die zylindrische Gestalt zu ersetzen, sowie auch die Schienen lotrecht zu stellen (s. S. 118) und diese Vorschläge sind besonders in Nordamerika auch in ausgedehntestem Maße befolgt worden, indem dort lotrecht stehende Schienen ziemlich allgemein üblich sind.

Den nach außen gerichteten Seitenkräften bietet eine lotrecht stehende Schiene weniger Widerstand, als eine nach innen geneigte, und es mag diese Tatsache vielleicht nicht ohne Einfluß darauf gewesen sein, daß gerade die nordamerikanischen Schienen gegenüber den europäischen eine unverhältnismäßige Fußbreite besitzen, um hierdurch die durch die lotrechte Stellung herbeigeführte Verminderung des Widerstandes gegen Seitenkräfte in etwas auszugleichen.

Die Neigung der Schiene wird entweder durch entsprechende Form der Schienenunterlagen hergestellt und gesichert, oder man bedient sich dazu besonderer, geneigter Zwischenmittel. Bei den Stuhlschienen ist das letztere Verfahren schon längere Zeit ziemlich allgemein, indem die Stühle eine die Schienenneigung sichernde Form erhalten. Bei Breitfußschienen herrschte das erstere Verfahren lange vor, ist aber wenigstens in Deutschland mehr und mehr verschwunden, indem hier keilförmige Unterlagsplatten in immer ausgedehnterem Maße Eingang gefunden haben. Das Nähere hierüber findet sich im Abschnitt IV und V dieses Kapitels.

Schließlich ist noch der Vorschläge und Versuche zu gedenken, die Neigung der Schienenlauffläche durch entsprechende Formung der Schiene herzustellen, sei es, daß die Schiene in lotrechter Stellung eine schräge, nach innen geneigte Fahrfläche erhält, oder daß man der Schiene bei wagerechtem Fuß eine nach innen geneigte Gestalt gab (Schrägschiene). Solche Schienen haben niemals eine weitere Verbreitung gefunden. Sie sind im Gleis nicht in beliebiger Weise verwendbar, auch bieten lotrechte Schienen mit geneigter Lauffläche den Seitenkräften keinen größeren Widerstand, als gewöhnliche lotrecht stehende Schienen.

Wenn in den Weichen die Schienen lotrecht stehen, was oft geschieht, so pflegt man auch in kurzen Gleisstücken zwischen den Weichen die Schienenneigung wegzulassen, um keine Übergangskonstruktionen zwischen den Gleisen mit geneigten und lotrechten Schienen nötig zu haben.

IV. Die Schienenunterlagen.

§ 15. Einteilung. — Die Schienenunterlagen sind zu unterscheiden entweder nach dem Material in Holzunterlagen, Eisenunterlagen und Unterlagen aus sonstigen Stoffen, oder nach der Lage zur Gleisachse in Querschwellen, Langschwellen und Einzelunterlagen.

Holzunterlagen kommen zurzeit nur noch als Querschwellen in Betracht; Eisenunterlagen als Querschwellen, sowie als Einzelunterstützungen, in geringer Zahl auch noch als Langschwellen, die aber wenigstens aus Hauptgleisen bald verschwunden sein werden (siehe § 4); die Unterlagen aus sonstigen Stoffen — fast ausschließlich Stein — kommen vorzugsweise als Einzelunterstützungen vor. Steinunterlagen sollen aber im Gebiet des V. d. E. V. nach § 12 der T. V. nur bei Nebengleisen für besondere Zwecke verwendet werden.

A. Holzquerschwellen.

§ 16. Holzarten; deren Verhalten und Wert. — Bei der Auswahl der Holzarten für die Eisenbahnschwellen ist man in erster Linie auf die in dem Verwendungslande und den angrenzenden Gebieten vorkommenden Waldhölzer angewiesen. Da diese in verschiedenen Erdteilen und Ländern große Mannigfaltigkeit zeigen, so weisen auch die zu den Schwellen verwendeten Holzarten große Verschiedenheit auf. Im mittleren und nördlichen Europa wurde ursprünglich vorzüglich die Eiche zu Schwellen verwendet, die unter den vorkommenden Holzarten im natürlichen Zustande die haltbarsten Schienenunterlagen liefert. Seit man aber gelernt hat, andere Holzarten durch künstliche Mittel in wirksamer Weise gegen Fäulnis zu schützen, finden auch weniger kostspielige Hölzer, namentlich Kiefern-, Lärchen- und neuerdings Buchenholz steigende Verwendung. Im Westen Europas sind, wegen des hohen Preises des Eichenholzes, diese letzteren Hölzer schon früher in ausgedehnterem Maße zur Verwendung gekommen als in Deutschland und Österreich-Ungarn.

Nordamerika, das über viele vorzügliche Holzarten verfügt, zeigt eine reiche Auswahl verschiedener Schwellenhölzer. Am häufigsten ist zwar auch dort Eichenholz und nächstdem Yellowpine (Gelbkiefer); doch sind auch Wachholder und Edelkastanie, die übrigens auch in Frankreich eine gewisse Verwendung findet, nicht selten.

In den verschiedenen tropischen Ländern und den anschließenden heißen Gebieten der gemäßigten Zonen sind vielfach einheimische Holzarten zu Schwellen verwendet worden, so Jarrah (Mahagoni) in Australien, Gummibaum und Teakholz in Indien, Kampherbaum in Südafrika, aber meistens mit zweifelhaftem Erfolge, weil Würmer und Insekten in der Regel jede Holzart rasch zerstören. Dagegen ist neuerdings in Südamerika das Quebrachoholz mit sichtlichem Erfolge zur Verwendung gekommen. Es ist 1,5mal schwerer als Eichenholz, dabei so fest, daß hineingetriebene Nägel und Schrauben mit den sonst gewöhnlichen Mitteln daraus nicht wieder entfernt werden können, und enthält 15 bis 20 v. H. seines Gewichtes an Tannin, wodurch es der Fäulnis sehr wirksam widersteht[85]). Quebracho heißt bezeichnenderweise Axtbrecher, und es scheint, als ob dies Holz dem Eichenholz noch überlegen wäre. Auch in Europa ist es versuchsweise zur Anwendung gekommen.

Das Verhalten der Holzarten im Gleis ist verschieden, einmal je nach dem Widerstande des Holzes gegen die mechanischen Angriffe und zum zweiten je nach seiner mehr oder minder raschen Vergänglichkeit durch Fäulnis. Hartes Holz leistet den äußeren Angriffen mehr Widerstand als weiches; da Eichenholz auch bezüglich der natürlichen Dauer gegenüber den Einwirkungen der Fäulnis allen unseren anderen in Betracht kommenden Hölzern überlegen ist, so gilt es für Eisenbahnschwellen als das geeignetste und wertvollste. Dagegen ist Buchenholz, trotz seiner großen Härte, im natürlichen Zustande minderwertiger als die Weichhölzer, weil es viel rascher als diese der Fäulnis erliegt. Seit es aber gelungen ist, auch Buchenholzschwellen in wirksamer Weise mit fäulniswidrigen Stoffen zu durchtränken, wird von vielen Eisenbahntechnikern das Buchenholz dem Kiefernholz, das von den Weichhölzern das brauchbarste ist, vorgezogen, ja selbst dem Eichenholz gleichgestellt. Die

[85]) Zeitung d. V. d. E. V. 1894, S. 334.

Verwendung von Buchenholz zu Schwellen hat daher im Gebiete des V. d. E. V. stark zugenommen, wie aus nachstehender Nachweisung über die verschiedenen Holzarten der Schwellen hervorgeht, und noch stärker ist die Zunahme in Frankreich. In Deutschland zeigt namentlich auch die Verwendung des Kiefernholzes eine nicht unbedeutende Zunahme, während die Verwendung des Eichenholzes überall verhältnismäßig abnimmt. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung in dem Umstande, daß sich die Kosten einer getränkten Eichenholzschwelle zu denjenigen einer ebensolchen Kiefernholzschwelle im mittleren Gebiete des preußisch-hessischen Staatsbahnbezirkes etwa verhalten wie 1 : 0,68, während sich, wie weiter unten noch näher dargelegt wird — gute Tränkung und gute Befestigungsmittel vorausgesetzt — die Dauer etwa verhält wie 1 : 0,8. Und bei Buchenschwellen, deren Preis bei Tränkung mit Teeröl noch etwas unter dem getränkter Eichenschwellen bleibt, ist die Gebrauchsdauer der der letzteren mindestens gleich. Bei Bahnen mit geringem und mäßigem Verkehr ist daher die Verwendung der billigeren Holzarten durchaus am Platze.

Nachweisung

der im Gebiete des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen von 1880 bis 1902 zu Eisenbahnschwellen verwendeten Holzarten.

Nr.	Jahr	Deutsche Eisenbahnen			Österr.-Ung. Eisenbahnen			Alle Vereinsbahnen			Bemerkungen
		Von den vorhandenen Schwellen waren aus:									
		Eichenholz	Buchenholz	Nadelholz	Eichenholz	Buchenholz	Nadelholz	Eichenholz	Buchenholz	Nadelholz	
		in Hundertteilen			in Hundertteilen			in Hundertteilen			
1	1880	55,96	1,16	42,88	66,59	3,33	30,08	59,29	1,72	36,45	Die Quersummen der Hundertteile bei allen Vereinsbahnen ergeben nicht 100, weil bei einigen Bahnen die Holzart der Schwellen nicht angegeben ist.
2	1885	55,48	1,26	43,26	68,14	4,97	26,89	60,01	2,44	34,64	
3	1890	50,49	3,39	46,12	68,05	9,61	22,34	58,35	5,34	34,84	
4	1895	42,88	4,92	52,20	66,21	11,90	21,89	54,14	7,07	36,62	
5	1897	39,73	4,77	55,50	66,91	11,61	21,48	52,83	6,92	38,12	
		Von den jährlich verwendeten Schwellen waren aus:									
		Eichenholz	anderem Laubholz	Nadelholz	Eichenholz	anderem Laubholz	Nadelholz	Eichenholz	anderem Laubholz	Nadelholz	
		in Hundertteilen			in Hundertteilen			in Hundertteilen			
6	1898	20,35	2,90	76,75	57,00	14,87	28,13	43,90	8,92	47,18	
7	1899	22,53	2,53	74,94	59,07	15,72	25,21	47,08	9,00	43,92	
8	1900	19,04	2,55	78,41	58,69	16,31	25,00	43,69	10,07	46,24	
9	1901	18,16	3,77	78,07	63,07	13,98	22,95	45,71	9,30	44,99	
10	1902	18,00	4,89	77,11	65,92	9,29	24,79	45,41	7,03	47,56	

Übrigens spielen die klimatischen Verhältnisse auch in der gemäßigten Zone bei dem Verhalten der verschiedenen Holzarten mit. Je gleichmäßiger die Witterung, besonders bezüglich der Feuchtigkeit ist, desto länger werden Hölzer, die rascher Fäulnis unterliegen, halten. Es mag dies mit ein Grund dafür sein, daß in England, trotz der starken Inanspruchnahme der Gleise, verhältnismäßig sehr viele Weichholzschwellen verwendet werden und den hohen Betriebsanforderungen genügen.

§ 17. Maß und Form der Schwellen. — Sowohl die Länge, als auch die Querschnittsform der Querschwellen sind in verschiedenen Zeiten und Ländern sehr

verschieden gewählt worden. Nach § 13 der T. V. soll die Länge für Hauptbahnen nicht weniger als 2,40 m betragen, es werden aber größere Längen bis 2,70 m empfohlen. Tatsächlich sind mehrere große Verwaltungen — preußisch-hessische, sowie andere deutsche Staats-Eisenbahnen, Reichseisenbahnen, Kaiser-Ferdinands-Nordbahn u. a. — entweder allgemein oder bei stark belasteten Strecken zu der Länge von 2,70 m übergegangen, die in England auf den Hauptbahnen schon länger ziemlich

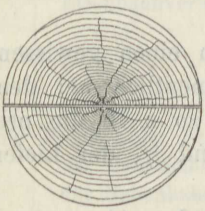


Abb. 55.

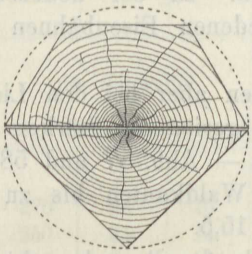


Abb. 56.

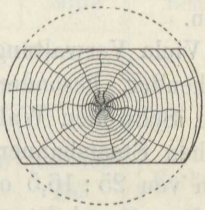


Abb. 57.

allgemein üblich und auch in Frankreich mehrfach vertreten ist. Dagegen kann für Nebenbahnen eine Länge bis herab zu 2,30 m ausreichend sein[86]).

Als Querschnittsform findet man das Dreieck, den Halbkreis, das Trapez und das Rechteck, wobei die Kanten oft in mehr oder minder unregelmäßiger Weise abgestumpft sind — sogenannte Waldkanten. — Bei der Dreiecksform liegt die breite Seite nach oben, die Spitze nach unten, bei allen anderen Formen dagegen wird die breite Seite nach unten gelegt (Abb. 55 bis 58). Schwellen dreieckigen Querschnittes kommen nur noch auf Eisenbahnen mit schwachem Verkehr vor, besonders in Nordamerika und Skandinavien; auch halbrunde Schwellen sind mehr und mehr von den tragfähigeren trapezförmigen und rechteckigen verdrängt worden, aber doch auf stark befahrenen Hauptstrecken Europas immer noch benutzt, z. B. von den belgischen Staatseisenbahnen und in Rußland. Wie die Längen, so weisen auch die Breiten und Stärken der Schwellen große Verschiedenheiten auf. Die kräftigsten Schwellen findet man im allgemeinen in Deutschland und Österreich-Ungarn, wo Breiten von 25 bis 26 cm und Stärken von 15 bis 16 cm üblich sind. Auch in England ist eine Breite von 25,4 cm üblich und in Frankreich, wo man sich früher vielfach mit einer Breite von 20 cm begnügte, werden neuerdings gleichfalls größere Breiten bis zu 28 cm bevorzugt. In Nordamerika geht man dagegen bis zu Breiten von 20 cm herab. Hinsichtlich der Stärke begnügt man sich in Frankreich und Belgien vielfach mit 14 und 13 cm, in England sogar ziemlich allgemein mit 12,7 cm. Bei vielen Bahnen wird auch zwischen Stoß- und Mittelschwellen unterschieden, indem man

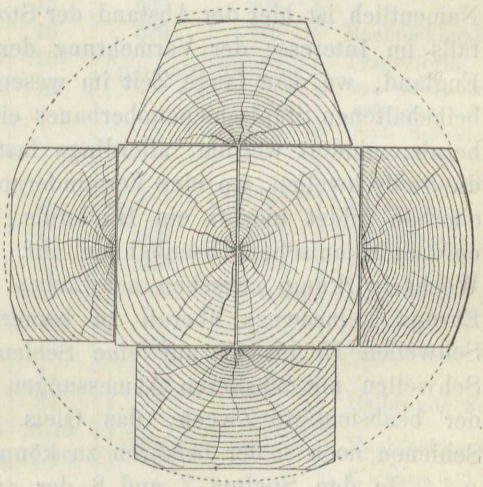


Abb. 58.

[86]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX. Ergänz.-Bd. 1884, S. 6.

den dem Schienenstoß benachbarten Schwellen größere Breite, zuweilen auch größere Länge gibt als den übrigen, oder indem man wenigstens zu ersteren unter den Schwellen von annähernd denselben Abmessungen die größter Breite und bester Vollkantigkeit aussucht. Die Beschaffung besonderer, in den Abmessungen stärkerer Stoßschwellen war namentlich früher, solange der Schienenstoß unmittelbar unterstützt wurde, weit verbreitet, ist aber mehr und mehr zugunsten des zweiten Verfahrens zurückgedrängt worden. In der nebenstehenden Nachweisung sind die Abmessungen der bei verschiedenen Eisenbahnen üblichen Holzquerschwellen angegeben.

Viele Verwaltungen lassen aber bei den Lieferungen einen gewissen Anteil abweichender, besonders auch geringerer Stärken und namentlich bei den rechteckigen Schwellen Waldkanten — Abb. 57 und 58 — zu, so z. B. die preußisch-hessischen Staatsbahnen obere Waldkanten bis zu 6 cm und $^1/_5$ der Lieferung in Stärken von 25 : 16,5 oder 27 : 15,5.

Das Gewicht einer Holzschwelle schwankt je nach den Abmessungen, der Holzart und dem Feuchtigkeitsgehalt etwa zwischen 40 und 90 kg; die in Deutschland üblichen Schwellen wiegen bei 2,5 m Länge bei Kiefernholz im Durchschnitt etwa 50 kg, bei Eichenholz etwa 75 kg.

§ 18. Abstand der Schwellen. — Dieser hat im Laufe der Zeiten abgenommen, besonders auf dem europäischen Festlande, wo man in der Verringerung des Schwellenabstandes ein willkommenes Mittel zur Verstärkung des Oberbaues fand. Namentlich ist hier der Abstand der Stoßschwellen erheblich ermäßigt worden, gleichfalls im Interesse der Vermehrung der Widerstandsfähigkeit des Gleises. Auch in England, wo man lange Zeit im wesentlichen an dem mit Einführung des bis heute beibehaltenen Stuhlschienenoberbaues eingeführten Abstand festhielt, ist er neuerdings herabgemindert worden, allerdings fast nur für die Mittelschwellen und weniger für die Stoßschwellen, wo eine Verminderung viel wichtiger wäre; aber der Stuhlschienenoberbau bildet hierfür ein Hindernis. Den kleinsten Schwellenabstand weisen die nordamerikanischen Eisenbahnen auf. Dort ist auch eine sachlich durchaus richtige Wechselwirkung zwischen schwachen Schwellen und enger Schwellenlage, die in Europa keineswegs überall zu bemerken ist, unverkennbar, indem bei schmalen Schwellen 15 bis 17 auf eine Schienenlänge von 9,14 m kommen, während bei Schwellen mit stärkeren Abmessungen nur 12 bis 14 verlegt werden[87]). Damit ist der beabsichtigte Zweck, das Gleis auch bei schwachen oder stark abgenutzten Schienen noch sicher befahren zu können, augenfällig erreicht.

In den Spalten 7 und 8 der auf S. 149 mitgeteilten Nachweisung sind die Abstände der Schwellen der neuesten Oberbauarten der betreffenden Eisenbahnverwaltungen angegeben. Der Abstand am Schienenstoß pflegt wesentlich kleiner gewählt zu werden als der der übrigen Schwellen, welche entweder unter sich gleichen oder vom Stoß nach der Mitte zunehmenden Abstand erhalten.

So ist z. B. für Hauptlinien der Schwellenabstand von Anfang und Mitte der achtziger Jahre bis 1904 verringert worden: bei den preußischen Staatseisenbahnen am Stoß von 667 auf 500 bis 530 und in der Schienenmitte von 927 auf 700 bis 858 mm, bei den Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen ebenda von 607 und 1000 auf 340 bis 600 und 667 bis 800 mm, bei den bayerischen Staatseisenbahnen in der

[87]) Zeitschr. f. Bauwesen 1894, Heft 4; Bulletin du congrès international des chemins de fer, 1905, S. 659, Bericht von J. W. Kendrick über die Frage der Holzschwellen.

Nachweisung der Abmessungen

der bei verschiedenen Eisenbahnverwaltungen in Gebrauch befindlichen Holzquerschwellen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr.	Land	Eisenbahnverwaltung	Länge der Schwelle mm	Breite der Schwelle mm	Dicke der Schwelle mm	Schwellenabstand am Stoß der Schiene mm	Schwellenabstand in der Mitte der Schiene mm	Bemerkungen
1	Deutschland	Preuß.-hess. St.-Eisenb. für Hauptbahnen . .	270	26	16	500 u. 530	700—858	Rechteckige Form
2	»	für Nebenbahnen . .	250	25	14	530	852	
3	»	Reichseisenb. in E.-L. .	270	26	16	340 u. 600	667—800	» »
4	»	Bayerische St.-E. . . .	270	26	16	420	704—800	» »
5	»	Sächsische St.-Eisenb. Mittelschwellen . . .	250	26	16	540	830	» »
		Stoßschwellen	270					
6	»	Württemb. St.-E. . . .	270	26	16	500	750 u. 800	» »
7	Österreich-Ungarn	Österreich. St.-E. . . .	250	25	15	480 u. 500	720—810	» »
8		» » . . .	250	15 zu 25	15			Trapezform
9	» »	Ungarische St.-E. . . .	250	17 zu 25	15	560	908	»
10	» »	Österr.-Ung. St.-E.-G. .	250	26—30	16	520	776	Rechteckige Form
11	» »	Öster. Südbahn	240	13 zu 26	16	400 u. 510	720 u. 800	Trapezform,
12	» »	Stoßschwellen	240	18 zu 30	16			es kommen aber auch rechteckige und halbrunde Schwellen zur Verwendung.
13								
14	» »	Kais.-Ferd.-Nordb. . . .	270	26	16	474	731 u. 785	Rechteckige Form
15	» »	» » » . . .	240	17 zu 25	15			Trapezform
16	Niederlande	Staats Eisenb.-G. . . .	260-270	25	15	600	980	Rechteckige Form
17	»	Holländ. Eisenb.-G. . .	260	28	15	620	920	» »
18	Belgien	Belgische Staatsb. . . .	260	28	14	600	700 u. 800	Halbrunde Form
19	Schweiz	Bundesbahnen	270	25	15			
20	»	Gotthardbahn	250	24	15	355	750	Rechteckige Form
21	Frankreich	Paris-Lyon-Mittelm.-E. .	260	21	14	540	bis 1000	» »
22	»	» » » » .	260	28	14			Halbrunde Form
23	»	Ostbahn, Eiche	250-260	21—25	13-15	420 u. 600	bis 1000	Rechteckige Form
	»	» Buche	255-275	21—25	13-16			
24	»	Nordbahn	260	26	13	480	850	F. schwere Schienen: Rechteckige Form
25						600	850	F. leichte Schienen: Rechteckige Form
26	»	Südbahn, Eiche	265-275	24—28	12-14	600	980	Rechteckige Form
27	»	» Kiefer	»	26—32	12-16			
28	Italien	Medit.-E.	260	24	14	590	890	» »
	England	Midl. E.-G. und andere						
29		englische Bahnen . .	272	25,4	12,7	666	808—914	» »
30	»	Lanc. und Yorksh. E.-G.	274	25,4	12,7	610	864	» »
31	»	Nordostbahn	274	25,4	12,7	711	838	» »
32	»	Great Western-Bahn . .	274	25,4	12,7	636	775	» »
	Rußland	Russische St.-E.	254-270	20—31	13,5	507—559	900	Halbrunde und rechteckige Form
33								
34	Nordamerika	Pennsylvania-E.	258	25	16	504	580	Rechteckige Form
	»	Versch. Verw.	244	20,3	15,2	500	bis 600	» »

Schienenmitte von 900 auf 800, ebenda bei den österreichischen Staatseisenbahnen und der Kaiser-Ferdinands-Nordbahn von 900 und 966 auf 810 und 785 mm usw.

In der Veränderung der Zahl und des Abstandes der Schwellen hat man ein willkommenes Mittel, bei derselben Schiene und sonst unverändertem Oberbau je nach der Inanspruchnahme der Bahn durch die Zahl, das Gewicht und die Schnelligkeit der Züge und je nach der Beschaffenheit der Bettung und des Untergrundes ein mehr oder minder widerstandsfähiges Gleis herzustellen. Die preußischen Staatseisenbahnen verwenden z. B. gegenwärtig auf eine Schienenlänge von 12 m für Nebenbahnen nur 13 bis 14 Schwellen von 2,50 m Länge und für Hauptbahnen je nach deren Bedeutung 16 bis 18 Schwellen von 2,70 m Länge. Auch andere deutsche und österreichisch-ungarische Bahnen verfahren nach solchen Grundsätzen, und diese sind auch von den schweizerischen und den großen französischen Bahnen angenommen. So verlegt die französische Nordbahn ihre 12 m langen Schienen auf 12 bis 16 Schwellen, je nach der Zuggeschwindigkeit, und die französische Westbahn unterscheidet Strecken mit 15 und 18 Schwellen auf eine Schiene von 12 m[88]).

Wie weit man mit dem Schwellenabstand herabgehen kann, ohne das von der Seite der Schwelle aus zu bewirkende Unterstopfen zu beeinträchtigen oder wesentlich zu erschweren, hängt zum Teil von der Form und Stärke der Schwelle ab. Schwellen mit starker oberer Seitenabkantung und geringer Stärke lassen sich auch bei kleinerem Abstande noch leichter stopfen als vollkantige, rechteckige und starke Schwellen. Immerhin scheint es nach den bisherigen Erfahrungen, daß man auch bei Schwellen letzter Art bis zu 420 mm und vielleicht noch weiter herabgehen kann.

§ 19. Herstellung und Zubereitung der Schwellen. — Die Holzschwellen werden entweder aus schwachen oder starken Stämmen gewonnen. In ersterem Falle gibt der Stammquerschnitt bei rechteckiger Form in der Regel nur eine, bei halbrunder, dreieckiger und trapezförmiger Gestalt je zwei Schwellen (Abb. 53 bis 55, S. 147); in letzterem Falle werden aus einem Stammquerschnitt mehrere rechteckige oder trapezförmige Schwellen geschnitten (Abb. 58, S. 147). Im allgemeinen gelten die aus größeren Stämmen, also aus älterem Holze geschnittenen Schwellen als die besseren, vorausgesetzt allerdings, daß sie nicht in zu weitgehendem Maße dem Außenrande entnommen sind und daher zu viel Splintholz enthalten. Um dem möglichst sicher vorzubeugen, bevorzugen deshalb viele, besonders amerikanische Verwaltungen die Gewinnung nur je einer rechteckigen Schwelle aus schwächeren, also jüngeren Stammquerschnitten. Bei Buchenholz wird der sog. rote Kern ausgeschlossen.

Die Schwellen sollen womöglich aus Holz hergestellt werden, das möglichst saftlos, also im Winter geschlagen ist, auch ist es gut, wenn das Schneiden und Zubereiten der Schwellen nicht zu spät nach dem Schlagen des Holzes erfolgt; ganz besonders gilt das vom Buchenholz[89]). Bei den preußisch-hessischen Staatsbahnen ist vorgeschrieben, daß das Holz in der Zeit vom 1. November bis 1. März und bei Eichen und Kiefern nicht länger als 18 Monate, bei Buchen nicht länger als 9 Monate vor der Anlieferung der bearbeiteten Schwellen geschlagen sein soll. Auch bei anderen Verwaltungen gelten ähnliche Vorschriften, es werden aber auch Stimmen laut, die die Bedingung der Winterschlagezeit nicht für sachgemäß halten und namentlich darauf hinweisen, daß sich im Saft gefälltes Holz jedenfalls besser tränken lasse

[88]) Revue générale des chemins de fer 1890, Jan., S. 22. Bericht von Hertzenstein zu Frage VIII der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901.

[89]) Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 118; 1887, S. 188; 1889, S. 40.

als saftloses[90]). Lufttrockenheit tritt erst nach 10 bis 12 Monaten ein, aber mehr als die Hälfte der Feuchtigkeit pflegt schon nach einem Monat zu verdunsten, und das ist die geeignetste Zeit zur Schwellenzubereitung. Gewisse Holzarten pflegen beim weiteren Austrocknen, besonders wenn dies durch künstliche Mittel beschleunigt wird, ebenso auch beim Entziehen des Saftes oder beim Tränken unter Druck starke Risse zu bekommen, und dadurch zu Eisenbahnschwellen unbrauchbar oder minderwertig zu werden, wenn es nicht gelingt, dem Rissigwerden vorzubeugen. Ein einfaches und wirksames Mittel hierfür besteht darin, in die Kopfenden der Schwellen sofort nach deren Aufbereitung S-Klammern aus Messereisen (Abb. 59) einzuschlagen. Solche Klammern kosten etwa 2 bis 3 Pfennige das Stück, also 5 Pfennige für die Schwelle. Man sollte im Interesse einer guten Schwellenerhaltung diese verhältnismäßig sehr geringe Ausgabe nicht scheuen und die Maßregel wenigstens bei jeder Schwelle, die irgendwie verdächtig erscheint, rechtzeitig und nicht erst dann anwenden, wenn sich schon Risse zeigen. Namentlich bei Buchenholz, welches in dieser Hinsicht besondere Unarten besitzt, ist die möglichst allgemeine Anwendung solcher Schutzmittel dringend zu empfehlen. Außer der Anwendung von S-Klammern kommen zu demselben Zwecke noch in Betracht: eiserne Bänder, die um die Schwellenenden gezogen werden, Schraubenbolzen mit Unterlagsscheiben, die am Schwellenende der Breite nach durchgesteckt werden und die Schwelle fest zusammenhalten, ferner hölzerne, an einem Ende dickere, am anderen durch einen Keil auseinandergetriebene Dübel und Holzschrauben, die durch das Schwellenende gebohrt werden[91]).

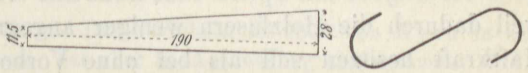


Abb. 59.

Um die Schwelle gebrauchsfähig zu machen, muß auch das Schienenauflager hergestellt werden. Wenn die obere Fläche der Schwellen eben ist, wie bei sorgfältig zugerichteten trapezförmigen und rechteckigen Querschnitten, so kann von einer besonderen Bearbeitung des Schienenauflagers abgesehen werden, wenn die Schienen senkrecht stehen (wie z. B. in Nordamerika), oder wenn zwischen Schwellen und Schienen besondere Stühle oder Platten liegen, durch welche die Schienenneigung hervorgebracht und gesichert wird. Dies ist bei Stuhlschienen fast allgemein üblich und gewinnt auch bei Breitfußschienen in Deutschland und Österreich-Ungarn immer allgemeinere Verbreitung. Halbrunde und ähnliche Schwellen müssen aber unter allen Umständen für das Schienenauflager eine ebene Fläche erhalten, und falls die Schienenneigung nicht durch Platten und Stühle hergestellt wird, muß bei allen Schwellen ein geneigtes Schienenauflager eingearbeitet werden. Man nennt diese Oberflächenbearbeitung Kappen oder Dexeln.

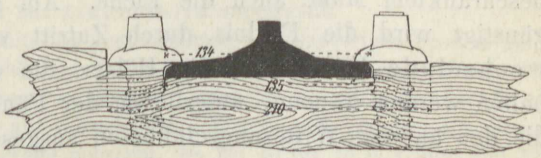


Abb. 60.

In Frankreich, wo bis in die neueste Zeit die Anwendung eiserner Unterlagsplatten bei Breitfußschienen nur selten vorkommt, werden demgemäß die Schwellen allgemein gekappt, und dabei kommen sehr tiefe Einarbeitungen der in Abb. 60 dargestellten Form vor, die

[90]) Bericht zu Frage VIII der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel, 1901; Revue générale des chemins de fer 1898, S. 135.

[91]) Zeitschrift des österr. Ingen.- u. Archit.-Vereins 1904, S. 141.

gleichzeitig den Schienenfuß unter Mitwirkung der Befestigungsmittel seitlich festhalten und den Befestigungsschrauben als Stützfläche dienen sollen. Solche starke Einarbeitungen sind aber nicht empfehlenswert, weil sie die Zerstörungen durch mechanische Angriffe wie durch Fäulnis begünstigen.

Vielfach werden die Holzschwellen für die Aufnahme der Befestigungsmittel (Nägel oder Schrauben) vorgebohrt. Bei der Befestigung mittels Schrauben ist das allgemein notwendig und üblich, bei der Befestigung mit Nägeln dann gleichfalls, wenn diese nicht mit scharfer Spitze oder Schneide versehen sind, mit deren Hilfe sich der Nagel ohne Vorbohrung mit dem Hammer in das Holz eintreiben läßt. Aber auch bei Nägeln mit Spitze oder Schneide werden die Schwellen zuweilen vorgebohrt, weil dadurch die Holzfasern weniger angegriffen werden und das Holz eine größere Haftkraft besitzen soll als bei ohne Vorbohrung eingetriebenen Nägeln. Die vorgebohrten Löcher sollen durch die ganze Schwelle durchgehen, damit nicht etwa eindringende Feuchtigkeit im Loch stehen bleibt. Auch empfiehlt es sich, das Dexeln und Bohren vor der Tränkung der Schwellen auszuführen, andernfalls werden die nachträglich hergestellten Schnittflächen vielfach mit Teeröl bestrichen. Über ein neuerdings vielfach angewendetes Verfahren, die Weichholzschwellen an den Stellen, wo die Befestigungsmittel sitzen, mit Hartholzdübeln zu versehen, wird im Abschnitt über Befestigungsmittel näher berichtet werden.

Die fertig bearbeiteten Schwellen sind bis zu ihrer Verwendung oder der zunächst vorzunehmenden Tränkung sorgfältig aufzustapeln und luftig aber nicht zugig zu lagern; auch sollen sie sowohl vor starkem Sonnenbrand, wie vor großer Feuchtigkeit möglichst geschützt werden.

§ 20. Tränken der Schwellen. — a. Zweck des Tränkens; Ursache des natürlichen Holzverderbs. Das Durchtränken der Schwellen mit fäulniswidrigen Stoffen hat den Zweck, das Holz vor dem natürlichen Verderb zu schützen und es dadurch länger gesund und brauchbar zu erhalten, als dies im rohen Zustand möglich ist. Der Träger der Fäulnis ist der Saft des Holzes, der aus Wasser, Eiweiß und verschiedenen sonstigen Stoffen besteht, die teils schädlich, teils nützlich auf die Erhaltung des Holzes einwirken. Wenn die letzteren Stoffe stark vertreten sind, so kann auch das rohe Holz eine lange Dauer haben. Besonders wirken Gerbsäure und einige ätherische Öle günstig auf die Erhaltung des Holzes ein. Zu diesen Holzarten gehören: Quebracho, die amerikanischen Zedern, Zypressen, Rotholz, Catalpa, Tamarack, der südafrikanische Kampherbaum und in beschränktem Maße auch die Eiche. Am schädlichsten ist der Eiweißgehalt. Begünstigt wird die Fäulnis durch Zutritt von Wasser und Luft, besonders durch wechselnde Feuchtigkeit; Hölzer, die dauernd trocken oder unter Wasser gehalten werden können, unterliegen der Fäulnis in viel geringerem Maße als Hölzer, die den äußeren Witterungseinflüssen ausgesetzt sind. Da dies letzte bei Eisenbahnschwellen unvermeidlich ist, muß darauf Bedacht genommen werden, die schädlichen Saftbestandteile zu entfernen oder unschädlich zu machen. Mittel hierzu sind das Auslaugen (Floßholz) und das Dämpfen; beides ist aber für Eisenbahnschwellen nicht wirksam genug, diese müssen vielmehr mit fremden Stoffen durchtränkt werden, womöglich unter teilweiser Beseitigung der Saftbestandteile, wobei die schädlichen Stoffe, besonders das Eiweiß, durch mechanische oder chemische Vorgänge nach Möglichkeit unschädlich gemacht werden. Die Tränkungsstoffe sollen nament-

lich vom Hirnholz aus eintreten, weil sie hierbei tiefer und allgemeiner in alle Holzteile eindringen als auf jedem anderen Wege.

b. Die verschiedenen Tränkungsverfahren. Man unterscheidet nach der Tränkungsart und dem Tränkungsstoff verschiedene Verfahren, nämlich vorzugsweise:

Tränken ohne Druck mit Quecksilbersublimat (kyanisieren);

Tränken mit schwachem Druck gegen das Hirnholz mit Kupfervitriol;

Tränken unter Hochdruck gegen alle Flächen

mit Zinkchlorid,

mit Teeröl,

mit Zinkchlorid unter Zusatz von Teeröl.

1. Tränken mit Quecksilbersublimat. Das Verfahren ist 1832 von Kyan in England erfunden und früher weit verbreitet gewesen, hat aber an Ausdehnung abgenommen, weil es für die Arbeiter wegen der giftigen Eigenschaft der Tränkungsmasse nicht ungefährlich und verhältnismäßig teuer ist. Zurzeit wird es im Gebiete des V. d. E. V. nur noch von zwei Verwaltungen angewandt. Die fertig bearbeiteten Schwellen werden in große Holztröge gebracht, in welchen sich eine Lauge von der Mischung 1:150 befindet, und 10 Tage in der Lauge gelassen. Die Verwaltungen, welche dies Verfahren anwenden, sprechen sich günstig über dessen Erfolg aus[92]).

2. Tränken mit Kupfervitriol, in Frankreich 1841 von Boucherie erfunden und auch dort lange Zeit weit verbreitet. Das Verfahren hat aber auch im Gebiet des V. d. E. V. Anwendung gefunden, wird zurzeit aber auch nur noch von zwei Verwaltungen angewandt. Die frisch gefällten nicht entrindeten Stämme werden in Schwellenlängen zerschnitten und schwach geneigt gelagert. Darauf läßt man die Tränkungsflüssigkeit, eine 1 bis 2 Hundertteile Kupfervitriol enthaltende Lösung (1° bis 2° Baumé) unter 1 Atmosphärendruck auf die obere Hirnholzfläche je nach der Holzart und dem Alter des Holzes verschieden lange einwirken, bei Hartholz etwa 48 bis 100 Stunden, während bei Weichholz schon eine Zeit von 24 Stunden genügen kann. Die Tränkungslauge verdrängt und ersetzt den Holzsaft, der am unteren Stammende abfließt, wobei mehr Flüssigkeit eindringt wie abfließt, so daß eine Gewichtszunahme des Holzes eintritt. (Siehe unten.)

In neuerer Zeit wird das Tränken mit Kupfervitriol bei der österreichischen Südbahn auch unter einem Drucke von 6 Atmosphären in geschlossenem Kessel bei fertig bearbeiteten Schwellen ausgeführt[93]), nach vorangegangener Dämpfung und Luftverdünnung, wie sie unter Punkt 3 beschrieben werden wird. Bei dem Tränken mit Kupfervitriol ist die Verwendung eiserner Gefäße wegen der zersetzenden Wirkung des Eisens auf die Lauge ausgeschlossen; auch können eiserne Schienennägel und Schwellenschrauben in mit Kupfervitriol getränkten Schwellen vorzeitiger Zerstörung anheimfallen und werden daher zweckmäßig verzinkt. Ebenso ist Kalksteinkleinschlag als Bettung bedenklich, weil durch chemische Einwirkung Schwefelsäure frei werden und Eisen und Holzschwellen zerstören kann.

3. Tränken unter Hochdruck. Der Franzose Bréant machte 1831 die Erfindung des Tränkens unter Hochdruck. Er brachte die Hölzer in ein verschlossenes Gefäß, pumpte dasselbe aus und entzog hierdurch den Holzzellen Luft und Saft. Demnächst füllte er das Gefäß mit der Tränkungflüssigkeit und preßte diese unter 10 Atmosphären Druck in das Holz ein. 1838 wurde diese Erfindung von Burnett auf das Tränken mit Zinkchlorid angewandt.

Dem eigentlichen Tränkungsverfahren mit den verschiedenen fäulniswidrigen Stoffen geht eine von diesem Stoffe mehr oder minder unabhängige Behandlung des Holzes voraus, durch die es zur Aufnahme der Tränkungsflüssigkeit besonders geeignet gemacht werden soll. Die fertig verarbeiteten Schwellen werden zu je 30 bis 40 auf schmalspurige Wagen geladen und mit diesen Wagen in luftdichte, eiserne, zylinderförmige Gefäße gebracht, die bei 10 bis 15 m Länge und 1,8 bis 2 m Durchmesser 4 bis 6 solcher Wagen fassen. In diesen Behältern werden die Schwellen zunächst entweder gedämpft oder getrocknet. Diese beiden Verfahren verfolgen denselben Zweck: das Holz so stark zu erhitzen, daß das Eiweiß in unschädliche Form übergeht, und dem Holze möglichst viel Saft zu entziehen. Darüber, welches der beiden Verfahren für den Zusammenhalt und die Dauerhaftigkeit der Holzfaser weniger schädlich und für das Aufnahmevermögen des

92) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX., XI. und XIII. Ergänz.-Bd. 1884, 1893 und 1903.

93) Ebenda XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 53.

Holzes an Tränkungsstoff vorteilhafter ist, liegen noch keine unzweifelhaften Ergebnisse vor. Da nasses Holz nicht geeignet ist, fette Stoffe in sich aufzunehmen, so ist bei derartigen Tränkungsstoffen (Teeröl) das Dämpfen ausgeschlossen. Tatsächlich wird denn auch beim Tränken mit Teeröl das Holz vorher getrocknet, während es beim Tränken mit Chlorzink und mit diesem unter Teerölzusatz dem Verfahren des Dämpfens unterworfen wird. Gegen das Dämpfen wird übrigens geltend gemacht, daß das Gewicht des Holzes, also sein Feuchtigkeitsgehalt, dabei tatsächlich zunehme und daß die Entziehung an Extraktstoffen nur sehr gering sei. Bei Versuchen konnten Buchenholz nur 6,2 v. H. der Extraktstoffe entzogen werden, Kiefernholz nur 2,7 v. H. Die Aufnahmefähigkeit des Holzes für fäulniswidrige Stoffe könne daher durch das Dämpfen nicht in nennenswertem Maße zunehmen[94]).

Das Trocknen dauert in den vorgenannten Gefäßen bei allmählicher Erwärmung auf 110° C. etwa 8 Stunden. Die französische Ostbahn trocknet die Schwellen dagegen in besonderen Trockenöfen, bevor sie in den Tränkungsbehälter kommen, während 72 Stunden bei 30 bis 80° C. Dadurch wird die Bearbeitung der Schwellen von der Jahres- und Fällzeit unabhängig und die Schwellentränkung kann das ganze Jahr hindurch gleichmäßig betrieben werden, auch sind die Schwellen für den Tränkungsstoff sehr aufnahmefähig[95]). Das Dämpfen dauert bei $1^1/_2$ at Überdruck bei Eichen- und Kiefernholz vom Beginn des Dampfeintrittes an nur 1 bis $1^1/_2$, bei Buchenholz bis zu 4 Stunden. Beim Einlassen des Dampfes läßt man am oberen Ende des Behälters die Luft, welche der Dampf aus dem Behälter und den Holzzellen nach und nach verdrängt, entweichen, schließt den betreffenden Hahn dann aber, und läßt durch einen am Boden angebrachten Hahn den vom Dampf ausgelaugten aus dem Holz abtropfenden Holzsaft von Zeit zu Zeit abfließen. Gegen Ende des Verfahrens hat diese Flüssigkeit eine Wärme von etwa 90° C. Nach der für das Dämpfen vorgesehenen Zeit läßt man den Dampf abblasen.

Sowohl bei den auf diese Weise getrockneten, als auch bei den gedämpften Schwellen wird nach Abschluß dieses ersten Verfahrens im Tränkungsbehälter eine Luftverdünnung von 52 bis 54 cm Quecksilbersäule erzeugt und etwa 10 Minuten beibehalten, bis ein Ausgleich der Spannung im Behälter und in den Hölzern eingetreten und die Spannung in diesen durchweg eine recht gleichmäßige geworden ist. Dieser Zustand wird durch Aufhören der Schwankungen an der Quecksilbersäule wahrnehmbar. Der Zweck dieser Luftverdünnung ist der, den Holzzellen noch weiterhin in möglichst gleichmäßiger Weise Luft und Saft zu entziehen. Das nunmehr folgende eigentliche Durchtränken des Holzes ist nach den verschiedenen Tränkungsstoffen verschieden.

α. Zinkchlorid.

Die Tränkungsflüssigkeit wird noch bei Luftverdünnung mit mindestens 65° C. in den Behälter gebracht und dann bei 6 bis 8 at Überdruck $^1/_2$ bis 3 Stunden lang in die Hölzer eingepreßt, worauf das Verfahren beendet ist. Es dauert je nach den Holzarten und der Jahreszeit im ganzen nur $3^1/_2$ bis $5^1/_2$ Stunden, so daß es eine weitgehende Ausnutzung der betreffenden Anlagen gestattet. Die Zusammensetzung der Tränkungsflüssigkeit ist recht verschieden. Burnett nahm ursprünglich eine Mischung von 1 Teil Salz zu 59 Teilen Wasser, man ging aber nach und nach in der Annahme, die Wirkung ohne erhebliche Kostenvermehrung steigern zu können, zu Mischungen bis zu 1 : 14 über, ohne den erhofften Erfolg — vermehrte Aufnahme von Salz durch die Schwellen, in der Gewichtszunahme meßbar — zu erreichen. Zurzeit werden daher wieder Mischungen von 1 : 60 bis 1 : 25 angewendet, wobei dünnere Lösungen einem höheren und länger andauernden Druck ausgesetzt werden als starke Lösungen. Letztere sind vorzugsweise in Norddeutschland, erstere in Süddeutschland und Österreich-Ungarn üblich. In Preußen verwendet man eine Lösung von 25facher Verdünnung (3,5° Baumé), die bei 15° C. ein spez. Gewicht von 1,0244 hat und 1,26 Hundertteile metallisches Zink enthält; sie wirkt bei 7 Atmosphären Druck während $^1/_2$ bis 1 Stunde. Dabei soll die auf S. 149 unter 1 aufgeführte Schwelle an Lösung aufnehmen bei Eichenholz 11 kg, bei Buchen- und Kiefernholz 36 kg. In Österreich bevorzugt man eine Lösung von etwa 45- bis 50facher Verdünnung (1,6 bis 1,67° Baumé), welche unter einem bis zu 8 Atmosphären steigenden Druck 3 Stunden auf das Holz einwirkt. Man will in Österreich bemerkt haben, daß die früher auch dort verwendeten stärkeren Lösungen (3° Baumé) die Holzzellen nicht so tief und gleichmäßig durchdrungen haben wie die schwächeren Lösungen. Das Tränken mit Zinkchlorid hat wegen seiner ursprünglich guten Wirkung und verhältnismäßigen Billigkeit rasch weite Verbreitung gefunden

94) Seidenschnur, Die moderne Holzkonservierung, Berlin 1903.

95) Revue générale des chemins de fer, 1898, S. 135.

und war lange Zeit besonders für Weichholz das am häufigsten angewandte Verfahren. Es hat sich aber herausgestellt, daß das in Wasser lösliche Tränkungssalz verhältnismäßig rasch wieder aus den Schwellen ausgelaugt wird, wodurch natürlich die Wirkung der Tränkung stark beeinträchtigt wird. Die Tränkung mit Zinkchlorid hat daher neuerdings wieder abgenommen[96]).

β. Teeröl. Der Erfinder des Verfahrens ist Bethell. Nachdem die Schwellen während 8 Stunden der künstlichen Trocknung unterworfen waren, beginnt das eigentliche Tränkungsverfahren, das im wesentlichen demjenigen mit Zinkchlorid gleich ist. Der Druck wird aber mancherorts bis zu 10 Atmosphären gesteigert, die Tränkungsflüssigkeit dagegen meistens nur bis zu 30 bis 50° erwärmt. Der hauptsächlich wirksame Teil der letzteren sind karbolsäureartige Stoffe, für deren Gehalt und Beschaffenheit bestimmte Grenzwerte verlangt werden müssen. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit, bei der Verschiedenartigkeit der Hölzer und der Tränkungsöle in einer bestimmten Zeit ein bestimmtes Ergebnis zu erzielen, ist auch beim Tränken mit Teeröl außer dem Säuregehalt der Flüssigkeit die Menge, die eine Schwelle oder die Raumeinheit an Tränkungsflüssigkeit aufnehmen muß, vorzuschreiben. In dieser Hinsicht gehen die Anforderungen weit auseinander. So verlangen die preußisch-hessischen Staatseisenbahnen für die auf S. 149 unter 1 angegebene Schwelle bei:

	Eichenholz	Buchenholz	Kiefernholz
eine Aufnahme von	11 kg	36 kg	36 kg
dagegen die französische Ostbahn[97])	6,5 »	27,5 »	—
die französische Paris-Lyon-Mittelm.-E.	5—6 »	16 »	12 »
die französische Nordbahn	5 »	15,5 »	—

und die englischen Eisenbahnen für jede Schwelle 10,7 bis 14 kg[98]).

Dabei wird bei den preußisch-hessischen Staatsbahnen im Tränkungskessel ein Überdruck bis zu 7 at erzeugt, und über die Beschaffenheit des Steinkohlenteeröls ist vorgeschrieben, daß sein spez. Gewicht bei 15° C. 1,04 bis 1,10 und sein Gehalt an sauren in Natronlauge vom spez. Gewicht 1,14 löslichen Bestandteilen (karbolsäureartigen Stoffen) mindestens 10 v. H. betragen soll. Auch soll es nicht über 1 v. H. bis zu einer Wärme von 125° C. siedende Öle enthalten, und bei der Destillation sollen bis 150° C. höchstens 3 v. H., bis 200° C. höchstens 10 v. H., bis 235° C. höchstens 25 v. H. überdestillieren; es soll bei 15° C. vollständig flüssig sein und darf dabei kein Naphtalin abscheiden. Wie verschieden übrigens die Vorschriften über die Beschaffenheit des Teeröls bei verschiedenen Verwaltungen sind, ist daraus zu entnehmen, daß auf dem internationalen Eisenbahnkongreß von 1900 berichtet wurde, daß das Teeröl erst bei 40° C. ganzflüssig werden und bei 15° C. nicht mehr als 25 v. H. Naphtalin oder dgl. niederschlagen solle[99]).

Das beschriebene Verfahren von Bethell ist von Rütgers dahin abgeändert, daß die Schwellen im Tränkungskessel bei Luftverdünnung nur 10 Minuten lang getrocknet werden und das Teeröl, nachdem es bei 50° C. und bei Luftverdünnung in den Tränkungskessel eingelassen ist, während eines Zeitraums von 3 Stunden allmählich auf 105 bis 115° C. erhitzt und dann während weiterer 60 Minuten auf dieser Wärme erhalten wird. Der während dieser Erhitzung aus dem Holz entweichende Wasserdampf wird in einem Röhrenkühler verdichtet und das verdichtete Wasser gemessen. Das Einpressen des Teeröls geschieht dann in der vorbeschriebenen Weise. Die mit diesem wesentlich abgekürzten Verfahren bei den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen gemachten Erfahrungen sind nicht ungünstig.

Ferner ist noch das Verfahren von Blythe zu nennen, das namentlich in Österreich versucht wurde und zu nicht ungünstigen Ergebnissen führte. Es besteht darin, daß die Schwellen zuerst in karbolsäurehaltigem Wasserdampf gedämpft werden, worauf sie dem Einpreßverfahren mit Teeröl in der beim Tränken mit diesem üblichen Weise unterliegen.

Zweifellos ist die Tränkung mit Teeröl das wirksamste Mittel zum Schutze des Holzes gegen Fäulnis; bei dem hohen Preise des Teeröls sind aber die verschiedenen Verfahren mit einer

96) Bericht über die Fortschritte der Technik des deutschen Eisenbahnwesens, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903, XIII. Ergänz.-Bd.

97) Eine eingehende Darstellung des auf der franz. Ostbahn angewendeten Verfahrens findet sich in der Revue générale des chemins de fer, 1898, S. 135.

98) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. u. XIII. Ergänz.-Bd. 1893 u. 1903; Encyklopädie f. d. gesamte Eisenbahnw. Bd. 7, Wien 1895, Art. Tränken der Schwellen. Revue générale des chemins de fer 1895, S. 90.

99) Bericht zur Frage VIII der Verhandlungen des Kongresses, Brüssel 1901.

recht reichlichen Teerölaufnahme sehr teuer und es sind daher in den letzten Jahren viele Vorschläge und Versuche gemacht worden, die Tränkung mit Teeröl dadurch zu verbilligen, daß dem Holz nur die zu seiner Erhaltung unbedingt nötige Menge zugeführt, das Holz aber trotzdem möglichst gleichmäßig von dem Tränkungsstoffe durchzogen wird.

Hierher gehört zunächst das sogenannte Emulsionsverfahren, bei dem das Teeröl in wässriger Harzseifenlösung nach Belieben verdünnt werden kann. Auf den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen sind derartige Teerölseifenlösungen von 15 v. H., 20 v. H. und 30 v. H. Teerölgehalt zur Anwendung gekommen und haben bei Eichen- und Kiefernholz befriedigende Ergebnisse geliefert, bei Buchenholz dagegen ist eine zu ungleiche und daher ungenügende Durchtränkung eingetreten.

Andere Verfahren bezwecken dem mit unvermischtem Teeröl reichlich durchtränkten Holz wieder soviel Teeröl zu entziehen, daß nur die Zellwandungen durchtränkt bleiben.

Wassermann will das dadurch erreichen, daß er die Hölzer zunächst einem Luftdruck von 5 at aussetzt, so daß sich alle Zellen mit Preßluft füllen; dann wird der Kessel mit Teeröl so weit gefüllt, daß ein Überdruck von 10 at entsteht und das Holz durchtränkt wird; darauf wird im Kessel wieder Luftverdünnung hergestellt, so daß die in den Zellen noch enthaltene Preßluft das Teeröl wieder ausstößt, soweit es nicht an den Zellwandungen haften bleibt. Die Anwendung eines Druckes von 10 at ist ein Nachteil dieses Verfahrens.

Zironi tränkt das Holz zunächst in gewöhnlicher Weise mit einer Lösung von Harz in Teeröl, darauf wird das Holz 3 bis 4 Stunden lang bei $1^1/_2$ at mit heißen Dämpfen behandelt, wodurch das Teeröl z. T. wieder entfernt und die im Holz verbleibende Lösung recht gleichmäßig verteilt werden soll.

Nach dem Verfahren des Berliner Holz-Comptoirs werden die Schwellen zunächst 10 bis 15 Minuten in erwärmtes Teeröl gelegt, darauf wird etwa $^1/_3$ des Tränkungsstoffes durch Herstellung einer Luftverdünnung während 60 Minuten dem Holz wieder entzogen und demnächst das bisher nur an der Oberfläche haftende Teeröl durch Einblasen von gespanntem Wasserdampf in den luftverdünnten Kessel gleichmäßig durch die Schwellen verteilt.

Ein weiteres Verfahren hat Tellkampf vorgeschlagen. Er führt die Tränkung bei immer zunehmender Luftverdünnung durch, wodurch auch nur die Zellwand ngen getränkt werden sollen und nur $^1/_4$ bis $^1/_6$ des Verbrauchs an Tränkungsstoff eintreten soll, als bei den Verfahren von Bethell und Rütgers.

Endlich werden noch Versuche mit Verfahren gemacht, die auf einer Verbindung mehrerer der erwähnten Methoden beruhen.

Alle diese Verfahren sind aber noch nicht genügend erprobt, um ein endgültiges Urteil über ihre Wirkung abgeben zu können.

γ. Zinkchlorid mit Teerölzusatz.

Wie bemerkt wird das als Tränkungsstoff recht wirksame Zinkchlorid leicht durch die atmosphärischen Niederschläge aus den Schwellen ausgelaugt. Man ist daher dazu übergegangen, durch eine Mischung von Zinkchlorid und Teeröl die Oberfläche der Schwellen einmal gegen das Eindringen der Niederschläge zu schützen und außerdem die hohen fäulniswidrigen Eigenschaften des Teeröls für die Erhaltung der Schwellen nutzbar zu machen, ohne die bei Tränkung mit reinem Teeröl entstehenden hohen Kosten aufwenden zu müssen.

Das namentlich von Rütgers ausgebildete Verfahren ist im wesentlichen dasselbe wie bei der Tränkung mit reinem Zinkchlorid, man setzt diesem aber auf die Schwelle etwa 3 kg Teeröl der für die reine Teerölträukung vorgeschriebenen Beschaffenheit zu. Bis jetzt sind die Erfahrungen mit dieser namentlich in Deutschland und Österreich-Ungarn weit verbreiteten Tränkungsweise nicht ungünstig, es wird aber gegen das Verfahren angeführt[100]), daß die Mischung von Chlorzink und Teeröl keine so innige sei, um die Schwelle gleichmäßig zu durchziehen, im wesentlichen hafte das Teeröl nur an der Oberfläche und decke diese daher auch nicht so vollkommen, um das Eindringen der Niederschläge und das Auswaschen des Zinkchlorids zu verhindern. Tatsächlich soll der Teerölgehalt bei verschiedenen gleichzeitig getränkten Schwellen, ja sogar bei verschiedenen Teilen derselben Schwelle, zwischen 1,38 v. H. und 35,61 v. H. schwanken[101]).

---

[100]) Seidenschnur, Die moderne Holzkonservierung. Berlin 1903.

[101]) Ebenda.

Wesentlich günstiger soll die Wirkung sein, wenn dem Steinkohlenteeröl 5 bis 10 v. H. Holzteer zugesetzt wird, infolge dieses Zusatzes tritt tatsächlich eine innige Mischung von seimiger Beschaffenheit ein, die sich längere Zeit hält, und daher verteilt sich die Mischung auch recht gleichmäßig in den Schwellen. Zur Herstellung der Mischung wird längere Zeit ein kräftiger Luftstrom durch die Mischung geblasen, Dampfgebläse oder eine Mischung von Dampf und atmosphärischer Luft ist nicht so wirksam wie Luft allein.

Auch bei der Tränkung mit Zinkchlorid und Teeröl pflegt man die Aufnahme einer bestimmten Menge Tränkungsstoffes vorzuschreiben. Diese beträgt z. B. für eine Schwelle bei:

	Eichenholz	Buchenholz	Kiefernholz
bei den preußisch-hessischen Staatsbahnen	11 kg	36 kg	36 kg
bei den französischen Staatsbahnen	4 »	—	30 »

δ. Sonstige Tränkungsverfahren.

Hier ist noch ein neuerdings von Wiese vorgeschlagenes Verfahren zu nennen, das darauf beruht, das Holz in ähnlicher Weise wie mit Zinkchlorid mit β-naphtalinsulfosaurem Zink zu durchtränken. Dieses Salz ist bei gewöhnlicher Temperatur schwer, bei höheren Wärmegraden aber leicht löslich; die Gefahr, durch die atmosphärischen Niederschläge ausgelaugt zu werden, ist also gering. Das Verfahren soll namentlich für Buchenholz geeignet sein.

Das Verfahren von Hasselmann, der die Hölzer in einer Lösung von schwefelsaurer Tonerde, Kupfer- und Eisenvitriol kochte, und einige Zeit viel von sich reden machte, hat in keiner Weise befriedigt und kann als verlassen gelten.

c. Einfluß des Tränkens auf Gewicht und Beschaffenheit der Schwellen. Aufnahme an Tränkungsmasse. Bei den beschriebenen Tränkungsverfahren tritt durchweg eine Gewichtszunahme der Schwellen ein, weil Menge und Gewicht der zugeführten Stoffe größer sind, als die der verdrängten. Diese Gewichtszunahme weicht aber bei den verschiedenen Hölzern und Tränkungsarten weit voneinander ab; auch ist die Fällzeit des Holzes und der Grad der Lufttrockenheit nicht ohne Einfluß, letzterer besonders bei den Tränkungsverfahren, bei welchen ein Dämpfen oder Trocknen des Holzes nicht stattfindet. Am gleichmäßigsten werden die Hölzer von der Tränkungsflüssigkeit durchzogen, die am wenigsten Unterschied in der Dichtigkeit der Zellenlagerung (Jahresringe) zwischen Kern und Splint besitzen, also Buche und Kiefer, wogegen Hölzer mit sehr dichtem Kern (Eiche) oder sehr lockerem Splint (Tanne) vorzugsweise nur am Umfange von der Tränkungslauge durchdrungen werden.

Der Grad und die Gleichförmigkeit der Durchdringung bei verschiedenen Holzarten hängt somit nicht von der Menge der aufgenommenen Flüssigkeit ab; ja sogar bei derselben Holzart kommen in dieser Hinsicht Ungleichmäßigkeiten vor, je nach der Zeit, welche zwischen Fällen und Tränken verstrichen ist. Am gleichartigsten wird stets frisch gefälltes Holz durchzogen, dann kommt Holz, welches vorher getrocknet oder gedämpft wurde, wobei auch hier wieder frisches Holz gleichmäßiger durchdrungen wird, als schon gelagertes. Am ungleichmäßigsten wird lufttrocknes Holz durchdrungen. Bezüglich der Aufnahmemenge aber ist die Reihenfolge: getrocknetes, gedämpftes, lufttrocknes, frisch gefälltes Holz. Auch läßt sich geflößtes Holz besser tränken, als nicht geflößtes. Man ersieht hieraus, daß es je nach der Holzart in mehr oder minderem Maße zweckmäßig sein kann, ganz frisch gefälltes oder schon abgelagertes Holz zu verarbeiten, je nachdem ob es notwendig ist, den ganzen Querschnitt, auch die innersten Teile, möglichst gleichmäßig zu durchtränken, wie z. B. beim Buchenholz, oder für richtiger gilt, besonders die äußeren Schichten stark zu durchtränken, wie z. B. bei den Nadelhölzern, die in ihrem inneren Harzreichtum ohnehin schon ein ziemlich wirksames Schutzmittel besitzen, oder beim Eichenholz mit seinem harten, dichten und so wie so schon sehr

widerstandsfähigen Kern. Es wird entweder die aus der Aufnahme der Tränkungsstoffe hervorgehende Gewichtszunahme der Schwellen oder die Menge der aufgenommenen Flüssigkeit bestimmt und angegeben. Diese letztere ist natürlich größer, als die, welche die Gewichtszunahme darstellt.

Nachfolgende Übersicht enthält einige Angaben über die Aufnahmemenge und Gewichtszunahme, aus denen zu ersehen ist, in wie weiten Grenzen die Zahlen schwanken[102]).

Ein Kubikmeter Schwellenholz nimmt an Sublimat auf bei:

trocknem Eichenholz	1,20 kg
Buchenholz	0,75 »
recht trocknem Nadelholz	1,20 »
sehr harzreichem »	0,70 bis 0,90 »

Bei Anwendung von Kupfervitriol zeigt sich bei	Eiche	Buche	Kiefer	Fichte
eine Gewichtszunahme f. d. cbm von	25 kg	95 kg	57 kg	24 kg
bei der französischen Südbahn	—	—	50—120 kg	—
Bei Zinkchlorid wird bei denselben Holzarten aufgenommen an Lauge	110—114 kg	286—429 kg	257—315 kg	286—429 kg
oder Salz	9—22 kg	44—53 kg	11—42 kg	—
und eine Gewichtszunahme der Schwellen erzielt von	5—6 v. H.	—	40—45 v. H.	—
Bei Teeröl sind die Zahlen nach Staně	114 kg	456 kg	342 kg	400 kg
nach Heusinger	40—108 kg	—	140—216 kg	—
bei den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen	100 kg	325 kg	325 kg	—
was auch für Zinkchlorid mit Teeröl gilt; bei englischen Eisenbahnen	—	—	131—154 kg	—

Beim Dämpfen und Trocknen können leicht Risse im Holze entstehen, namentlich beim Buchenholz; auch treten während dieser Verfahren oder, begünstigt durch dieselben, nachher Verwerfungen und Verkrümmungen ein. Diesen Schäden kann man, wie schon bemerkt, durch sorgfältiges Aussuchen und Behandeln der Hölzer, sowie durch S-Klammern, Schrauben oder Dübel vorbeugen. Starke Schäden dieser Art machen die Schwelle unbrauchbar, geringe immerhin minderwertig. Es ist nun nicht ohne Bedeutung, daß beim Tränken mit Teeröl Risse und Poren ziemlich vollkommen ausgefüllt und geschlossen werden, und zwar mit einer Masse, die mit der Zeit fester wird und kein Wasser aufnimmt, auch in Wasser nicht löslich ist und das durchdrungene Holz wirksam vor Feuchtigkeit schützt: alles Vorteile, die bei Metallsalzen nicht vorhanden sind und den Wert des Tränkens mit Teeröl gegenüber den anderen Verfahren, der schon in der stärkeren fäulniswidrigen Wirkung ein höherer ist, noch vermehren.

d. Verbreitung und Kosten. Der günstige Einfluß des Tränkens der Schwellen auf deren Dauer ist so unverkennbar, daß Anwendung und Verbreitung dieses Schutzmittels allgemein zunehmen. Es kann höchstens in Frage kommen, ob das Tränken in Anbetracht der Preise der rohen Schwellen und der von ihrem natürlichen Verderb bis zu einer gewissen Grenze unabhängigen

[102]) Die Zahlen sind entnommen: Heusinger, Handbuch der speziellen Eisenbahntechnik Bd. 1, Leipzig 1877, Konservierung der Schwellen; Staně, Theorie und Praxis des Eisenbahngleises; Wien 1892, S. 199; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 36; Encyklopädie f. d. gesamte Eisenbahnw. Bd. 7, Tränken der Schwellen. Siehe auch Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahw. 1897, S. 75, 92. Bericht über Frage VIII der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901.

mechanischen Zerstörung durch die Einwirkungen der Betriebslasten etwa wirtschaftlich nicht gerechtfertigt ist. Und diese Frage muß natürlich auch bei der Entscheidung darüber aufgeworfen werden, welches Verfahren in Anwendung kommen soll, ob sich die Anwendung des vollkommensten, aber auch teuersten Tränkens mit Teeröl rechtfertigen läßt oder ob es vielmehr zweckmäßiger ist, ein zwar weniger wirksames, aber auch billigeres Verfahren anzuwenden. Besonders in Ländern mit verhältnismäßig billigen Rohschwellen wird diese letzte Frage häufig bejaht werden müssen und hierin ist die Ursache dafür zu suchen, daß das Tränken mit Teeröl keineswegs das am weitesten verbreitete ist. Namentlich Kiefernschwellen werden bei Bahnen mit starkem Betrieb nicht wegen Fäulnis sondern infolge mechanischer Abnutzung abgängig. Die Verwendung reinen Teeröls zu ihrer Tränkung erscheint daher kaum gerechtfertigt.

Die Kosten des Tränkens werden von verschiedenen Bahnen sehr verschieden angegeben, weil einzelne Verwaltungen in die Tränkungskosten auch die Ausgaben für Verwaltung, Verzinsung, Abschreibung der Tränkungsanstalten einrechnen, andere dagegen nicht; ferner weil die Schwellengröße schwankt und endlich weil hinsichtlich der Güte und Menge des Tränkungsstoffes, sowie der zu verbürgenden Gewährszeit sehr verschiedene Anforderungen gestellt werden. Die im V. d. E. V. ermittelten[103]), nachstehend mitgeteilten Durchschnittskosten sind daher zu Vergleichen ohne weiteres nicht verwertbar, sondern es müssen aus den angegebenen Gründen die bei derselben Verwaltung oder doch wenigstens unter annähernd gleichen Voraussetzungen ermittelten Kosten gegenübergestellt werden. Tut man das, so ergibt sich für das Tränken mit Zinkchlorid und Teeröl, bzw. mit Zinkchlorid unter Teerölzusatz, welche Verfahren zurzeit vorzugsweise in Betracht kommen, das Verhältnis von 1 : 2 bis 4 : 1,3 bis 2.

Kosten des Tränkens der Schwellen

im Gebiete des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen.

Nr.	Holzgattung	Die Tränkung ist ausgeführt mit					
		Quecksilbersublimat	Kupfervitriol	Zinkchlorid	Teeröl	Zinkchl. mit Teeröl	nach Blythe
		Das Tränken kostet für eine Schwelle von 2,40 bis 2,70 m Länge in Mark					
1	Eichenholz 1884	—	—	0,37	1,00	—	0,58
2	» 1893	0,40	—	0,43	0,93	—	—
3	» 1903	—	—	0,33-0,50	0,75-1,20	0,62-1,20	—
4	Buchenholz 1884	—	—	0,44	1,90	—	—
5	» 1893	0,60	0,34	0,53	—	0,90	—
6	» 1903	—	0,32	0,35-0,80	1,55-2,55	0,43-0,96	—
7	Kiefern- u. Fichtenholz 1882	0,75	0,40	0,47	1,70	—	0,61
8	» » » 1893	0,52	0,23	0,50	1,50	0,69	—
9	» » » 1903	0,55	0,45	0,25-0,65	2,33	0,49-0,88	0,60

Zu dieser Nachweisung ist übrigens zu bemerken, daß die Preisangaben für 1903 in der unten genannten Quelle sehr unvollständig sind. Bei den preußisch-hessischen Staatsbahnen stellen sich die Preise z. Z. bei Schwellen von 2,70 m Länge und 26 zu 16 cm Stärke bei:

Eichenholz auf	—	—	—	1,20	—	—
Buchenholz »	—	—	—	2,47	—	—
Kiefernholz »	—	—	—	—	0,85	—

103) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX., XI. und XIII. Ergänz.-Bd. 1884, 1893 und 1903.

Die Anwendung der verschiedenen Verfahren im Gebiete des V. d. E. V. von 1865 bis 1903 geht aus folgender Zusammenstellung hervor[104]).

Es wendeten an im Jahre:

Das Verfahren mit	1865	1868	1878	1884	1893	1903
	Zahl der Verwaltungen					
Quecksilbersublimat	3	6	8	4	3	2
Kupfervitriol	15	6	5	1	2	2
Zinkchlorid	8	7	20	22	21	13
Teeröl	4	5	13	11	6	20
Zinkchlorid mit Teeröl	—	—	4	7	4	28

Von den auf dem internationalen Eisenbahnkongreß von 1900 vertretenen Verwaltungen tränkten 28 überhaupt nicht, während von den anderen 64 Verwaltungen 18 mit Zinkchlorid, 38 mit Teeröl, 4 mit einer Mischung von Zinkchlorid und Teeröl, 3 mit Kupfervitriol und 1 in anderer Weise tränkten[105]).

In der Nachweisung der Vereinsbahnen ist die starke Zunahme des Tränkens mit Teeröl, sowie der Mischung von Zinkchlorid und Teeröl besonders bemerkenswert, die Hand in Hand geht mit der Abnahme des Tränkens mit Zinkchlorid allein.

Hand in Hand mit der zunehmenden Anwendung des Tränkens geht die wachsende Verwendung von Buchenholz und Nadelholz zu Eisenbahnschwellen und der verhältnismäßige Rückgang in der Verwendung von Eichenschwellen. Die betreffenden Verhältnisse gehen aus den statistischen Nachrichten des V. d. E. V. und des Reichseisenbahnamtes deutlich hervor und sind aus der schon auf S. 146 mitgeteilten Nachweisung, sowie auch aus der auf nebenstehender Seite gegebenen Zusammenstellung zu entnehmen. Am stärksten ist die verhältnismäßige Zunahme der getränkten Schwellen in Österreich-Ungarn, wo trotz der niedrigen Holzpreise von 1880 bis 1897 der Betrag um mehr als das $2^1/_2$fache gestiegen ist. Von da an zeigt sich allerdings bei den jährlich verwendeten getränkten Schwellen wieder eine Abnahme. Auch in den wichtigsten anderen, besonders in den westeuropäischen Eisenbahnländern ist das Tränken der Schwellen immer allgemeiner geworden, und es wenden zurzeit vorwiegend an: England und Belgien, auch Portugal: Teeröl, ebenso Frankreich, das bis 1890 vorzugsweise Zinkchlorid anwandte; Niederlande, Schweiz, Türkei: Zinkchlorid; Zinkchlorid mit Teerölzusatz wird u. a. von den dänischen Eisenbahnen angewandt. Selbst auf den nordamerikanischen Eisenbahnen macht sich infolge der steigenden Holzpreise im Osten immer mehr das Bedürfnis geltend, gleichfalls auf eine längere Dauer der Holzschwellen hinzuwirken[106]).

§ 21. Verhalten und Dauer der rohen und der getränkten Schwellen. — Die Schwelle soll der Schiene ein festes und möglichst dauernd unveränderliches Auflager bieten. Dieser Forderung wird um so sicherer entsprochen, je widerstandsfähiger die Schwelle gegen die auf sie einwirkenden äußeren Kräfte ist und je länger sie in dieser Beschaffenheit erhalten wird. Die Widerstandsfähigkeit hängt in erster Linie von der Holzart ab, sie kann aber durch Wahl der Befestigungsmittel und durch ein wirksames Tränken wesentlich erhöht werden, und diese beiden Mittel müssen zusammenwirken, um ein sowohl im Interesse der Betriebssicherheit, wie der Wirtschaftlichkeit möglichst günstiges Ergebnis zu erzielen.

Bei jeder stark befahrenen Bahn ist die Zahl der Schwellen, die durch äußere Verletzungen abgängig wird, in den Hauptgleisen erheblich und selbst in den Neben-

[104]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX., XI. und XIII. Ergänz.-Bd. 1884, 1893 und 1903; Schneidt, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897, S. 75, 92, führt den Nachweis, daß das Tränken mit Teeröl, besonders bei Buchenholz, mit den niedrigsten Jahreskosten verbunden, also das wirtschaftlich vorteilhafteste ist.

[105]) Bericht über Frage VIII der Verhandlungen, Brüssel 1901.

[106]) Curtis, Verhandlungen der American society of civil engineers, 42 Bd., Dezember 1899; Bulletin du congrès international des chemins de fer 1905, S. 659, Bericht von J. W. Kendrick.

Zusammenstellung

der im Gebiete des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen verwendeten Mengen an getränkten und nicht getränkten Holzschwellen nach Hundertteilen. Die Zahlen für die preußischen und deutschen Bahnen beziehen sich für den ganzen Zeitraum auf die jährlich verwendeten Schwellen, ebenso die Zahlen für Österreich-Ungarn und das Gesamtgebiet für die Zeit von 1898 ab; für die Zeit von 1880—1897 dagegen auf alle in den Gleisen vorhandene Schwellen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Nr.	Jahr	Preußische Staats-Eisenbahnen						Deutsche Eisenbahnen						Österr.-Ung. Eisenbahnen		Alle Vereinsbahnen		Bemerkungen
		Eichenholz		Sonst. Laubh.		Nadelholz		Eichenholz		Sonst. Laubh.		Nadelholz						
		getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	getränkt v. H.	nicht getr. v. H.	
1	1880	62,12	37,88	89,49	10,51	89,97	10,03	46,50	53,50	53,40	46,60	80,77	19,23	14,04	85,96	44,06	55,94	Die Zahlen für die preuß. Staats-Eisenbahnen und die deutschen Bahnen beziehen sich nicht auf das Kalenderjahr, sondern auf die Zeit vom 1. April zu 1. April, z. B.: 1./4. 96 / 1./4. 97.
2	1885	63,08	36,92	97,02	2,98	89,64	10,36	53,39	46,61	75,28	24,72	91,01	8,99	20,31	79,69	49,33	50,67	
3	1890	72,33	27,67	97,95	2,05	94,21	5,79	62,45	37,55	94,23	5,77	94,04	5,96	31,94	68,06	56,91	43,09	
4	1892	75,66	24,34	98,28	1,72	96,98	3,02	65,29	34,71	95,74	4,26	95,64	4,36	35,98	64,02	60,15	39,85	
5	1894	77,80	22,20	98,40	1,60	97,50	2,50	67,70	32,30	95,70	4,30	96,30	3,70	37,90	62,10	61,90	38,10	
6	1896	69,29	30,71	100,00	—	98,15	1,85	60,97	39,03	99,67	0,33	97,64	2,36	38,59	61,41	64,23	35,77	
7	1897	87,23	12,77	100,00	—	99,45	0,55	74,80	25,20	99,84	0,16	99,24	0,76	38,36	61,64	64,65	35,35	
8	1898	93,57	6,43	100,00	—	99,98	0,02	76,59	23,41	99,52	0,48	99,16	0,84	56,40	43,60	69,23	30,77	
9	1899	97,03	2,97	100,00	—	99,99	0,01	79,58	20,42	98,82	1,18	99,20	0,80	54,43	45,57	66,68	33,32	Der verhältnismäßig große Verbrauch nicht getränkt. sonst. Laubhölzer bei den preuß. Staatsbahnen rührt von einem Versuch mit Quebrachoschwellen her.
10	1900	91,83	8,17	74,72	25,28	100,00	—	72,38	27,62	99,47	0,53	99,40	0,60	50,64	49,36	66,82	33,18	
11	1901	92,05	7,95	100,00	—	100,00	—	69,64	30,36	100,00	—	99,34	0,66	46,83	53,17	64,88	35,12	
12	1902	99,22	0,78	100,00	—	100,00	—	75,57	24,43	99,97	0,03	99,25	0,75	44,36	55,64	63,44	36,56	

gleisen noch bemerkbar größer, als die der durch Verfaulen unbrauchbar werdenden Schwellen, wenn nicht durch die Art der Lagerung und Befestigung der Schienen den mechanischen Zerstörungen — Zernageln, Aufspalten, Einfressen und Zerdrücken der Holzfaser — wirksam entgegengearbeitet wird. Die Mittel hierzu bestehen in der Vergrößerung der Druckfläche der Schiene auf die Schwelle durch Zwischenlager (Stühle und Unterlagsplatten), die besonders bei weichem Holz unentbehrlich erscheinen, sowie darin, die Befestigungsmittel derart anzuordnen, daß jeweils gleichzeitig mehrere zum Widerstand gegen die Außenkräfte herangezogen werden und daß ihre Form den übertragenen Kraftäußerungen angemessen ist. Die Vereinigung des Widerstandes mehrerer der im Holze steckenden Befestigungsmittel wird gleichfalls durch die Unterlagsplatten bewirkt, so daß diese doppelten Nutzen bringen. Bezüglich der Form der Befestigungsmittel ist zu bemerken, daß eine Holzschraube beim Herausziehen aus dem Holze mehr Widerstand leistet als ein Nagel. Demgemäß sollten jedenfalls an der Innenseite der Schienen Schrauben zur Befestigung der Schienen auf den Schwellen verwendet werden im Interesse sowohl möglichst sicherer Schienenbefestigung wie möglichster Schonung der Holzschwellen. Darüber, ob an der Außenseite besser Nägel oder Schrauben verwendet werden, gehen die Ansichten auseinander. Tatsächlich sind die französischen Bahnen und die preußisch-hessischen Staatsbahnen allgemein zur Befestigung durch Schrauben übergegangen. Diese Frage mußte, obgleich sie in den Abschnitt der Befestigungsmittel hinüberspielt, schon hier erörtert werden, weil sie für den Bestand der Schwellen von durchschlagender Bedeutung ist. Und zwar nicht nur wegen der unmittelbaren Schonung der Schwellen, sondern auch um deswillen, weil auch die Fäulnis vorzugsweise von den mechanisch zerstörten Stellen ausgeht. Das Tränken der Schwellen andererseits schützt auch derartig beschädigte Stellen vor Fäulnis, und verleiht der Schwelle überhaupt eine größere Haftkraft[107]) und eine längere Widerstandsfähigkeit gegen die äußeren Angriffe.

Ausgedehnte Beobachtungen über diese Fragen haben Sarrazin und Susemihl gemacht[108]). Ersterer fand auf der Strecke Deutz-Siegen, daß vor Anwendung von Unterlagsplatten in einem Zeitraum von etwa $2^3/_4$ Jahren an mit Zinkchlorid getränkten Eichen- und Kiefernschwellen in den Hauptgleisen nur 8,2 v. H. und in den Bahnhofsnebengleisen nur 46,6 v. H. wegen Fäulnis abgängig wurden, gegen 91,8 v. H. und 53,4 v. H., die wegen mechanischer Zerstörungen ausgewechselt werden mußten. Dabei lagen die Kiefernschwellen nur in der Geraden und in flachen Bogen, in den zahlreichen scharfen Krümmungen bis zu 377 m Halbmesser herab dagegen nur Eichenschwellen. Die mittlere Dauer dieser Schwellen war bis einschl. 1876 zu 10,3 Jahren für Eichenschwellen und zu 12,8 Jahren für Kiefernschwellen festgestellt worden. Von 1877 an kamen nach und nach Unterlagsplatten zur Verwendung; nach den ersten vier Jahren waren aber erst in allen Bogen die Hälfte der Schwellen damit ausgerüstet und erst später wurde damit weiter fortgeschritten. Die Dauer der Schwellen steigerte sich hierdurch aber schon

im Jahre	1877	1878	1879	1880	1881	1882	1877/1882
für Eichenschwellen auf..	13,8	14,0	14,3	14,8	14,8	16,6	15,5 Jahre
für Kiefernschwellen auf .	15,4	16,5	16,7	14,4	14,9	15,5	15,5 Jahre

Insbesondere erwiesen sich Kiefernschwellen mit Unterlagsplatten auch in scharfen Bogen als brauchbar. Die günstige Wirkung der verbesserten Befestigungsweise zeigte sich ferner in viel

[107]) Die Ursache hierfür scheint darin zu liegen, daß getränkte Schwellen eine gleichmäßigere Feuchtigkeit in ihrem Innern besitzen, als nicht getränkte Schwellen, feuchte Schwellen bieten aber den Befestigungsmitteln eine größere Haftfestigkeit als trockne.

[108]) Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 103, 1883, S. 437; Deutsche Bauzeitung 1877, S. 465 u. 1880, S. 55.

besserer Erhaltung des Gleises in Spur- und Höhenlage. Susemihl ermittelte den Einfluß des Tränkens auf die Haftkraft des Holzes bei verschiedenen Befestigungsweisen und fand für diese als Mittelwerte aus je sechs Versuchen die folgenden Größen:

Nr.	Zustand des Gleises und der Befestigungsmittel	Vierkantnagel		Achtkantnagel		Schwellenschraube	
		nicht getr. Eichenschwellen	getränkte Eichenschwellen	nicht getr. Eichenschwellen	getränkte Eichenschwellen	nicht getr. Eichenschwellen	getränkte Eichenschwellen
		kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	Befestigungsmittel frisch eingetrieben . . . . . (Schwellen lufttrocken)	3198	3646	3094	3746	4198	4606
2	Gleis 8 Monate nach d. Verlegen	—	—	2924	—	6253	—
3	» 20 » » » »	2446	2977	2481	2958	—	—
4	» 45 » » » » (innen Schwellenschrauben, außen Nägel)	2122	—	—	—	4723	—

Aus alledem geht hervor, daß Tränken und konstruktive Mittel zusammenwirken müssen, um eine widerstandsfähige und dauerhafte Unterschwellung zu erhalten.

Es ist nach vorstehendem erklärlich, wenn bisher übereinstimmende Zahlen über die Dauer roher und getränkter Schwellen der verschiedenen Holzarten noch nicht vorliegen. Solche Einheitswerte wird und kann man nie erreichen, weil sie in viel zu hohem Maße von den verschiedenen Beanspruchungen der Gleise durch die Betriebslasten und von den abweichenden Konstruktionen abhängen. Man kann höchstens die Dauer der getränkten und nicht getränkten Schwellen derselben Bahn oder von Bahnen mit ähnlichen einschlägigen Verhältnissen vergleichen. In eingehender Weise hat das Funk getan[109]) und ist zu folgenden Durchschnittsergebnissen gelangt:

Dauer der	nicht getränkten	getränkten
Eichenschwellen	13,6	19,5 Jahre.
Kiefernschwellen	7,2	14—16 »
Fichtenschwellen	5,1	8—10 »
Buchenschwellen	3,0	14—18 »

Im Berichte der XIV. Techniker-Versammlung des V. d. E. V. 1893[110]) geben mehrere Verwaltungen die mittlere Dauer getränkter Schwellen an wie folgt:

	Eichenholz	Kiefernholz	Buchenholz	
Württemb. Staats-E.	—	18—25	—	Jahre
Preuß. Direkt. Hannover	20	10	10	»
» » Breslau	15—20	10	—	»
» » Magdeburg	15	10	—	»
Sächsische Staats-E.	—	15	—	»
Kais.-Ferd.-Nordbahn	15—17	15	—	»
Österr. Staats-E.	—	15—18	—	»
» Südbahn	—	—	11	»

Diesen zum Teil, namentlich bei Kiefern- und Buchenschwellen nicht sehr günstigen Ergebnissen gegenüber stehen aber nicht nur die Erfahrungen Funks[111]), der die durchschnittliche Dauer mit Zinkchlorid getränkter Kiefernschwellen auf der allerdings nur schwach belasteten Linie Rheine-Emden zu 26 Jahren und von mit Teeröl getränkten Buchenschwellen auf der starker Betriebsanstrengung unterliegenden Linie Oberhausen-Arnheim zu 21 Jahren angibt, sondern namentlich

[109]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1880, S. 62.

[110]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 57.

[111]) Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1883, Nr. 45; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX. Ergänz.-Bd. S. 12.

auch die auf dem internationalen Eisenbahnkongreß von 1900 erhobenen Feststellungen, nach denen die durchschnittliche Gebrauchsdauer von mit Teeröl getränkten Schwellen beträgt[112]:

bei Kiefernschwellen in Hauptgleisen 15 Jahre und dann noch in Nebengleisen 5 Jahre,
bei Eichenschwellen ebenso 18 und 7 Jahre und
bei Buchenschwellen ebenso 20 und 10 Jahre.

Auch nach 27jährigen Erfahrungen auf der französischen Ostbahn wird die Gebrauchsdauer von rohen oder mit Teeröl getränkten Eichenschwellen zu 15 und 25 Jahren — von letzterer Zahl 15 bis 20 Jahre in Hauptgleisen — und für ebenso getränkte Buchenschwellen zu 30 Jahren — davon 20 bis 25 in Hauptgleisen — angegeben[113], und auch die französischen Ingenieure Contamin, Moreau und Coüard geben nach ihren Erfahrungen auf der französischen Nordbahn und der Paris-Lyon-Mittelm.-E. die Dauer der Buchenschwellen zu 20 bis 25 bezw. 18 bis 23 Jahren an[114].

Aus alledem ergibt sich denn doch ein unverkennbarer großer Gewinn durch das Tränken, ganz besonders bei Buchenschwellen, welche überhaupt erst hierdurch für Eisenbahnzwecke verwertbar werden.

B. Eiserne Querschwellen.

§ 22. Entwicklung der Querschnittsform. — Abgesehen von einigen älteren erfolglosen Versuchen kann die Einführung einer eisernen Schwelle durch Le Crenier auf der Eisenbahn Lissabon-Bayadoz, 1860, als der Ausgangspunkt der Entwicklung der eisernen Querschwellen angesehen werden. Die Schwelle war aus einer 4 mm dicken Blechplatte hergestellt und hatte die in Abb. 61 dargestellte Querschnittsform, also die Form eines umgekehrten breiten Troges. Leider hat diese Form, die sich später wieder Geltung verschaffte, damals nur diese eine Anwendung gefunden, die sich infolge ungenügender Blechstärke nicht bewährte. Dagegen gelangte wenige Jahre später — 1864 auf der Paris-Lyon-Mittelm.-E., 1865 auf der französischen Ostbahn — in Frankreich durch Vautherin eine Schwelle trapezförmigen Querschnittes mit unteren wagerechten Fußansätzen zur Einführung, die lange Zeit für eiserne Querschwellen tonangebend wurde, aber wegen ihrer unrichtigen Querschnittsgestalt nicht von Erfolg sein konnte und daher viel dazu beigetragen hat, eine Zeitlang die eisernen Querschwellen in weiten Fachkreisen überhaupt in Verruf zu bringen. Die betreffende Form ist in den Abb. 62 und 63

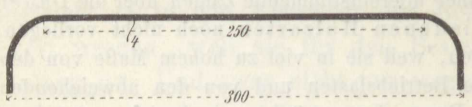


Abb. 61. Le Crenier (1860).

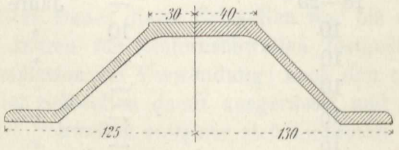


Abb. 62. Paris-Lyon-Mittelm.-B.

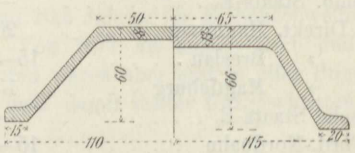


Abb. 63. Berg.-Märk. und Rhein. Eisenb.

in verschiedenen Entwickelungsstufen dargestellt. Nach einigen Versuchen, die in Frankreich mit ihr gemacht wurden, ist sie vorzugsweise im westlichen Deutschland

112) Bericht über Frage VIII, Brüssel 1901.

113) Revue générale des chemins de fer, 1898, S. 135.

114) Centralbl. d. Bauverw. 1805, S. 296 u. Zeitung d. V. d. E. V. 1894, S. 334 nach den dort angegebenen französischen Quellen. Siehe auch Revue générale des chemins de fer 1895, S. 90, wo zugleich der wirtschaftliche Nutzen des Tränkens mit Teeröl gegenüber demjenigen mit Kupfervitriol nachgewiesen wird. Ferner Schneidt, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897, S. 75, 92.

auf der früheren Bergisch-Märkischen und Rheinischen Eisenbahn in großer Ausdehnung zur Anwendung gekommen und hier durch allerlei Verbesserungen im einzelnen zu halten versucht worden. Aber die besonders auf die Befestigung der Schienen und größere Haltbarkeit des Schienenauflagers abzielenden Verbesserungen konnten nicht von wesentlichem Erfolge sein, weil die Gesamtform fehlerhaft war. Namentlich die wagerechten Fußansätze, die sich fest auf die Bettung aufsetzten, und der kleine Hohlkörper der Schwelle, der nur notdürftig mit Bettungsstoff ausgefüllt war, mußten zu Verbiegungen und Brüchen der Schwellen und besonders zu Längsrissen an den Schwellenkanten führen. Erst als die wagerechten Fußansätze aufgegeben und durch keilförmige Füße ersetzt wurden — zuerst 1876 von Hohenegger bei Langschwellen und demnächst 1882 auf den Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen bei Querschwellen — unter gleichzeitiger Vergrößerung des Hohlraumes behufs Aufnahme einer größeren Menge an Bettung, erwies sich diese Schwellenform als brauchbar und hat sich in dieser Gestalt ziemlich lange erhalten (Abb. 65).

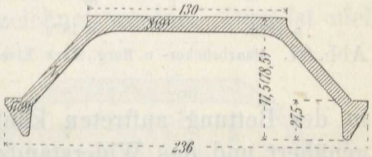


Abb. 64. Pr. St.-E.-D. Kölu (rrh.) (1886). (Hannover 1889.)

Es sei hier beiläufig eingeschaltet, daß trapezförmige und halbrunde Schwellen mit wagerechten Fußansätzen in Frankreich und Belgien Ende der achtziger Jahre wieder versuchsweise zur Anwendung gekommen und auch neuerdings wiederholt wieder in Vorschlag gebracht worden sind. Nach den ausgedehnten Versuchen in Deutschland kann man ihnen keinen günstigen Erfolg voraussagen. An dieser Anschauung muß auch gegenüber dem neuesten Vorschlag Haarmanns festgehalten werden, der bei seinem Starkstoßoberbau (siehe S. 168) eine der Vautherinschen ähnliche, wenn auch erheblich stärkere Schwelle verwendet[115]). Allerdings ist zuzugeben, daß die ungünstigen Erfahrungen mit Vautherin-Schwellen zum Teil auf das verwendete Material — Schweißeisen — zurückzuführen sind, für welches wegen der Schweißnähte die gewählte Form besonders unzweckmäßig war und Längsrisse begünstigte; aber auch das zurzeit allgemein verwendete Flußeisen würde die sonstigen konstruktiven Mängel des Querschnittes nicht aufgehoben haben und kann ähnlichen Formen auch für die Folge einen Erfolg nicht in Aussicht stellen.

Anfang der achtziger Jahre fand bei den preußischen Staatsbahnen für Querschwellen eine Form Eingang, welche der Haarmannschen Langschwelle nachgebildet war, also Hutform besaß und anfangs große Erwartungen wachrief. Unzweifelhaft ist diese in Abb. 65 dargestellte Form

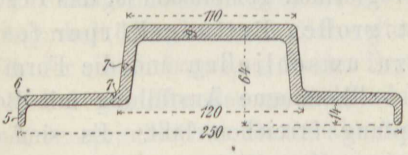


Abb. 65. Preuß. Staats-Eisenb. (1881).

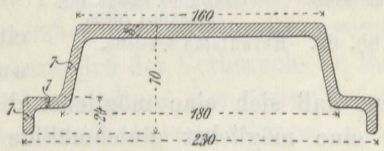


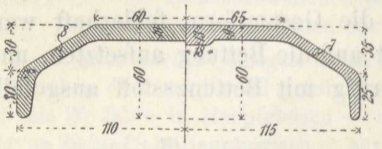
Abb. 66. Pr. St.-E.-D. Frankfurt u. Erfurt (1885).

der Trapezform konstruktiv überlegen; die Tragfähigkeit und Steifigkeit des Querschnittes ist bei gleicher Masse größer, die schädlichen Fußansätze fehlen und Langrisse sind daher nicht so zu befürchten. Andererseits ist es aber sehr schwer, ja fast unmöglich, den oberen Hohlraum zu unterstopfen, so daß auch diese Schwelle nur wenig Bettungsmasse umschließt, ein Mißstand, der ungünstig auf die feste und ruhige Lage wirkt und daher als Ursache erscheint, daß auch diese Schwellenform die gehegten Erwartungen nicht erfüllte. Sie ist daher wieder aufgegeben worden und hat sich auch in der etwas günstigeren Form der Abb. 66 nicht zu halten vermocht.

Die Trogform fand zuerst 1878 auf der vormaligen Saarbrücker und 1879 auf der Bergisch-Märkischen Eisenbahn, sowie fast gleichzeitig auch auf der

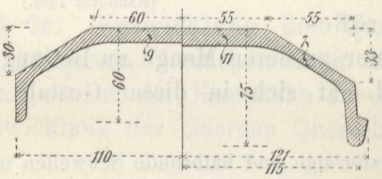
115) Haarmann, Das Eisenbahngleis. Kritischer Teil, S. 218 u. ff.

hessischen Ludwigsbahn für die freie Strecke Anwendung und zwar zuerst in der Gestalt der seit 1874 als Weichenschwelle benutzten Hilfschen Schwelle ohne Mittelrippe (Abb. 67 und 68a). Ihre Einführung entsprang dem Bestreben, eine leichtere Schwelle größerer Tragfähigkeit herzustellen, als dies mit der Trapezform möglich erschien. Bei der weiteren Durchbildung ist man dann zu größerer Höhe und zur Anordnung von Verstärkungen der Fußränder übergegangen (Abb. 68, 70 bis 73). Durch letztere soll Verbiegungen vorgebeugt werden, die beim Unterstopfen oder bei ungleich fester Auflagerung der Schwelle in der Bettung auftreten könnten; auch wird dadurch der Schwerpunkt dem Fuße genähert und das Widerstandsmoment erhöht.

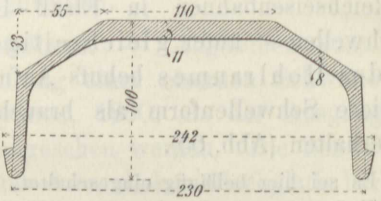


a 1878. b 1879.

Abb. 67. Saarbrücker- u. Berg.-Märk. Eisenb.



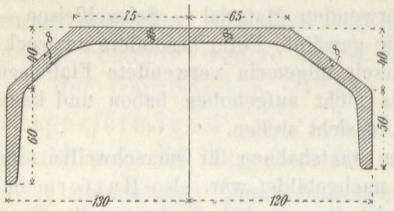
a 1882. b 1891.



c 1893.

Abb. 68. Badische Staats-Eisenbahn.

Die Zweckmäßigkeit dieser Fußwülste, besonders der in Keilform, wird übrigens auch angefochten, mit der Begründung, Form und Masse dieser Wülste begünstige ein Zermahlen der Bettung; diese Anschauung wird aber durch die Erfahrung nicht bestätigt; jedenfalls ist die durch die tiefe Schwerpunktslage erreichte Vergrößerung des Widerstandsmomentes, sowie die Verhinderung einer Fußverbiegung von nicht zu unterschätzender Bedeutung und schließlich wirken auch glatte Fußränder auf die Bettung zerstoßend ein.



a Österr. Staats-Eisenbahn (1882). b Bayer. Staats-Eisenbahn u. Pr. Eisenb.-Dir. Frankfurt (1893).

Abb. 69. Heindlsche Schwelle.

Allen Trogformen gemeinsam ist das Bestreben, einen recht großen Bettungskörper fest und ungeteilt zu umschließen und die Form so zu wählen, daß sich eine möglichst dichte und vollkommene Ausfüllung mit Bettung, sowie eine möglichst gleichmäßige Unterstopfung erreichen läßt. Es sind daher

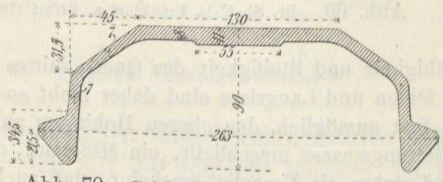


Abb. 70. Reichs-Eisenb. in Els.-Lothr. (1888).

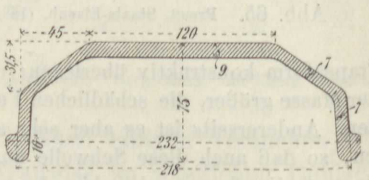


Abb. 71. Preuß. Staats-Eisenb. (1888).

stets die oberen Ecken abgestumpft oder abgerundet, weil diese Hohlräume doch nicht ausgefüllt werden könnten.

§ 23. Die heutigen Querschnittsformen. — Die zurzeit vorzugsweise angewandten und als die geeignetsten geltenden Schwellenquerschnitte sind in den

Abbildungen 68c bis 73 dargestellt. Die XIV. Technikerversammlung des V. d. E. V. hat in ihrer Versammlung zu Straßburg im Juni 1893 bezüglich der Querschnittsform eiserner Querschwellen erklärt[116]: »Eiserne Querschwellen von trogförmigem Querschnitt haben sich besser bewährt, als solche von trapezförmigem oder hutförmigem Querschnitt.« Da sich diese Erklärung auf die Berichte von 32 Verwaltungen stützt, die zum Teil viele hunderte von Kilometern der verschiedenen Schwellenformen seit langen Jahren im Betriebe haben, so kann sie wohl auf große Zuverlässigkeit Anspruch machen. Die trogförmige eiserne Querschwelle muß also als die beste der bisher in größerem Umfang im Betriebe erprobten bezeichnet werden. Dies ist nicht

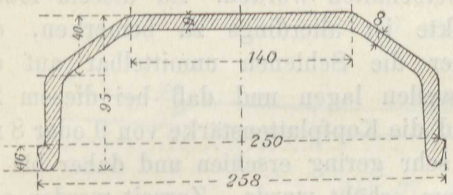


Abb. 72. Württembergische Staats-E. 1898.

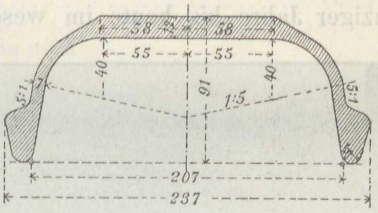


Abb. 73. Gotthardbahn 1898.

nur gegenüber den schon genannten neueren Versuchen mit trapezförmigen Querschwellen mit wagerechten Fußansätzen, sondern auch einer Schwellenform gegenüber hervorzuheben, die Boyenval-Ponsard auf der französischen Staatsbahn eingeführt hat (Abb. 74) und die auch von belgischen Ingenieuren den deutschen Formen gegenüber bevorzugt worden ist[117], die aber mit ihren kleinen kaum stopfbaren Hohlräumen noch weniger Erfolg versprach, als die gewöhnliche Trapezform, und von deren Erfolgen auch nichts verlautet hat.

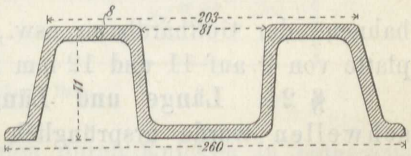


Abb. 74. Boyenval-Ponsard.

Ferner hat Schubert in den 90iger Jahren ausgedehnte vergleichende Versuche zwischen der trogförmigen Schwelle der preußischen Staatsbahnen (Abb. 71) und einer Schwelle von ⊤-förmigem Querschnitt (Abb. 86 auf Seite 173) angestellt, aus denen er die Überlegenheit der letzteren Schwellenform gegenüber der trogförmigen sowohl bezüglich der festen Lagerung in der Bettung, wie bezüglich des Verbrauchs an Bettungsstoff und des Aufwandes an Arbeitslohn für die Unterhaltung des Gleises folgerte[118]. Die auf den preußischen Staatsbahnen mit der von Schubert vorgeschlagenen Schwelle in Betriebsgleisen angestellten Versuche haben die Frage aber bisher nicht entschieden.

Endlich sei hier noch die Schwellenform erwähnt, die Haarmann in Verbindung mit seinem Starkstoßoberbau (s. S. 244) anwendet (Abb. 75) und bei der namentlich die oberen seitlichen Längsrippen bemerkenswert sind — nach denen die Schwelle Rippenschwelle benannt wird —, durch die die Übertragung der in der Längsrichtung des Gleises wirkenden Kräfte auf die Schwelle zweifellos eine sehr wirksame und die Befestigungsteile wenig angreifende ist. Ob sich die Schwelle,

---

[116] Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893.

[117] Flamache im Railway Engineer, Dezember 1893. Auch neuere amerikanische Vorschläge auf Verwendung einer Querschwelle von ⊥-Form dürften kaum Erfolg versprechen.

[118] Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 39 und 1897, S. 207. (Auch als Sonderdruck erschienen.)

die im übrigen der wenig günstigen Vautherinschen Form nahe verwandt ist, sonst bewähren wird, muß erst die Erfahrung lehren. Die auf den preußisch-hessischen Staatsbahnen angestellten Versuche sind zu kurz, um ein Urteil abgeben zu können.

Die Abmessungen der Querschnitte sind aus den Abbildungen zu ersehen. Während die obere Kopfflächenbreite von den älteren Trapezformen bis zu den neuesten Trogformen von 80 bis 120—130 mm, ja selbst bis zu 150 bis 160 mm gewachsen ist, und auch die Schwellenhöhe von 60 bis 66 zu 75 bis 100 mm zugenommen hat, ist die untere Auflagerbreite im Laufe der Zeit nicht in demselben Verhältnisse vergrößert worden. Auch die Stärke der Kopfplatte, die nur vorübergehend eine nicht unbedeutende Vergrößerung erfahren hat, ist vom Ende der sechziger Jahre bis heute im wesentlichen beibehalten worden. Zu diesem letzten Punkte ist allerdings zu bemerken, daß früher die Schienen unmittelbar auf den Schwellen lagen und daß bei diesem Zustand die Kopfplattenstärke von 9 oder 8 mm als sehr gering erschien und daher bis auf 13 mm erhöht wurde. Zurzeit werden aber ziemlich allgemein auch bei eisernen Schwellen Unterlagsplatten zwischen Schienen und Schwellen angewendet; dabei haben sich 8 bis 9 mm für die Kopfplattenstärke als vollkommen ausreichend erweisen. Wo Unterlagsplatten nicht zur Anwendung kommen, wie z. B. bei den badischen Staatseisenbahnen, der Gotthardbahn usw., hat man allerdings eine Verstärkung der Kopfplatte von 9 auf 11 und 12 mm für notwendig erachtet (Abb. 68c und 73).

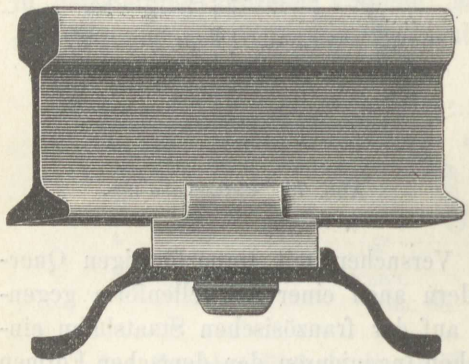


Abb. 75.

§ 24. Länge und Längenform. — Die Länge der eisernen Querschwellen wurde ursprünglich in Frankreich gleich der der Holzschwellen zu 2,40 m genommen; leider aber wurde dieses Maß später, um die Einführung der Neuerung durch niedrigen Preis zu begünstigen, auf 2,20, ja sogar auf 2,0 m[119]) eingeschränkt, sehr zum Schaden der Sache, denn so kurze Schwellen konnten den Betriebsbeanspruchungen, besonders bei ihrer ungünstigen Querschnittsform, nicht genügen. Auch in Deutschland wurde für die Länge das Maß von 2,20 bis 2,30 m lange Zeit festgehalten; es ist aber nach und nach von den meisten Eisenbahnen verlassen und seit 1878 durch 2,40 m, seit 1885 durch 2,50 und seit Ende der achtziger Jahre zuerst bei den preußischen Staats-Eisenbahnen und dann auch von vielen anderen Verwaltungen für Hauptstrecken in Übereinstimmung mit den Holzschwellen durch 2,70 m ersetzt werden. Für Nebenbahnen ist aber eine Länge von 2,50 m beibehalten worden und vollständig ausreichend.

Auch die Längenform hat mehrfache Umänderungen durchgemacht. Die Schwellen von Le Crenier (1860) waren gerade mit eingepreßter Neigung 1 : 20 für das Schienenauflager, und die ältesten Vautherinschwellen der Paris-Lyon-Mittelmeer-E. von 1864 und 1866 waren gleichfalls gerade, wobei zur Herstellung der Schienenneigung keilförmige Unterlagsplatten Verwendung fanden[120]). Aber wie bei der Querschnittsform und der Schwellenlänge, so trat auch

[119]) Haarmann, Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 568.

[120]) Ebenda, S. 561—563.

in diesem Punkte eine sehr erhebliche Verschlechterung ein, als auf der französischen Ostbahn 1865 die Schwellen in der Mitte gebogen wurden, um die Schienen mit der Neigung 1 : 20 unmittelbar auf den Schwellen lagern zu können. Diese einfache Art, die Schienenneigung herzustellen, hatte so viel bestechendes, daß sie alsbald überall angenommen wurde. Die Art und Einzelform der Schwellenbiegung war allerdings verschieden; ursprünglich wurde die ganze Schwelle in der Mitte geknickt oder gebogen (Abb. 76, 77), dann bog man nur die Schwellenenden auf und

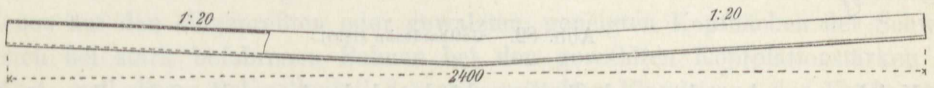


Abb. 76. Französische Ostbahn (1865).

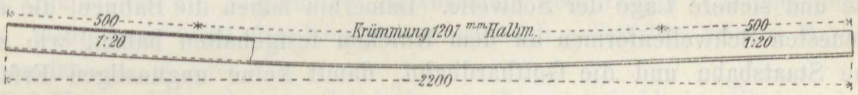


Abb. 77. Rheinische Bahn (1872).

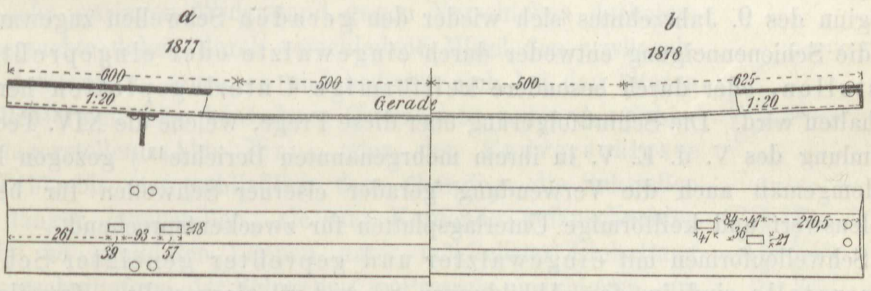


Abb. 78. Rheinische und Berg.-Märkische Bahn.

ließ die Mitte gerade (Abb. 78) und schließlich wurden durch Knicken in entgegengesetztem Sinne nur verhältnismäßig kurze Stücke der Schwelle beiderseits des

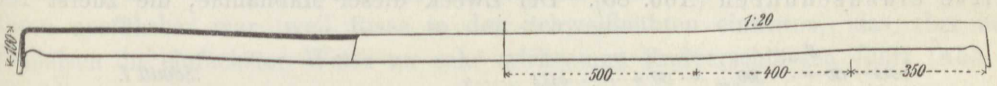


Abb. 79. Hessische Ludwigsbahn (1879).

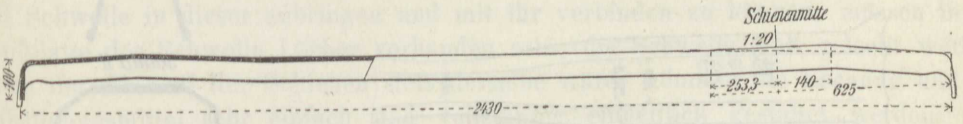
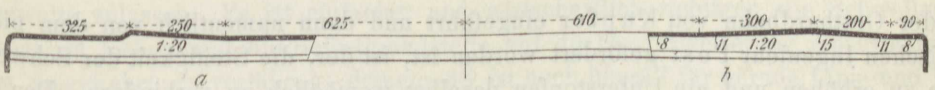


Abb. 80. Badische Staats-Eisenbahn (1882).



Hösch-Lichthammer (1883). Abb. 81. Hörde (1885).

Schienenauflagers in die Neigung 1 : 20 gebracht; die übrige Schwelle wurde dagegen in möglichster Länge gerade gelassen (Abb. 79, 80, 82). Wenn diese letzten

Formen auch schon viel zweckmäßiger sind als die älteren, bei welchen auch die Schwellenenden aufgebogen waren, so wird doch jede Schwelle durch das Biegen

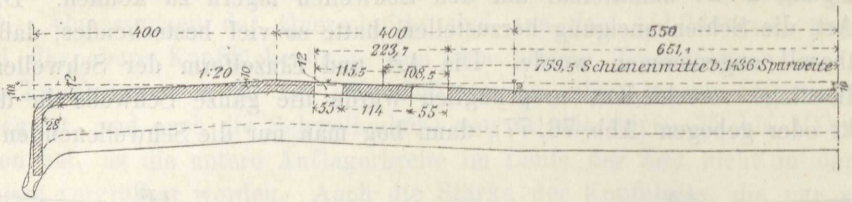


Abb. 82. Gotthardbahn (1898).

und Knicken geschwächt, und die verschieden hohe Lage der Schwellenunterfläche in der Bettung erschwert das gute und gleichmäßige Unterstopfen, beeinträchtigt also die feste und sichere Lage der Schwelle. Immerhin haben die Bahnen, die auch bei ihren neuesten Schwellenformen an dem Knicken festgehalten haben, wie z. B. die Badische Staatsbahn und die Gotthardbahn, damit keine ungünstigen Erfahrungen gemacht, allerdings bei Verwendung sehr kräftiger Schwellen.

Es ist aber jedenfalls als ein wesentlicher Fortschritt zu betrachten, daß man mit Beginn des 9. Jahrzehntes sich wieder den geraden Schwellen zugewandt hat, wobei die Schienenneigung entweder durch eingewalzte oder eingepreßte Auflagerstellen, oder durch besondere keilförmige Unterlagsplatten hergestellt und erhalten wird. Die Schlußfolgerung über diese Frage, welche die XIV. Technikerversammlung des V. d. E. V. in ihrem mehrgenannten Berichte[121]) gezogen hat, erklärt demgemäß auch die Verwendung gerader eiserner Schwellen für besonders empfehlenswert und keilförmige Unterlagsplatten für zweckentsprechend.

Schwellenformen mit eingewalzter und gepreßter geneigter Schienenauflagerstelle sind in den Abbildungen 80 und 81 dargestellt. Zuweilen wird hierbei auch die Schwellendecke in der geneigten Stelle verstärkt, um deren Widerstandsfähigkeit zu erhöhen. Ferner treten gleichzeitig Versuche auf, die ganze Querschnittsform der Länge nach veränderlich zu gestalten, insbesondere die Schwellenmitte einzuschnüren (Abb. 83). Der Zweck dieser Maßnahme, die zuerst 1884

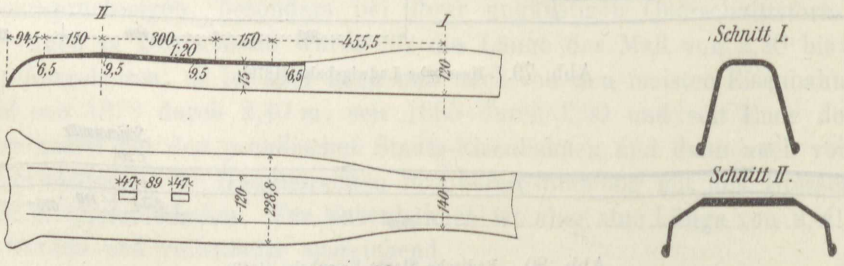


Abb. 83. Post (1885).

auf der Gotthardbahn von Küpfer eingeführt und dann namentlich von dem niederländischen Ingenieur Post gefördert worden ist, ist der, die Steifigkeit der Schwellenmitte zu erhöhen und ein Unterstopfen daselbst womöglich zu verhindern. Der letztgenannte Zweck ist aber bei Schwellen von 2,50 m und mehr Länge überhaupt nicht erstrebenswert, denn diese haben in der Mitte und am Ende annähernd gleichmäßig

121) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 69 u. 70.

zu tragen, müssen also auch an diesen beiden Stellen gleichmäßig unterstopft werden. Bei kürzeren Schwellen, die auf Hauptbahnen aber nicht verwendet werden sollten, kann es allerdings für zweckmäßig erachtet werden, die Schwellenmitte nur mäßig zu stopfen, weil sie einen geringeren Druck erhält, als die Schwellenenden. Gestopft muß aber auch hier werden, denn die vielfach geäußerten Bedenken, solche auch in der Mitte gestopfte Schwellen bögen sich um die Mitte nach außen durch, konnten bei gut unterhaltenen Gleisen linksrheinischer Strecken trotz sorgfältigster Messungen nirgends als zutreffend festgestellt werden[122]). Auch die unmittelbare Lagerung der Schienen auf den eingepreßten oder gewalzten, geneigten Kopfflächen der Schwellen hat sich bei stark befahrenen Bahnen bei den gewählten Kopfplattenstärken nicht bewährt, weil dieser Schwellenteil der unvermittelten Einwirkung der Kräfte starker Betriebslasten auf die Dauer nicht gewachsen ist. Es erscheint daher auch bei eisernen Schwellen die allgemeine Anwendung keilförmiger Unterlagsplatten notwendig, wenn man nicht die Kopfplatte erheblich verstärkt, wie z. B. in Baden geschehen ist.

Bei Verwendung eiserner Schwellen machte sich bald der Übelstand bemerkbar, daß sie bei offenen Köpfen den quer zur Gleisachse wirkenden Kräften nur einen sehr geringen Widerstand gegen Verschieben darboten. Man versuchte daher, durch verschiedene Mittel den erwünschten Widerstand zu erzeugen und bediente sich bei den älteren Schwellenformen dazu besonderer Quereisen unter den Schienenauflagerstellen (Abb. 78a), oder der Endverschlüsse (Abb. 78b), bis man schließlich dazu überging, die Schwellen etwas länger herzustellen, sie am Kopfende aufzuschneiden und die so gebildeten Lappen unter möglichster Einhaltung der Querschnittsform der Schwellen in Pressen umzubiegen, um so einen vollkommenen Kopfabschluß zu erhalten. Seit die Schwellen aus Flußeisen hergestellt werden, biegt man einfach die ganzen unaufgeschnittenen Schwellenenden im warmen Zustande, um, ein Verfahren, das früher beim Schweißeisen kaum ausführbar war (weil Risse in den Schweißnähten eintraten), das aber beim Flußeisen in einfachster Weise zu sehr wirksamen Endverschlüssen führt (Abb. 79 bis 84).

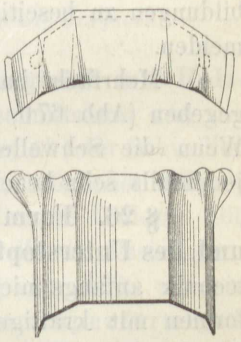


Abb. 84. Endverschluß.

§ 25. Lochen der Schwellen. — Um die Befsstigungsmittel zwischen Schiene und Schwelle in dieser anbringen und mit ihr verbinden zu können, müssen in der Kopfplatte der Schwelle Löcher vorhanden sein, die Schwelle muß gelocht werden. Wenn der Abstand der Schienen stets derselbe wäre, könnten die Lochung und die Befestigungsmittel sehr einfach und vollständig einheitlich gestaltet werden. Mit Rücksicht auf die in den Bogen notwendige Spurerweiterung müssen aber entweder die Schwellenlochung oder die Gestaltung der Befestigungsmittel eine Änderung der Spurweite zulassen. Es ist einfacher und wirtschaftlich richtiger, die Schwellen einheitlich zu lochen und die Befestigungsteile auf die Spurerweiterung einzurichten, als etwa umgekehrt zu verfahren; demgemäß ist auch überall für gerade Linie und Bogen dieselbe Schwellenlochung üblich.

---

122) Siehe hierüber auch die theoretischen Untersuchungen Zimmermanns in: Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues, Berlin, 1888, S. 95 u. ff.

Die Schwelle soll durch die Lochung möglichst wenig geschwächt werden; die Löcher dürfen daher nicht zu groß sein, besonders nicht in der Richtung quer zur Schwellenlänge, weil sonst Schwellenbrüche vorkommen könnten. Man geht mit der Weite der Löcher nicht gerne über $^1/_4$ der Breite der Kopfplatte hinaus. In der Richtung der Schwellenlänge können die Weiten der Öffnungen schon eher etwas größer genommen werden und müssen dies in der Regel auch, weil hier in der Gesamtweite dem Maße der vorkommenden Spurerweiterung Rechnung getragen werden muß.

Mit Rücksicht auf Herstellungsfehler pflegt man die lichte Weite der Löcher um 1 bis 2 mm größer zu nehmen, als die Abmessungen der sie ausfüllenden Befestigungsteile. Die zu beiden Seiten des Schienenfußes herzustellenden Löcher werden entweder unmittelbar gegenübergesetzt (Abb. 78a) oder gegen die Längsachse der Schwelle versetzt (Abb. 78b); das letztere Verfahren, das bei Verwendung von Schweißeisen zu den Schwellen seine Berechtigung hatte, um der Gefahr des Aufspaltens bei genau in derselben Richtung liegenden Löchern vorzubeugen, ist seit Einführung des Flußeisens, bei dem diese Gefahr nicht vorliegt, im Interesse wirksamerer und einfacherer Befestigungsweisen verlassen. Die Ecken der Löcher sollen abgerundet sein, auch sollen Ecken und Kanten nachgefeilt werden, um Gratbildungen zu beseitigen und alle scharfen Winkel, die Brüche begünstigen, zu vermeiden.

Mehrfach hat man der Schwellenkopfplatte in der Mitte Verstärkungen gegeben (Abb. 67b, 70) um die Schwächung durch das Lochen wieder auszugleichen. Wenn die Schwellen ohne Unterlagsplatten verwandt werden, ist dies Verfahren jedenfalls sehr beachtenswert.

§ 26. Form der Schwellen in Hinsicht auf die Forderungen des Walzens und des Unterstopfens. — Die verschiedenen Querschwellenformen haben der Walztechnik anfangs nicht geringe Schwierigkeiten bereitet, besonders die hohen Trogformen mit kräftigen scharfkantigen Fußrändern; aber diese Schwierigkeit wurde mit der Zeit überwunden, so daß die jetzt üblichen Formen vom Standpunkte der Walztechnik aus alle als zulässig bezeichnet werden müssen. Anders ist es bezüglich des günstigen Unterstopfens. Je höher und breiter eine Schwelle ist, desto schwieriger wird es, den von ihr umschlossenen Bettungskörper durch die Stopfarbeit möglichst gleichmäßig zu verdichten, und doch sind hohe und breite Schwellenformen wegen der großen Bettungsmasse, die sie umschließen, anderen vorzuziehen. Es mag aber immerhin sein, daß auch hier Grenzmaße ungestraft nicht überschritten werden dürfen. Wo diese Grenzen liegen, könnte nur von Fall zu Fall, je nach der Bettung und der Betriebsdichtigkeit bestimmt werden, denn diese beiden Faktoren sind jedenfalls von großem Einfluß und die wirksamste Festlagerung eines Gleises, namentlich eines mit Eisenschwellen, erfolgt immer durch das Befahren; die Stopfarbeit hat nur nachzuhelfen und infolge des Befahrens zutage tretende Ungleichheiten zu beseitigen.

Schubert hat über diese Frage interessante Versuche angestellt[123]). Schon bei einer Holzschwelle nimmt der Druck, den das Schwellenlager aushalten kann, wie in Abbildung 85 angegeben, vom Rande nach der Mitte zu erheblich ab, und bei einer eisernen Trogschwelle Heindlscher Form ist der Druck, den die Bettung

---

[123]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 17. Siehe auch 1894, S. 184, sowie die in Fußnote 117 auf S. 167 angeführte Abhandlung.

auf dem oberen Schwellenlager aushält, überhaupt recht gering. Schubert schlägt daher, wie schon in § 23 erwähnt, eine eiserne Schwelle von der Form der Abbildung 86 vor, die sich allerdings wohl gleichmäßig unterstopfen und auch gut walzen ließe, aber den erheblichen Mangel besitzt, daß sie keinen Bettungskörper umschließt und daher der Verschiebung der Schwelle, besonders in der Richtung der Gleisachse, einen geringeren Widerstand entgegensetzt, als eine gut gebaute trogförmige Schwelle. Übrigens ist eine der von Schubert vorgeschlagenen Form ähnliche Schwelle schon 1875 von Lazar vorgeschlagen und versuchsweise, jedoch ohne Erfolg, damals in Österreich zur Verwendung gekommen; auch die 1886 in Belgien vorübergehend angewendete Schwelle von Coblyn hat eine ähnliche Form.

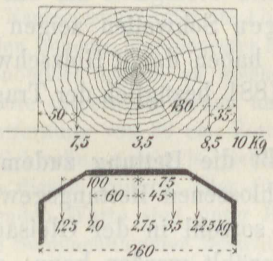


Abb. 85.

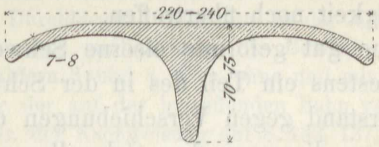


Abb. 86. Schwellenquerschnitt nach Schubert.

§ 27. Gewicht, Material und Leistungsfähigkeit. Vergleich mit Holzschwellen. — Entsprechend der Entwicklung, welche die Querschnittsform und die Länge der eisernen Schwellen genommen hat, wurde auch das Gewicht der Schwellen wiederholt herabgesetzt, in dem Bestreben, durch Beschaffung möglichst billiger Schwellen die Verwendung des Eisens gegenüber den Holzschwellen zu fördern. Die Schwelle von Le Crenier wog nur 25 kg, dagegen wog die Schwelle der Paris-Lyon-Mittelm.-E. von 1866 40,5 kg. Diese Eisenbahnverwaltung ging aber 1869 auf ein Gewicht von 36 kg herab (Abb. 62a, Seite 164). Die deutschen trapezförmigen Schwellen von 1869 wogen 35 kg, das Gewicht wurde zwar bis 1877 teilweise auf 47 kg erhöht, 1878 gelangte aber trotzdem wieder eine Schwelle von nur 35 kg (Abb. 63a, Seite 164) zur Anwendung, allerdings gleichzeitig auch die in Abb. 63b dargestellte kräftige Schwelle von 57,5 kg Gewicht für stark belastete Hauptbahnen; sie blieb aber vereinzelt, wogegen bis in den Anfang der achtziger Jahre noch vielfach trapezförmige Schwellen von 35 bis 38 kg eingeführt wurden.

Als die Bergisch-Märkische Eisenbahn 1879 die trogförmige Schwelle (Abb. 67b, Seite 166) einführte, sollte diese mit nur 44,5 kg Gewicht die Schwelle von 57,5 kg ersetzen. Man hielt dies, abgesehen von der für die feste Lagerung der Schwelle und die Umschließung der Bettung günstigeren Form, um so eher für zulässig, als man gleichzeitig vom Schweißeisen zum Flußeisen überging. Bei diesem waren alle jene Übelstände, die mit der Schweißung zusammenhingen, insbesondere Langrisse an den Schwellenkanten und Einrisse an den Schienenauflagerstellen bei den Schweißnähten nicht zu befürchten, und es sind auch tatsächlich seit dem allgemeinen Übergange zu Flußeisen derartige Schäden nur mehr vereinzelt eingetreten, wenn sonst Form und Stärke der Schwelle, sowie die Befestigungsmittel den Betriebsbeanspruchungen entsprachen. Allerdings müssen wegen der Natur der Beanspruchung der Schwellen an die Zähigkeit des Materials verhältnismäßig höhere Anforderungen gestellt werden, als bei den Schienen. Sehr hartes Flußeisen (Stahl) mit geringer

Zähigkeit kann daher leicht zu ungünstigen Ergebnissen führen, indem an den Schienenauflagerstellen, von den für die Befestigungsmittel notwendigen Lochungen ausgehend, Ein- und Ausbrüche vorkommen, besonders wenn die Schienen ohne Zwischenplatten unmittelbar auf den Schwellen aufliegen und die Lagerflächen durch Pressen, Biegen usw. ohnehin schon bedeutenden Spannungen ausgesetzt wurden[124]). Die Überzeugung, daß mit einem Gewichte von 44,5 kg eine der Holzschwelle ebenbürtige, auf möglichst lange Dauer widerstands- und leistungsfähige Schwelle nicht herzustellen sei, trotz des Überganges zu Flußeisen, brach sich aber immer mehr Bahn. Die hutförmige Schwelle von 1881 (Abb. 66, Seite 165) hatte bei 2,4 m Länge wieder ein Gewicht von 50 kg und war der vorgenannten Schwelle von 44,5 kg Gewicht durch ihre Form an Tragfähigkeit und Steifigkeit um das Doppelte und noch mehr überlegen. Die neueren trogförmigen Schwellen zeigen Gewichte von 54 bis 75 kg (Nachweisung auf S. 176, 177) und haben damit Holzschwellen annähernd erreicht, auch die hutförmige Schwelle von 1881 bezüglich der Tragfähigkeit und Steifigkeit noch übertroffen.

Eine gut geformte eiserne Schwelle umschließt die Bettung zudem so fest, daß mindestens ein Teil des in der Schwelle eingeschlossenen Bettungsgewichtes für den Widerstand gegen Verschiebungen der Schwelle sowohl in der Gleisachse, wie senkrecht zu dieser zu dem Schwellengewicht hinzugezählt werden kann; auch wird bei eisernen Schwellen neuerer Form dieser Widerstand in viel vollkommenerer Weise durch Reibung von Kies auf Kies erzeugt, als bei Holzschwellen mit ihrer verhältnismäßig glatten Unterfläche. Wenn daher eiserne Querschwellen dieselbe Länge erhalten wie Holzschwellen und auch in demselben Abstande verlegt werden, wie diese, so sind sie den Holzschwellen jedenfalls vollständig ebenbürtig und bei guter Ausbildung der Schienenbefestigung in dieser Hinsicht den Holzschwellen überlegen, weil sich Verbindungen zwischen Eisen und Stahl dauerhafter und sicherer gestalten lassen, als Verbindungen zwischen Eisen und Holz, was sich besonders bei der Bahnunterhaltung geltend macht. Diese Anschauungen werden übrigens neuerdings auch durch Erfahrungen in Belgien, wo man sich früher den Eisenschwellen gegenüber meist ablehnend verhielt, bestätigt[125]). Ebenso hat Ast auf der Kaiser Ferd.-Nordbahn durch Versuche von 1884 bis 1897 festgestellt, daß die Unterhaltungskosten bei Eisenschwellengleisen bei einer Gesamtbetriebslast von 85 Millionen Tonnen nur rund $^2/_3$ der Kosten der Holzschwellengleise betrugen.

Die mehrgenannte XIV. Technikerversammlung des V. d. E. V. erklärt zu diesen Fragen in ihren Schlußfolgerungen: »Der eiserne Querschwellenoberbau hat bei gutem Untergrunde und entsprechendem Bettungsmateriale allen Anforderungen genügt, wenn Schwellen von nicht zu geringer Länge, einem Gewichte von 58 bis 75 kg und mit zweckmäßiger Anordnung der Verbindungsteile zwischen Schiene und Schwelle in Anwendung kamen. Die neueste Bauart der preußischen Staatsbahnen mit 2,70 m langen geraden, trogförmigen Schwellen von 58 kg Gewicht (Abb. 71) und die Bauart Heindl mit Schwellen von 60 bis 72 kg Gewicht (Abb. 69) scheinen sich insbesondere gut bewährt zu haben.« (Bei diesen beiden Schwellen finden keilförmige Unterlagsplatten Verwendung.) Ferner: »im allgemeinen (sind) die Kosten an Arbeitslohn (zur Gleisunterhaltung) beim eisernen

---

124) Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß die ungünstigen Erfahrungen, die früher in Belgien und Frankreich auch mit starken eisernen Schwellen gemacht sein sollen, abgesehen von schlechter Bettung, auch auf diese Umstände zurückzuführen sind, da dort härteres Eisen (Stahl) üblich ist als in Deutschland, und da Unterlagsplatten allgemein nicht benutzt werden.

125) Bericht von Renson in den Verh. d. internat. Eisenbahnkongr., Bulletin usw., 12. Bd., S. 795. Siehe auch Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 95 u. 113.

Querschwellenoberbau in den ersten Jahren zunächst höher, nach eingetretener Befestigung der Bettung aber wesentlich geringer als beim Holzschwellenoberbau«.

Die Dauer flußeiserner Querschwellen guter Form ist jedenfalls mindestens dieselbe wie die getränkter Eichenholzschwellen. Wo es gilt Gleisverstärkungen vorzunehmen und durch Einführung leistungsfähigerer Schienen eine größere Widerstands- und Dauerleistung des Gleises zu erreichen, wird man daher auch der Anwendung eiserner Schwellen besondere Beachtung schenken müssen, um die Unterschwellung ebenso dauerhaft zu gestalten, wie Schiene und sonstige Gleisteile. Tatsächlich gehen viele Bahnen, namentlich in Deutschland und der Schweiz, auch nach diesen Gesichtspunkten vor. So waren z. B. in der Schweiz 1901 schon 52,2 v. H. der Gleise der Hauptbahnen mit Eisenschwellen verlegt.

Die Nachweisung auf Seite 176, 177 enthält die Abmessungen und Gewichte einiger eisernen Querschwellen neuerer und neuester Form, woraus die Entwicklung, welche die Schwellen in dieser Hinsicht genommen haben, zu ersehen ist. Zugleich sind aber auch die Trägheits- und Widerstandsmomente aufgeführt, ferner unter Annahme eines ruhenden Raddruckes von 7 t und einer Schwellenentfernung von 80 cm, Bettungsdruck und Durchbiegung (Senkung) in der Mitte und am Ende der Schwelle, sowie im Schienenstützpunkte, und endlich auch die Beanspruchung der Schwelle in diesem Punkte; alles für die Bettungsziffern 3 und 8 (Kies ohne und mit Packlage). Die betreffenden Werte sind unter Berücksichtigung der auf der betreffenden Bahn verwendeten Schiene (die Schienennummer bezieht sich auf die Nr. der Nachweisung auf S. 136, 137) nach dem von Dr. Zimmermann in seinem Werke über die Berechnung des Eisenbahnoberbaues angegebenen Verfahren ermittelt. Zum Vergleiche sind ferner auch einige Holzschwellengleise mit aufgeführt. Unbedingten Wert für den Vergleich zwischen den einzelnen Schwellenformen und -Längen würden die betreffenden Zahlen allerdings nur dann haben, wenn auch eine einheitliche Schiene zugrunde gelegt wäre, wie dies bezüglich des Schwellenabstandes tatsächlich geschehen ist. Es wurde aber hiervon absichtlich abgesehen, um den Einfluß der wirklich benutzten Schienen nicht zu beseitigen, denn die Formen der Schienen und Schwellen sind etwas viel fester Stehendes, als der Abstand der Schwellen, der leicht verändert werden kann.

Aus der Zusammenstellung ergibt sich zunächst, welch günstigen Einfluß eine ausreichende Schwellenlänge auf ihre ruhige Lage und damit des ganzen Gleises ausübt. Je größer der Unterschied im Bettungsdruck und der Schwellensenkung an deren verschiedenen Stellen ist, besonders zwischen Mitte und Ende, desto unruhiger liegt das Gleis. Eine vollständige Gleichheit ist in dieser Hinsicht nicht möglich, Bettungsdruck und Durchbiegung werden im Lastpunkte stets größer sein, als in der Schwellenmitte; es kann und sollte aber bezüglich Mitte und Ende der Schwelle möglichste Übereinstimmung angestrebt werden und das erfordert je nach der Schwellenform eine Schwellenlänge von 2,66 bis 2,77 m[126]. Die Verwendung kürzerer Schwellen ist daher unzweckmäßig, besonders so kurzer Schwellen, daß die Einsenkung des Schwellenendes größer wird als die des Schienenstützpunktes (Nr. 7 bis 9 und 13 der Nachweisung), denn solche Schwellen liegen nie fest und können außerdem zu Spurveränderungen Veranlassung geben, Mißstände, die selbst bei sehr steifen und kräftigen Schwellen nicht gehoben werden. Ferner läßt die Nachweisung den günstigen Einfluß guter Bettung auf die Schwellenlage erkennen, da schon durch die verhältnismäßig unerhebliche Vergrößerung der Bettungsziffer von 3 auf 8 die absoluten Durchbiegungswerte erheblich abnehmen.

Abgesehen von den kräftigen Schwellen mit einem Widerstandsmoment von über 40 ist die Beanspruchung durchweg eine ziemlich hohe; es ist aber zu berücksichtigen, daß es sich hierbei stets nur um Zugspannung handelt. Immerhin erscheint es nicht unzweckmäßig, durch starke Ausbildung der Schwellenfüße die Schwerpunkstachse herabzudrücken und dadurch das Widerstandsmoment zu erhöhen und die Beanspruchung zu vermindern.

Der Vergleich zwischen den eisernen und Holzschwellen zeigt, daß erstere bezüglich der Steifigkeit namentlich bezüglich der Senkung des Schwellenendes im Vergleich zur Schwellenmitte gegenüber letzteren mindestens ebenbürtig sind. Dies Ergebnis ist in Verbindung mit den schon hervorgehobenen Vorzügen eiserner Querschwellen wohl zu beachten, um so mehr, als auch die

[126]) Dr. Zimmermann, Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Berlin 1888, S. 193.

Nach-

der Abmessungen, des Gewichtes und der für die Leistungsfähigkeit 80 cm, ruhende

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nr.	Eisenbahnverwaltung	Nr. und Jahr der Schiene in der Nachweisung S. 66, 67.	Schwellenform	Breite der Kopfplatte	Breite unten	Höhe	Stärke der Kopfplatte	Länge	Gewicht	Trägheitsmoment	Widerstandsmoment
				der Schwelle					der Schwelle		
				mm	mm	mm	mm	m	kg	cm^4	cm^3
											A. Eiserne
1	Preuß.-hess. St.-E. Form 6	1 (1885)	Trogform 1888	120	232	75	9	2,50	54,2	147,9	29,4
2	Preuß.-hess. St.-E. Form 6	1 (1885)	» »	120	232	75	9	2,70	58,3	147,9	29,4
3	Preuß.-hess. St.-E. Form 8	2 (1890)	» »	120	232	75	9	2,70	58,3	147,9	29,4
4	Reichseisenb. in Elsaß-Lothr.	3 (1893)	» 1887	130	263	90	8	2,70	75	301	55,5
5	Bayerische St.-E.	4 (1892)	Heindl 1888	130	240	90	9	2,50	63,0	212	33,9
6	Württemb. »	5 (1898)	Trogform 1898	140	258	95	9	2,70	75	271	41,7
7	Badische »	alte Form	» 1891	110	242	75	11	2,25	53,5	136,4	26,3
8	» »	(1893)	» 1893	110	242	100	11	2,40	70,0	302,0	43,6
9	Österreich. »	8	Heindl 1888	150	260	100	10	2,40	71,5	311,5	44,1
10	Schweiz. B.-B.	15	Trogform 1902	130	240	90	11	2,70	72,5	256	41,3
11	Gotthard-B.	16	» »	116	237	91	12	2,70	73,9	285	47,5
											B. Holz-
12	Preuß. Staats-E.	1 (1885)	Rechteck	—	260	160	—	2,70	—	8874	1109
13	Österreich. »	8	»	—	250	150	—	2,40	—	7025	939
14	Belgische »	14 (1886	Halbkreis	—	280	140	—	2,60	—	3482	512
15	Midland-E.	27	Rechteck	—	254	127	—	2,72	—	4336	683
16	Badische St.-E.	Stuhlschiene 22	»	—	250	150	—	2,70	—	7025	939

weisung

maßgebenden Werte verschiedener Schwellenformen. Schwellenabstand Radlast 7000 kg.

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Bettungsziffer	Schienendruck	Bettungsdruck der Schwelle: in der Mitte	Bettungsdruck der Schwelle: im Lastpunkt	Bettungsdruck der Schwelle: am Ende	Schwellensenkung: in der Mitte	Schwellensenkung: im Lastpunkt	Schwellensenkung: am Ende	Beanspruchung der Schwelle im Lastpunkt	Bemerkungen
	kg	kg	kg	kg	mm	mm	mm	kg/qcm	
Schwellen.									
3	3630	0,96	1,43	1,40	3,19	4,75	4,66	1380	Nur für Nebenb.
8	3870	0,76	1,75	1,26	0,95	2,18	1,58	1450	
3	3640	0,99	1,34	0,97	3,32	4,48	3,23	1580	Der tatsächliche Schwellenabstand schwankt von 70,0 bis 85,8 cm.
8	3920	0,82	1,71	0,79	1,02	2,12	0,99	1580	
3	3610	0,99	1,33	0,96	3,30	4,44	3,19	1570	
8	3750	0,78	1,64	0,66	0,98	2,05	0,83	1520	
3	3650	0,99	1,17	0,98	3,29	3,84	3,27	860	
8	4080	0,86	1,45	0,90	1,21	1,82	1,13	920	
3	3630	0,95	1,33	1,33	3,18	4,42	4,43	1190	Der tatsächliche Schwellenabstand ist 66,7 bis 80,0 cm.
8	3980	0,84	1,64	1,34	1,06	2,04	1,68	1320	
3	3605	0,95	1,11	0,95	3,18	3,69	3,18	1130	Desgl. 75,0 bis 80,0 cm.
8	3780	0,91	1,27	0,86	1,13	1,59	1,08	1155	
3	3620	0,89	1,65	1,99	2,96	5,51	6,65	1160	
8	3850	0,61	1,99	2,20	0,77	2,48	2,76	1330	Der tatsächliche Schwellenabstand ist 78 cm.
3	3570	1,04	1,41	1,54	3,04	4,69	5,14	790	
8	3720	0,89	1,58	1,65	1,11	1,98	2,07	1110	
3	3680	0,93	1,29	1,42	3,11	4,29	4,72	820	
8	4200	0,86	1,59	1,65	1,08	1,99	2,06	990	
3	3570	1,00	1,14	1,00	3,35	3,78	3,35	1140	
8	3745	0,98	1,33	0,94	1,22	1,66	1,18	1160	
3	3570	1,02	1,19	0,97	3,40	3,97	3,23	985	Der tatsächliche Schwellenabstand ist 75 cm.
8	3720	1,00	1,43	0,88	1,25	1,79	1,10	985	
Schwellen.									
3	3680	0,99	1,10	0,98	3,28	3,67	3,28	44	
8	4270	1,05	1,37	0,98	1,32	1,71	1,28	50	
3	3680	1,02	1,31	1,44	3,40	4,38	4,80	38	
8	4200	0,98	1,60	1,71	1,22	2,00	2,14	46	
3	3610	0,81	1,10	0,97	2,70	3,66	3,23	85	
8	3750	0,67	1,33	0,81	0,84	1,66	1,01	86	Stuhlschienenoberbau; der tatsächliche Schwellenabstand ist 80,8 bis 91,44 cm.
3	3650	0,96	1,15	0,93	3,20	3,84	3,07	71	
8	4030	0,90	1,45	0,78	1,13	1,81	0,98	75	
3	3630	1,00	1,14	1,00	3,33	3,79	3,33	53	Dieser Oberbau ist dem unter 15 aufgeführten nachgebildet.
8	3890	0,98	1,33	0,94	1,22	1,66	1,17	53	

Kosten der ersten Beschaffung an vielen Orten Deutschlands keineswegs zuungunsten eiserner Schwellen sprechen. Denn schließlich wird die Entscheidung darüber, ob eine Bahn zweckmäßiger Holzschwellen oder Eisenschwellen anwendet, wohl zuerst und vorzugsweise nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu beurteilen sein und zwar nicht nur nach den reinen Beschaffungskosten[127]), sondern auch unter Beachtung der Verhältnisse der Forstwirtschaft und der Eisenindustrie, sowie der der Bahn etwa erwachsenden oder entgehenden Frachten; aber andererseits wird auch im Auge behalten werden müssen, daß Eisenschwellen wegen der vollkommeneren Befestigungsweise eine größere Betriebssicherheit gewährleisten als Holzschwellen.

C. Querschwellen aus anderen Stoffen.

§ 28. Wiederholt sind Vorschläge gemacht die Querschwellen aus Stoffen herzustellen, die eine größere Dauer als Holz und Eisen versprechen und womöglich auch noch tragfähiger sind als diese. Zunächst kamen Mischungen von Asphalt oder Naphtarückständen und Steinschlag mit oder ohne Kalkzusatz in Frage, die auch bei Einzelunterstützungen verwendet worden sind (siehe § 31), derartige Versuche sind aber ohne Erfolg gewesen.

Neuerdings werden aber in Frankreich Beton-Eisenschwellen verwendet. So seit Frühjahr 1900 auf den französischen Staatsbahnen eine solche nach dem Vorschlage von Sarda, die sich bis jetzt gut bewährt haben soll. Sie haben 245 cm Länge, 24 cm untere Breite und unter den Schienen 15 cm, sonst 10 cm Stärke, dabei stellt sich ihr Gewicht auf etwa 140 kg und der Preis bei Massenlieferung auf 10,50 bis 11 fr.[128]). Um die Schienen auf den Schwellen befestigen zu können, sind Eisenbuchsen in die Schwellen eingesetzt worden, in die die Befestigungsschrauben eingreifen (siehe § 32, S. 182).

Ebenso sind auf der Strecke Voiron St.-Béron Eisen-Betonschwellen von 1,80 m Länge, 18 cm Breite und 14 cm Dicke in Benutzung, die 105 kg wiegen und 4,50 fr. kosten sollen[129]). Hier sind zur Schienenbefestigung Hartholzdübel in den Schwellen angeordnet, die am oberen Ende durch ⌶-förmige Eisenringe festgehalten sind und in die gewöhnliche Schwellenschrauben (siehe S. 193) eingeschraubt werden.

D. Einzelunterstützungen.

§ 29. Steinwürfel. — Da diese gegenwärtig für die europäischen Länder nur noch geringe Bedeutung haben, so begnügen wir uns mit einer kurzen Übersicht. Die Verwendung von Steinwürfeln als Schienenunterlagen war früher ziemlich verbreitet, hat aber für die Gleise der freien Strecken nur noch geschichtlichen Wert, weil sich die Konstruktion nicht bewährt hat. (Siehe Geschichtliche Einleitung.) Auch in den Bahnhofsgleisen kommen in der Regel Steinwürfel nicht vor; sie werden hier aber unter besonderen Verhältnissen auch heute noch mit Vorteil verwendet (T. V. § 12), namentlich wenn es notwendig oder erwünscht ist, die Schiene über ihre Umgebung so weit zu erheben, daß zwischen dem Schienenfuß und der Oberfläche des umgebenden Bodens ein offener Spielraum verbleibt (Abb. 87). Dieser Fall tritt besonders bei Reinigungsstellen für Wagen ein, wo der Boden wasserdicht abgedeckt wird. Die Steinwürfel werden in solchem Falle festgelagert und die Schienen mit Steinschrauben oder unter Anbringung von Holzdübeln in den Steinen mit Nägeln oder Schienenschrauben befestigt.

---

[127]) Bei den rheinischen Strecken der preuß. Staatsbahnen ist z. B. eine rd. 60 kg schwere Eisenschwelle, ohne Berücksichtigung des um 2 ℳ höheren Altwertes, um etwa 0,40 ℳ billiger als eine 2,70 m lange getränkte eichene Schwelle.

[128]) Neuere Bauweisen und Bauwerke aus Beton und Eisen, 1904, S. 19.

[129]) Le Génie Civil, 1904.

Auch die Ende der sechziger Jahre versuchte Verwendung von Einzelunterlagen aus Kunststein hat sich nicht bewährt und gilt als verlassen.

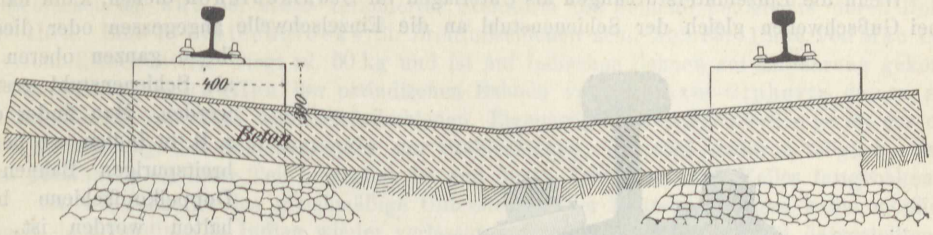


Abb. 87.

§ 30. Eiserne Einzelunterstützungen. — Solche sind in den vierziger bis sechziger Jahren wiederholt auf englischen und französischen Eisenbahnen versucht worden, ohne sich auf die Dauer gegenüber den dort fast ausschließlich verwendeten Holzquerschwellen Eingang verschaffen zu können. In Deutschland sind derartige Schienenunterlagen nur ganz vereinzelt angewendet worden. In den heißen Zonen aber, wo das Holz durch klimatische Einflüsse und Insekten einem sehr raschen Verderb unterliegt, hat die eiserne Einzelunterlage große Verbreitung erhalten; auch schon in Spanien hat sie sich in ziemlicher Ausdehnung zu behaupten gewußt. Die zurzeit noch in Benutzung befindlichen eisernen Einzelunterstützungen bestehen vorzugsweise aus Gußeisen; es sind aber mehrfach auch Unterlagen verlegt worden, die aus gepreßtem Eisen- oder Stahlblech hergestellt waren. Ursprünglich gab man den Einzelschwellen eine solche Grundfläche, daß der Druck auf die Bettung mit dem von Holzschwellen ausgeübten annähernd übereinstimmte. Man hat sich aber mehr und mehr von der Notwendigkeit überzeugt, die Grundfläche zu vergrößern, einmal um der in heißen Ländern meistens schlechten Bettung Rechnung zu tragen, und ferner um der Gefahr des Bruches der Gußschwellen vorzubeugen.

Die Formen sind sehr vielgestaltig, lassen sich aber in zwei Hauptgruppen zusammenfassen, nämlich Glocken, deren hohle Seite nach unten gekehrt ist, und Platten, mit großer glatter Auflagerfläche. Die Glocken sind sowohl aus Gußeisen, wie aus Blech hergestellt worden, in kreisrunder, länglichrunder und eckiger Gestalt, mit glatter oder wellenförmig gerippter Oberfläche. Es sind das Unterschiede, denen eine konstruktive Bedeutung nur insoweit beigelegt werden kann, als bei länglichen Einzelschwellen die Langseite mit der Schienenrichtung zusammenfällt und die Schienenauflagerstelle dadurch eine größere Länge erhält als bei kreisförmigen oder quadratischen Schwellen. Die glockenförmigen Einzelschwellen sollen sich auf den südamerikanischen Eisenbahnen sehr gut bewährt haben und werden daher sowohl dort, wie auch in Ägypten anderen

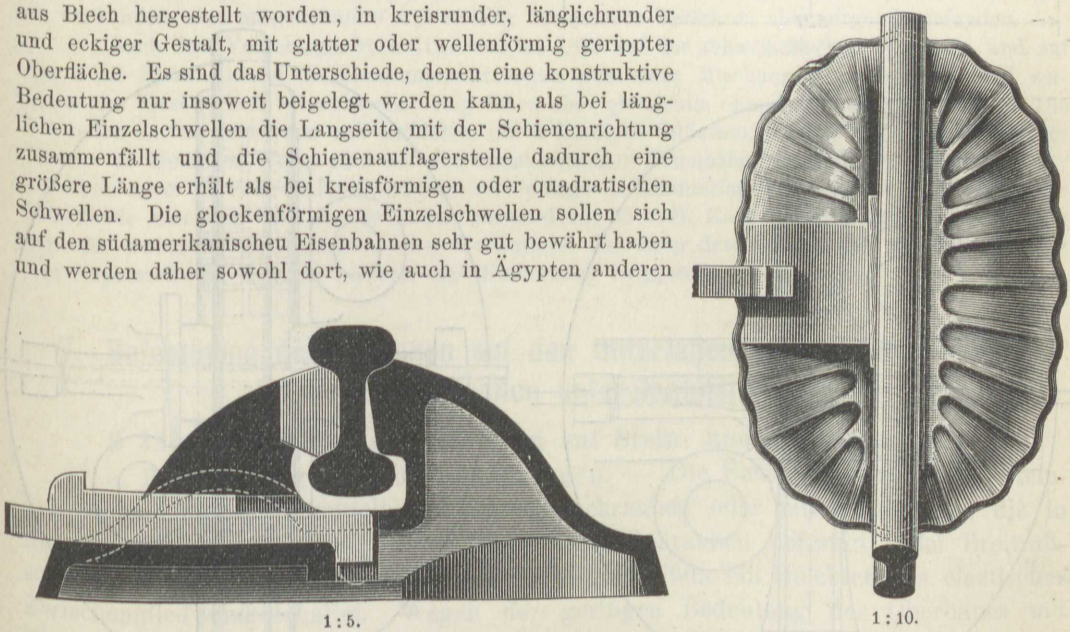


Abb. 88. Gußglocke von Griffin. Argentinische Bahnen (1863).

Einzelunterlagen vorgezogen. Dagegen bevorzugten die indischen Bahnen, nachdem sie mit den Glocken ungünstige Erfahrungen gemacht hatten, eine Zeit lang die plattenförmigen Einzel-

schwellen. Da sich diese aber schwer gleichmäßig stopfen lassen, geht man neuerdings wieder zu den Glockenunterlagen über.

Wenn die Einzelunterstützungen als Unterlagen für Stuhlschienen dienen, kann namentlich bei Gußschwellen gleich der Schienenstuhl an die Einzelschwelle angegossen oder diese in ihrem ganzen oberen Teil als Schienenstuhl gestaltet werden. Man findet daher z. B. in Indien, wo bei den breitspurigen Bahnen die Doppelkopfschiene beibehalten worden ist, ausschließlich Einzelstützen, während bei den Schmalspurbahnen, die die Breitfußschiene angenommen haben, auch Querschwellen verwendet werden. Abbildung 88 stellt die hierher

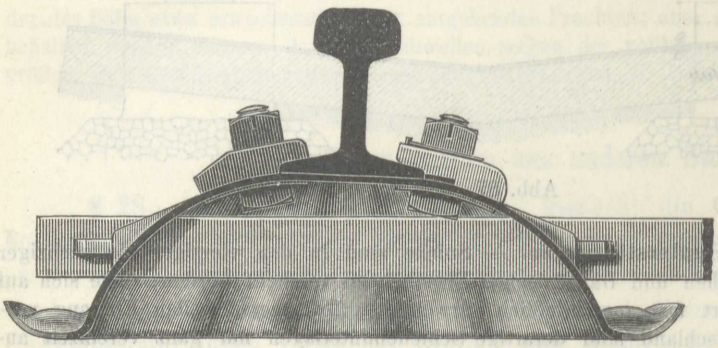
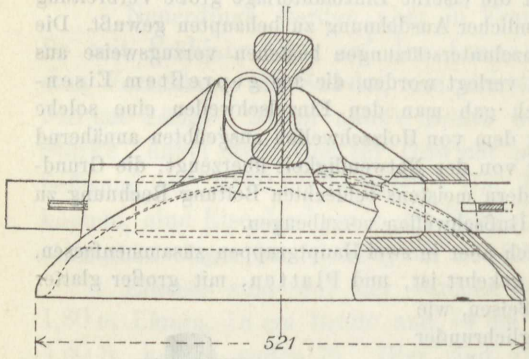
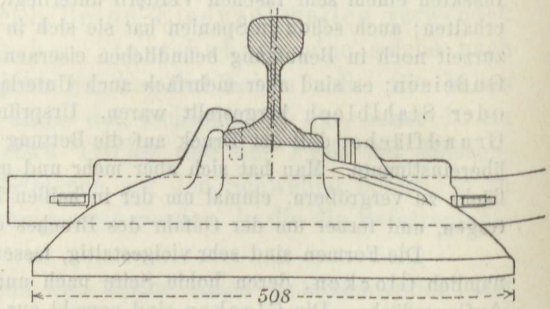


Abb. 89. Schmiedeeiserne Glocke von Mac Lellan. Indische Bahnen (1874).





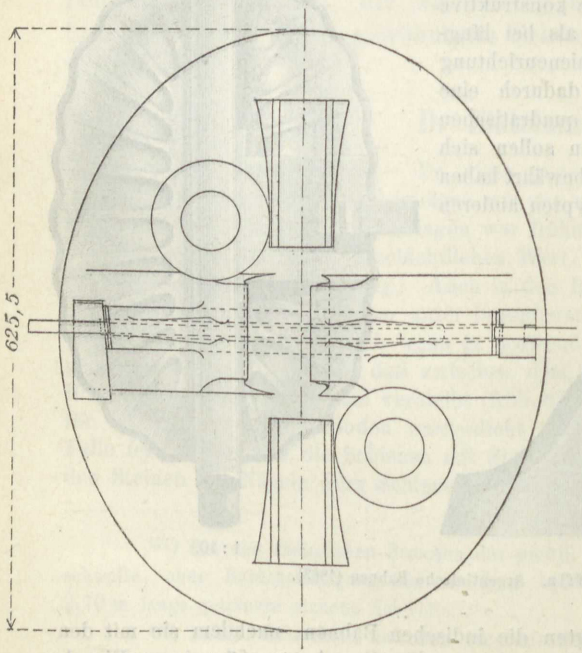


Abb. 90.

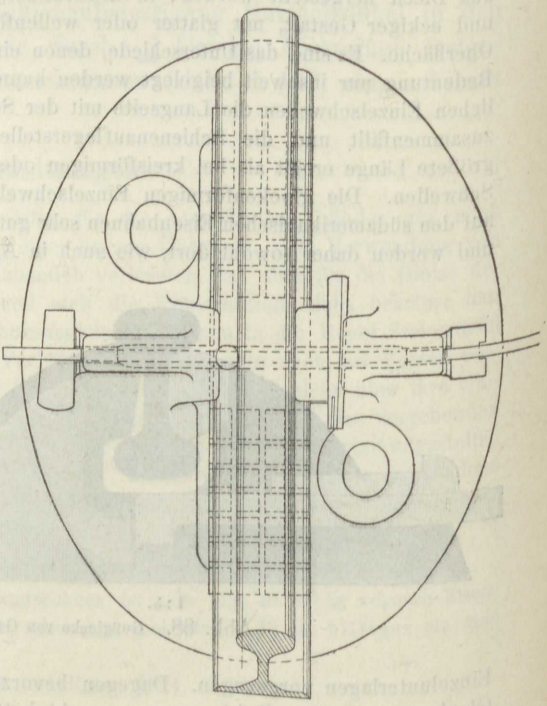


Abb. 91.

Gußglocken indischer Bahnen.

gehörige Gußglocke von Griffin dar, die in Argentinien seit 1863 stark verbreitet und auch in Ägypten, Ostindien und Spanien vertreten ist. Dort, wo die Verwendung von Holz nicht gänzlich ausgeschlossen ist, wird bei etwas veränderter Stuhlform die Schiene beiderseits durch Holzkeile festgehalten. Eine Wellblechglocke für Breitfußschienen zeigt Abb. 89. Diese von Mac Lellan entworfene Einzelschwelle wiegt rd. 50 kg und ist auf indischen Bahnen zur Einführung gekommen. Plattenförmige Schwellen der ostindischen Bahnen von Denham-Olpherts dienen sowohl der Unterstützung von Stuhl- wie Breitfußschienen. Eigenartig an diesen Schwellen ist die ausschließliche Unterstützung des Schienenkopfes der Stuhlschienen; sie wird dadurch möglich, daß die innere Stuhlbacke als loser Teil beweglich ist und durch Antreiben eines Keiles festgehalten wird.

Da wie bemerkt das gleichmäßige Unterstopfen der Plattenunterlagen kaum möglich ist, hat man sie neuerdings in Indien wieder verlassen und ist zu der in Abb. 90 dargestellten Gußplatte übergegangen, die schräg neben dem Schienenauflager mit zwei Löchern versehen ist, durch die man die Glockenschwelle mit Stöcken stopfen kann; dadurch soll die Lage eine sehr feste sein. Diese Gußglocke wird auch zur Unterstützung von Breitfußschienen verwendet (Abb. 91).

Die Gewichte der eisernen Einzelunterstützungen sind wie deren Abmessungen und Formen sehr verschieden und schwanken zwischen 21 und 60 kg.

Die Einzelunterlagen werden, wie in den Abbildungen 88 bis 91 zu ersehen ist, untereinander durch hochkantig gestellte Flacheisen, die durch Keile angetrieben werden, in der richtigen Spurweite gehalten. Die Neigung der Schienen pflegt durch die Form der Einzelunterstützung hergestellt zu werden.

Die Lebensdauer der Einzelstützen ist sehr lang, man rechnet auf 50 und mehr Jahre; sie sind daher namentlich den Holzschwellen wirtschaftlich überlegen. Andererseits werden sie bei Entgleisungen leicht in solcher Weise und Zahl zerstört, daß der Betrieb sehr empfindlich gestört wird; man hat die Einzelunterstützungen daher vielfach auf Stationen, wo leichter Entgleisungen eintreten, auch auf Bahnen, wo sie sonst verwendet werden, verlassen.

§ 31. Einzelunterstützungen aus anderen Stoffen. — Einzelunterlagen aus Holz sind in der ersten Zeit des Eisenbahnwesens verschiedentlich verwendet worden, kommen zurzeit aber nicht mehr in Betracht. Allerdings sind auch bis in das neunte Jahrzehnt hinein Versuche gemacht worden, die mittleren Teile alter Holzquerschwellen, die durch mechanische Zerstörung an den Schienenauflagerstellen abgängig geworden sind, herauszuschneiden und als Einzelunterlagen zu verwenden, eine ausgedehntere Anwendung hat solches Verfahren aber nirgends gefunden.

Nach dem Vorschlage Stierlins wurden 1873 auf der schweizerischen Westbahn und auf der Paris-Lyon-Mittelm.-E. Einzelunterstützungen aus einer Mischung von Asphalt und zerkleinerten Kieselsteinen versuchsweise eingeführt, aber gleichfalls ohne Nachahmung zu finden. Die Schwellen hatten Kreuzform und enthielten ein I-förmiges Gußeisen, welches als Schienenauflager diente. In ähnlicher Weise sind auf der transkaspischen Eisenbahn seit 1887 aus Naphtarückständen unter 75 v. H. Kalkpulverzusatz rechteckige Einzelunterlagen hergestellt worden[130]). Die betreffende Mischung wird in erwärmtem Zustand mit 25 v. H. Kies gemengt und in die Formen gepreßt, wobei für die Aufnahme eines Holzfutters, das unter dem Schienenfuß zwischen Schiene und Naphtaschwelle liegt, in letzterer eine Einkerbung hergestellt wird.

V. Befestigung der Schienen auf den Unterlagen, sowie der Schienen und Schwellen untereinander.

§ 32. Befestigung der Schienen auf Stein- und Holzunterlagen.

a. Befestigung auf Steinunterlagen. — Die Schienen werden auf Steinunterlagen entweder unmittelbar durch Steinschrauben oder mit Holzdübeln, die in die Steine eingelassen sind, durch Nägel oder Schrauben befestigt. Bei Breitfußschienen hat man öfter zwischen Schienenfuß und Stein ein Holzbrett als elastisches Zwischenglied eingeschaltet. Wegen der geringen Bedeutung des Oberbaues mit Steinunterlagen für die Gegenwart gehen wir auf die Einzelheiten dieser Befestigung nicht näher ein.

130) Wochenschrift des österr. Ingen.- u. Archit.-Vereins 1886, S. 152.

Die Befestigungsweise der Schienen auf den in § 31 genannten Betoneisenschwellen ist in Abb. 91a dargestellt und wohl ohne nähere Erklärung verständlich.

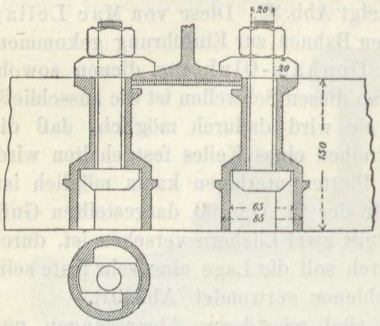


Abb. 91a.

b. Unterlagsplatten und Schienenstühle bei Holzschwellen. — 1. Unterlagsplatten. Die Breitfußschiene liegt entweder unmittelbar auf der Schwelle oder es wird eine Unterlagsplatte zwischengeschaltet. Durch eiserne Unterlagsplatten wird nicht nur die Auflagerfläche auf den Schwellen vergrößert, sondern es werden auch alle durch die Platte in die Schwelle eingetriebenen Befestigungsmittel möglichst gleichzeitig und gleichmäßig zur Wirkung gebracht. Die Schwelle wird dadurch wirksamer vor den mechanischen Angriffen geschützt, als bei unmittelbarer Auflagerung der Schiene, insbesondere wird dem Einfressen der Schienenfußkanten vorgebeugt. Platten mit erhöhten Randleisten an der Außenseite oder beiderseits (Abb. 92 bis 97, S. 183 und 184) setzen außerdem den Seitenkräften einen größeren Widerstand entgegen, als Schienennägel oder Schrauben allein. Dadurch wird die Spursicherung eine bessere und werden die Nägel vor Einfressungen durch den Fußrand der Schiene geschützt.

Die ersten eisernen Unterlagsplatten wurden schon 1838 auf der Leipzig-Dresdener Eisenbahn angewendet und fanden bald auch anderwärts Eingang, aber überall zunächst nur zur Unterstützung des Schienenstoßes. Denn bei dem älteren unmittelbar durch Schwellen unterstützten Schienenstoße machte sich das Bedürfnis zu deren Schutz am ehesten und fühlbarsten geltend. Auch sollten die Randleisten der Unterlagsplatten einer seitlichen Verschiebung der Schienenenden vorbeugen. Bald aber dehnte sich die Verwendung nach den bei den Stoßschwellen gemachten günstigen Erfahrungen auch auf die Mittelschwellen aus, von welchen in scharfen Krümmungen oder bei Verwendung von Weichholzschwellen wenigstens 1 bis 2 auf eine Schienenlänge mit Unterlagsplatten versehen wurden. Die Technikerversammlung des V. d. E. V. in Düsseldorf empfahl 1874 deren vermehrte Anwendung und zwar bei lebhaftem Betriebe auch in der Geraden, besonders auf Weichholzschwellen, und dieselben Versammlungen von 1878 und 1884 bestätigten dieses Urteil[131]).

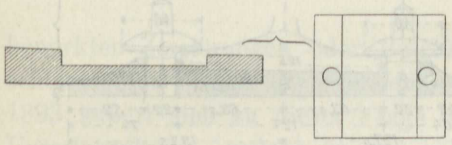
Inzwischen ist die Verwendung solcher Unterlagsplatten auf den Bahnen des Vereinsgebietes immer allgemeiner geworden. In Deutschland werden sie in neuester Zeit, mindestens bei Hauptbahnen, grundsätzlich auf allen Schwellen angeordnet. Dagegen werden eiserne Platten in den westeuropäischen Ländern und in Nordamerika nur vereinzelt benutzt. Dagegen kommen in Frankreich vielfach Platten aus Filz und Pappelholz zur Verwendung, die immerhin auch schonend auf die Schwellen einwirken und ein sanftes Fahren begünstigen. Seit 1885 ist man, behufs Herstellung und Sicherung der Schienenneigung ohne Dechselung der Schwellen, zu keilförmigen Platten übergegangen (Abb. 94 bis 99, 101 bis 103), die schon um die Mitte des Jahrhunderts auf der Semmeringbahn eine vereinzelte, leider damals ohne Nachfolge gebliebene Anwendung gefunden hatten (Abb. 100).

Der große Nutzen der Unterlagsplatten ist besonders eingehend von Sarrazin auf Grund ausgedehnter Versuche auf der Strecke Deutz-Siegen (siehe IV, S. 162)[132])

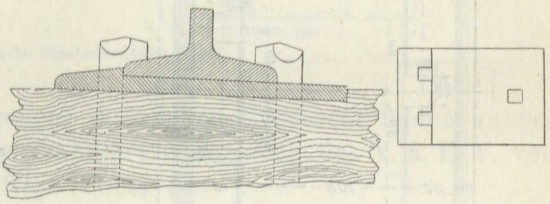
[131]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. V. Erg.-Bd. S. 8; VI. Erg.-Bd. S. 60; IX. Erg.-Bd. S. 68.

[132]) Deutsche Bauzeitung 1877, S. 465 und 1880, S. 55; Centralblatt d. Bauverw. 1883, S. 437.

nachgewiesen worden, nachdem schon früher M. M. v. Weber[133]) gezeigt hatte, daß sowohl die Widerstandfähigkeit der einzelnen Nagelung durch die, vermöge der Platten gegebene Unterstützung der übrigen Nagelungen wie auch der Widerstand gegen seitliche Schienenverdrückungen durch Unterlagsplatten ungefähr verdoppelt wurde. Durch die allgemeine Anwendung von Unterlagsplatten wird die Güte eines Gleises sowie dessen Dauer erheblich erhöht und die Unterhaltungskosten werden herabgemindert. Die Technikerversammlung des V. d. E. V. von 1893 erklärt zu dieser Frage[134]): »Die Verwendung von Unterlagsplatten auf jeder hölzernen Schwelle erscheint zweckmäßig bei hartem, und erforderlich bei weichem Holz. Als vorteilhafteste Gestaltung der Unterlagsplatten wird die Keilform . . . empfohlen«;



1:5. 1:10.
Abb. 92. Köln-Minden (1844).

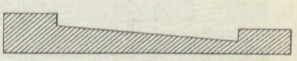


1:5. 1:10.
Abb. 93. Sächsische Westbahn (1854).

und: »Bei Anwendung von keilförmigen Unterlagsplatten haben sich außer dem Entfallen der Notwendigkeit des Dexelns der Schwellen noch folgende Vorteile ergeben: Längere Dauer der Schwellen infolge größerer Schonung derselben, größere Sicherheit der Erhaltung der Schienenneigung, geringere Schwächung der Schwellen.«

Auch in § 13[4] der T. V. wird die Anwendung keilförmiger Unterlagsplatten empfohlen.

Die Unterlagsplatten wurden anfangs vereinzelt aus Gußeisen, dann allgemein aus gewalztem Schweißeisen hergestellt; zurzeit macht man sie aus Flußeisen oder Flußstahl. Die Maße und Gewichte sind sehr verschieden. Sie richten sich nach der Breite des Schienenfußes und der oberen Schwellenbreite. So lange der Schienenstoß durch eine Schwelle unterstützt wurde, pflegte man auch die Länge der unter dem Stoße liegenden Unterlagsplatte größer zu machen, als die der Platten für Mittelschwellen. Als aber die unmittelbare Stoßunterstützung aufgegeben wurde, pflegte man meistens auf den Stoß- und Mittelschwellen Unterlagsplatten derselben Größe zu verwenden. Neuerdings verwendet man aber z. T. am Schienenstoß wieder größere Platten als auf den Mittelschwellen. Im Jahre 1890[135]) kamen auf den Hauptbahnen des V. d. E. V. Platten von 109 bis 200 mm Länge, 100 bis 180 mm Breite und 7,5 bis 14 mm Dicke mit einem Gewichte von 1,43 bis 3,13 kg zur Anwendung. Auf Nebenbahnen betrug die Länge 144 bis 195 mm, die Breite 100 bis 160 mm und das Gewicht 0,79 bis 3,10 kg. Gegenwärtig sind Platten von 15 bis 20 mm Dicke und größerer Grundfläche üblich, mit einem Gewicht von 4 bis 5 kg. Platten von besonderer Größe sind in den Abb. 98, 101 und 102 dargestellt, sie haben ein Gewicht von 7,32, 5,70 und 6,63 kg.



1:5.
Abb. 94. Semmeringbahn.

133) M. M. v. Weber, Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise, Weimar 1869.
134) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 36 und 63.
135) Ebenda 1898, S. 123, Tab. A bis C.

Die Unterlagsplatten müssen gelocht werden, um die Nägel oder Schrauben durchstecken zu können. Unmittelbar gegenübersitzende Löcher (Abb. 92) begünstigen das Aufspalten der Schwellen. Da man auf den Stoßschwellen die Befestigung der Schienen zweckmäßig mit mehr als zwei Nägeln (Schrauben) bewirkt, so muß man,

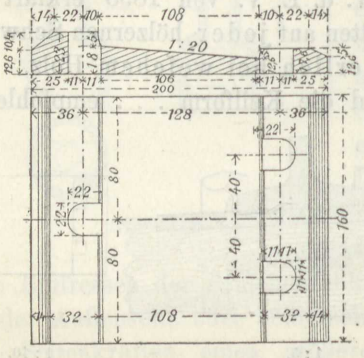


Abb. 95.
Preußisch-hessische Staatseisenbahnen, Schiene Form 6.

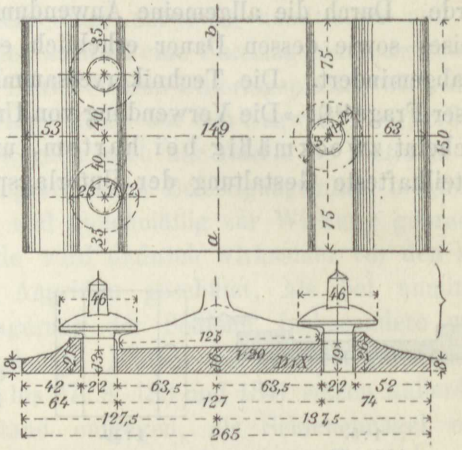


Abb. 96.
Bayerische Staatseisenbahnen.

wenn man nicht auch auf den Mittelschwellen die nämliche Zahl von Befestigungsmitteln verwenden will, wie auf den Stoßschwellen, was immerhin zu empfehlen ist, entweder in der Zahl und Lage der Löcher zwischen Stoß- und Mittelplatten unterscheiden, oder muß bei einheitlicher Lochung so viele Löcher anbringen, als man für die Befestigung auf den Stoßschwellen nötig hat. Die Form und Größe der Löcher richtet sich nach der Form und Größe der durchzusteckenden Befestigungsmittel und ist eckig, halbrund oder rund; man gibt auch derselben Platte Löcher verschiedener Form, um verschiedene Befestigungsmittel durchstecken zu können, z. B. innen Schrauben und außen Nägel. Zweckmäßig werden die Löcher so zu den Randleisten gesetzt, daß die Befestigungsnägel (Schrauben) vor Einfressungen durch den Schienenfuß geschützt sind; früher glaubte man die Löcher etwas nach innen über die Randleiste vorstehen lassen zu müssen, weil der Schienenfuß nicht mit der vollen Genauigkeit in gleicher Breite hergestellt werden konnte, seit dies aber möglich ist, läßt man die Löcher mit den Randleisten abschließen. Die Weite der Löcher wird ein bis zwei Millimeter größer gewählt, als die Stärke der Nägel oder Schrauben.

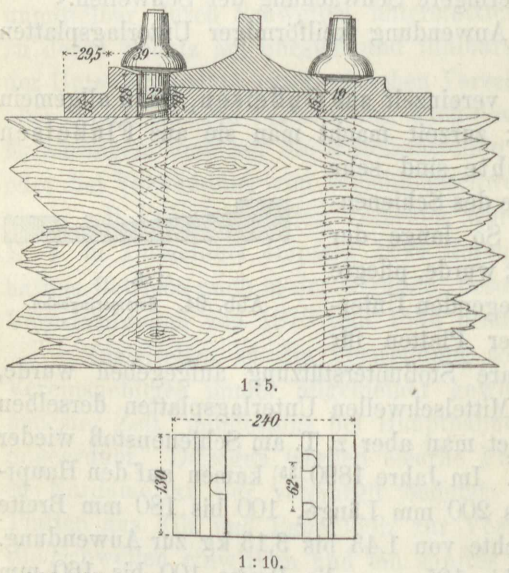


Abb. 97. Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen (1893).

Um den Widerstand gegen die Seitenkräfte zu erhöhen, hat man mehrfach die Unterlagsplatten auf der Unterseite mit Rippen oder Zähnen versehen. Eine

solche Platte mit kräftiger Mittelrippe fand in den scharfen Krümmungen der Brennerbahn 1860 Anwendung und seit Mitte der achtziger Jahre haben die Formen der Abb. 98 und 99 verschiedentlich Eingang gefunden. Die Ansichten über die Zweckmäßigkeit solcher Zähne sind geteilt; wenn auch der Widerstand gegen Seitenverschiebungen dadurch erhöht wird, so geschieht dies doch auf Kosten der Erhaltung der Schwelle, denn die durch das Eindringen der Zähne in die Schwellenoberfläche

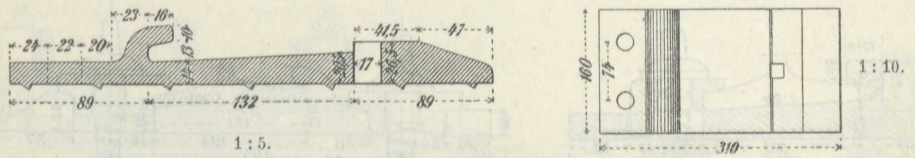


Abb. 98. Sächsische Staatseisenbahn (1890).

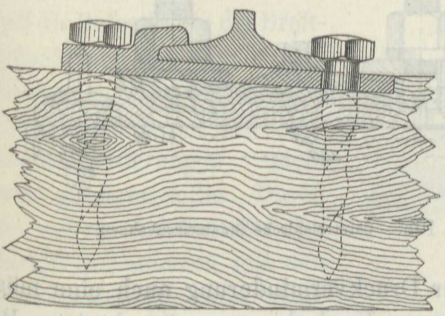
bewirkten Zerstörungen oder Beschädigungen der oberen Holzfasern führen zu beschleunigtem Verfall der Schwelle. Die Technikerversammlung des V. d. E. V. von 1893 äußert sich zu dieser Frage wie folgt: »Über die Unterlagsplatten, welche an der unteren Auflagerfläche mit Rippen versehen sind, bestehen zurzeit verschiedene Anschauungen. Es scheint jedoch, daß sich die Platten mit mehreren kleinen dreieckförmigen Rippen besser bewähren, als jene mit nur einer hohen trapezförmigen Rippe«[136]. Die weiteren Erfahrungen sprechen aber nicht zugunsten der gezahnten Platten.



1 : 5.

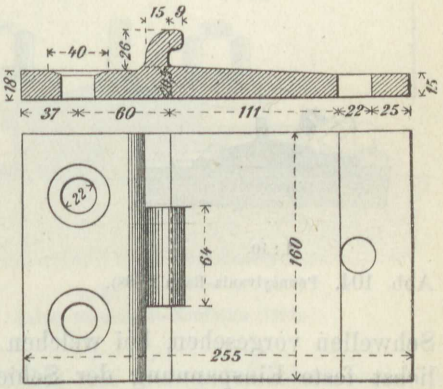
Abb. 99.
Niederländische Staatseisenbahn (1885).

Schon zu Ausgang der dreißiger Jahre kamen in Österreich, Nordamerika und später auch in Deutschland Unterlagsplatten zur Anwendung, die statt der glatten



1 : 5.

Abb. 100. Semmeringbahn (1850).



1 : 5.

Abb. 101. Preußische Staatseisenbahnen (1899).
Unterlagsplatten für Stoßschwellen von Eichenholz für Schienen Form 6.

Randleisten innen, außen oder beiderseits Hakenleisten besaßen, sogenannte Krempelplatten (Abb. 100). In neuester Zeit sind derartige Platten wieder aufgekommen (Abb. 98, 101 bis 103) und zwar sowohl mit äußerer wie mit innerer Hakenleiste. Durch letztere Anordnung soll einem Umkanten der Schiene nach außen

[136] Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 63. Die österreichische Südbahn hat die auf der Brennerbahn verlegten Rippenplatten wieder entfernt, weil sie sich nicht bewährt haben.

besonders wirksam entgegengetreten werden. Die amerikanische Anordnung (Abb. 104) ist in der Befestigungsweise zwar einfach und sicher, in der Plattenform aber recht umständlich; sie ist auch darum beachtenswert, weil sie von der sonst in Nordamerika allgemein üblichen lotrechten Stellung der Schienen abweicht.

Durch die großen Auflagerflächen der Platten der sächsischen und der preußischen Staatsbahnen (Abb. 98, 101 und 102) wird der Druck auf die Schwellen über

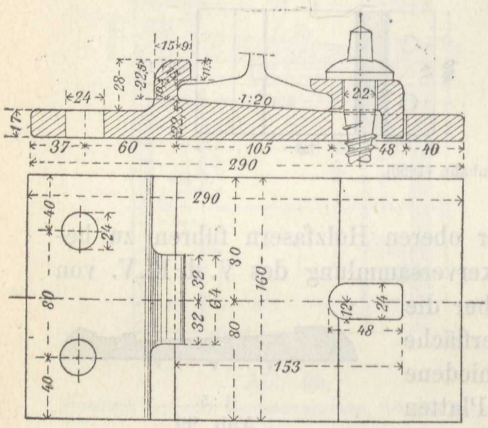


Abb. 102.

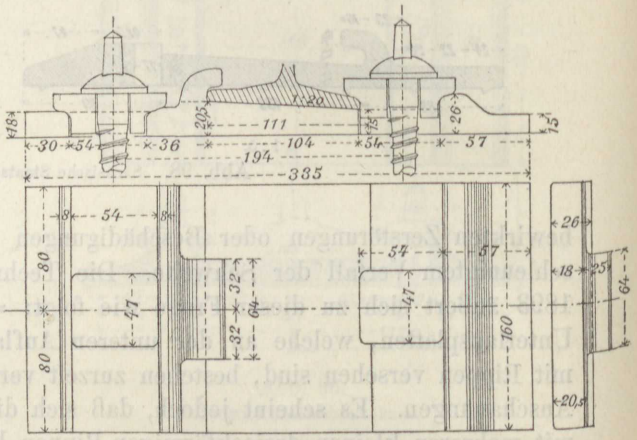
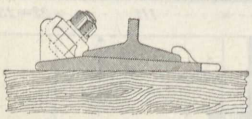


Abb. 103.

Preußisch-hessische Staatseisenbahnen.

das mit gewöhnlichen Unterlagsplatten erreichbare Maß hinaus vermindert. Die sächsischen Staatseisenbahnen verwenden diese Platte beim verstärkten Oberbau (Schiene Abb. 37, S. 128) auf jeder Schwelle; die preußischen Staatsbahnen haben sie bei Eichenholzschwellen in erster Linie für die dem Schienenstoß zunächst liegenden



1 : 10.

Abb. 104. Pennsylvania-Bahn (1888).

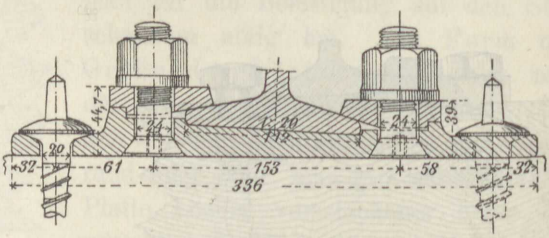


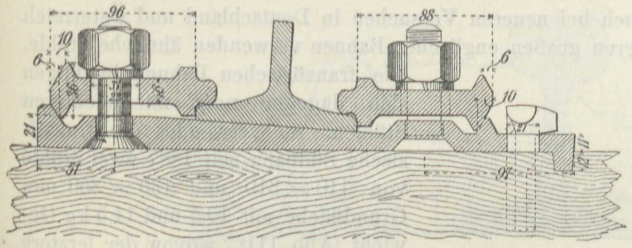
Abb. 105. Österreichische Staatseisenbahnen.

Schwellen vorgesehen, bei welchen neben dieser Druckverminderung auch eine möglichst feste Einspannung der Schienenenden gegen Verdrehung erwünscht ist. Bei Kiefernholzschwellen dagegen werden die in Abb. 102 dargestellten Platten, bei der die Schienen immer durch Klemmplatten festgehalten werden, auf allen Schwellen verwendet. Für Buchenholzschwellen ist ferner versuchsweise die in Abb. 103 dargestellte Befestigungsweise zur Anwendung gekommen, bei der sowohl die Schienen innen wie die Hakenplatte selbst durch Klemmplatten befestigt sind, die eine Regelung der Spurweite ermöglichen, so daß die Schwellen unabhängig von der Spurerweiterung einheitlich, also vor der Tränkung, gebohrt werden können, worauf bei Buchenholz vielfach besonderer Wert gelegt wird.

Eine der in Abb. 103 dargestellten ganz ähnlichen Befestigungsweise findet auch auf der österreichischen Staatseisenbahn Anwendung. Dort wird außerdem auch die

in Abb. 105 dargestellte sehr kräftige Platte mit Klemmplättchenbefestigung an den Schienenstößen versuchsweise verwendet.

Dem Zwecke der Druckverminderung und der festen Einspannung der Schiene, dem die genannten Plattenformen und Befestigungsweisen dienen, dient auch die von Hohenegger entworfene Unterlagsspannplatte der österreichischen Nordwestbahn (Abb. 106), die gleichfalls im Vereine mit den die Schiene festhaltenden Klemmplatten



1 : 5.

Abb. 106. Österreichische Nordwestbahn (1881).

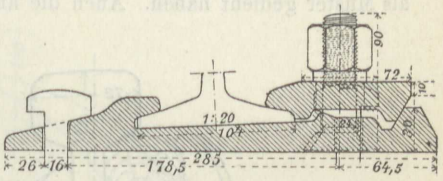
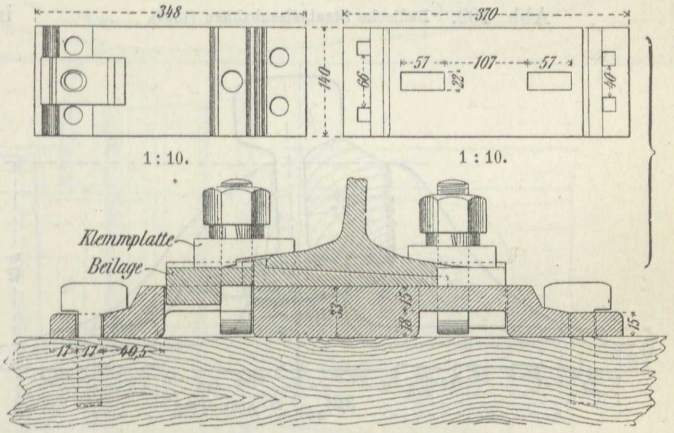


Abb. 107. Österreichische Südbahn (1902).

eine Veränderung der Spur (Spurerweiterung) zuläßt, ohne daß die Lage der Unterlagsplatte auf der Schwelle verändert zu werden braucht. Eine Vereinigung der in Abb. 98 dargestellten sächsischen Platte und der obengenannten Spannplatte von Hohenegger ist in Abb. 107 vorgeführt, die die 1902 auf der österreichischen Südbahn eingeführte Platte darstellt.

Dieselben Zwecke verfolgen auch die sogenannten Stuhlplatten, wie sie 1891 von Rüppell vergeschlagen worden sind[137]) für den Fall, daß die Befestigung der Breitfußschienen mit Nägeln oder Schrauben und gewöhnlichen Unterlagsplatten den Betriebsanforderungen nicht mehr genügen sollte. Durch sie sollen die Vorteile des Stuhlschienenbaues mit den Vorzügen der Breitfußschiene vereint werden. Es haben zwar schon früher (1852) auf der preußischen Ostbahn ähnliche Stuhlplatten zur Stoßunterstützung gedient, aber keine Nachahmung gefunden[138]). Die österreichische Kaiser Ferdinands-Nordbahn hat 1893 für die Stoßschwellen versuchsweise Stuhlplatten zur Anwendung gebracht (Abb. 108), die fest mit der Schwelle verbunden sind. Bei den in den Abbildungen 105 bis 108 dargestellten Platten ist die Befestigung zwischen Schiene und Platte ganz unabhängig von der Befestigung zwischen Platte und Schwelle, die beiden letzteren bilden also gewissermaßen ein Ganzes, ähnlich wie Schwelle und Schienenstuhl.



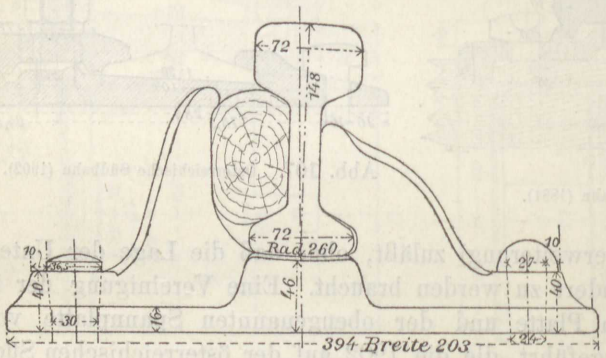
1 : 5.

Abb. 108. Kaiser Ferdinands-Nordbahn (1894).

137) Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 3.

138) Haarmann, Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 299.

2. Schienenstühle. — Doppelkopfschienen können nur durch Zuhilfenahme besonderer Stühle auf den Holzschwellen befestigt werden. Die Gestalt, die R. Stephenson 1838 dem Schienenstuhl auf der Eisenbahn London-Birmingham gab (siehe I, S. 72), ist zwar im wesentlichen bis in unsere Zeit beibehalten worden, aber die Abmessungen und das Gewicht haben mit der zunehmenden Beanspruchung der Gleise und der Vergrößerung des Schienengewichts gleichfalls zugenommen, auch ist die Massenverteilung eine zweckmäßigere geworden. Stephensons Stuhl hatte etwa 265 × 360 mm Grundfläche bei kaum 9 kg Gewicht, während heute in England (Midl. und Lancash.-Yorsh.) Stühle von 203 × 394 und 197 × 394 mm Grundfläche mit 24,5 und 25,4 kg Gewicht vorkommen, die auch bei neueren Versuchen in Deutschland und Österreich als Muster gedient haben. Auch die anderen großen englischen Bahnen verwenden ähnliche Stühle. Die französischen Bahnen begnügen sich dagegen noch mit leichteren Stühlen. So verwendet die französische Südbahn seit 1887 zwei Stühle von 110 × 310 und 130 × 350 mm Grundfläche mit 10,5 und 14,5 kg Gewicht (Abb. 111), wovon der letztere ausschließlich für die Hauptschnellzugstrecken bestimmt ist; auch die Stühle der französischen Westbahn haben ähnliche Größenverhältnisse. Diese kleineren Stühle finden ihre Erklärung wohl in der Tatsache, daß in Frankreich bis vor kurzem eine engere Schwellenlage üblich war als in England.



1 : 10.

Abb. 109. Badische Staatseisenbahnen (1893).

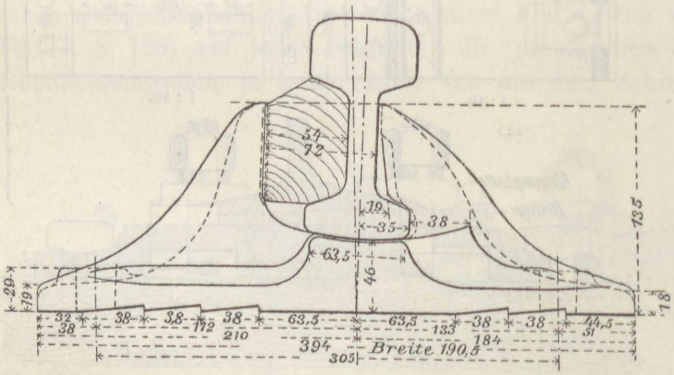
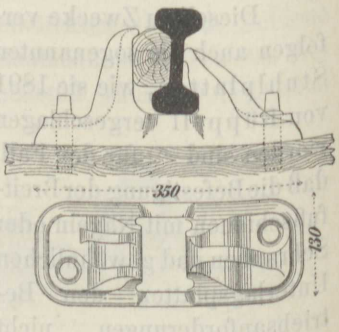


Abb. 110. Englische Great Western-Bahn.



1 : 10.

Abb. 111.

Französische Südbahn (1880).
Stuhl für Hauptschnellzugstrecken.

Der in Abb. 110 dargestellte Stuhl der englischen Großen Westbahn ist durch die sägeförmige Grundfläche bemerkenswert, die natürlich eine entsprechende Bearbeitung der Schwellen erfordert.

Auf der badischen Staatsbahn ist neben der Erprobung des eigentlichen Stuhlschienenoberbaues mit Doppelkopfschienen auch ein bemerkenswerter Versuch mit der Anwendung von Schienenstühlen für Breitfußschienen gemacht worden, und zwar in langen Tunneln, wo sich erfahrungsgemäß die sonst in Baden verwendeten Eisenschwellen nicht bewähren und wo eine möglichst breite Auflagerung besonders erwünscht ist (Abb. 112). Dabei wird die Schiene statt durch einen Keil durch zwei Keile (A und B) festgehalten und an den Stößen tritt an die Stelle des inneren Holzkeiles B die Lasche und ein Eisenkeil E (Abb. 113). Dadurch wird es möglich, die Laschen ohne Benutzung besonderer Stoßstühle über die Stoßschwellen und ihre Stühle hinweggehen zu lassen, was sonst beim Stuhlschienenoberbau im allgemeinen nicht der Fall ist. Denn seit der ruhende Stoß aufgegeben ist, bei dem allerdings besonders breite Stoßstühle Verwendung fanden, vermeidet man im allgemeinen die Benutzung besonderer Stoßstühle.

Die Schienenstühle werden fast ausschließlich aus Gußeisen hergestellt; Versuche, das Gußeisen durch Walzeisen zu ersetzen, sind bisher ohne durchschlagenden Erfolg geblieben. Bei allen neueren Schienenstühlen erhält die Schiene ihre Innenneigung durch den Stuhl; auch stimmen alle Formen in der unmittelbaren Unterstützung des Unterkopfes, sowie in dem seitlichen Festhalten des Schienensteges im wesentlichen überein. Dagegen weichen die Anordnungen der Unterstützung der Außenseite des Fahrkopfes durch den Keil voneinander ab. Die früher mehrfach übliche Stützung des Fahrkopfes an der Innenseite findet nicht mehr statt.

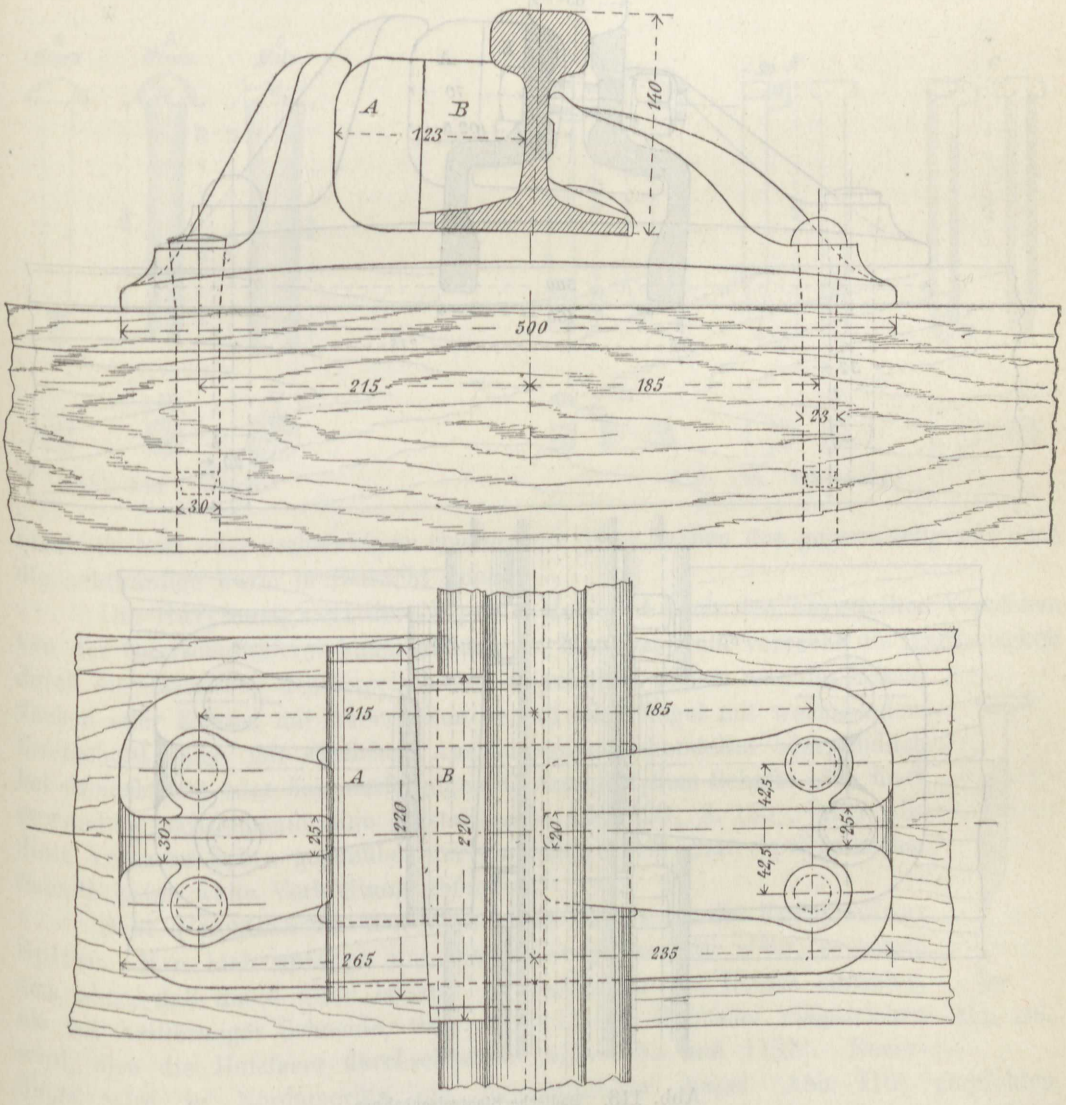


Abb. 112. Badische Staatseisenbahnen.

c. Die Befestigung der Schienen, Unterlagsplatten und Stühle auf den Schwellen. — Als Mittel zur Befestigung der Breitfußschienen mit oder ohne Unterlagsplatten, sowie der Schienenstühle auf den Schwellen dienen Nägel, Holzschrauben oder Schrauben mit Muttern.

1. Nägel. Man unterscheidet nach dem Zwecke Schienennägel und Stuhlnägel; mit ersteren werden zugleich auch die Unterlagsplatten auf den Schwellen

befestigt. Der Nagel soll erstens vermöge seiner Haftkraft im Holze ein Abheben der Schiene oder des Stuhles von der Schwelle oder ein Kippen um den Fußrand verhindern und zweitens den von Schiene, Unterlagsplatte und Stuhl ausgehenden Seitenschub in sich aufnehmen und auf die Schwelle übertragen. Die Formen, die man den Nägeln zur Erfüllung dieser Aufgabe gab, waren von jeher recht mannig-

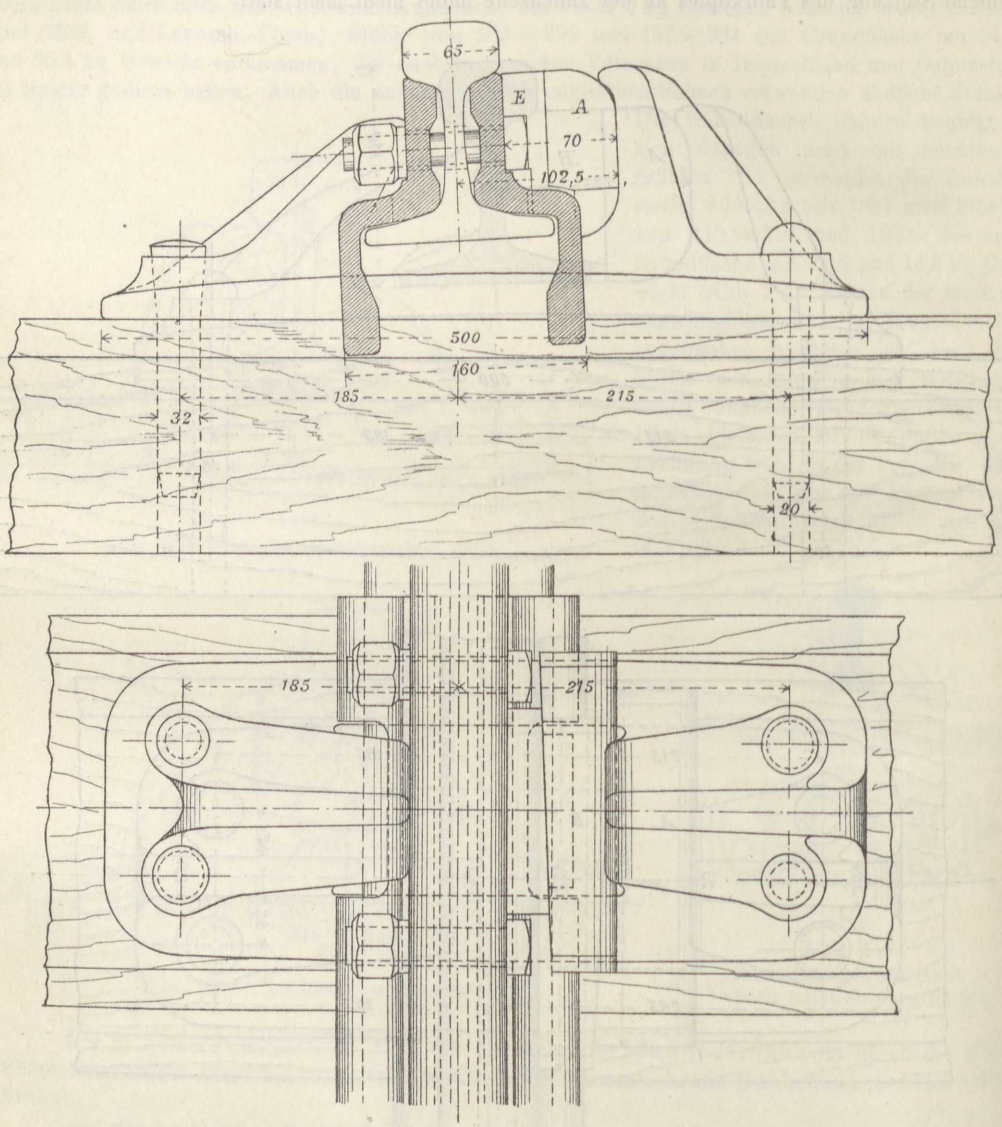


Abb. 113. Badische Staatseisenbahnen.

faltig und sind es bis heute geblieben, obgleich wiederholt ausgedehnte Versuche mit Nägeln verschiedener Form angestellt wurden, um die günstigste Gestaltung zu ermitteln [139]).

[139]) v. Kaven, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1855, S. 173; Funk, ebenda 1860, S. 41; Hohenegger, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1878, S. 61; Susemihl, Centralblatt der Bauverw. 1881, S. 103. — M. M. v. Weber, Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise, Weimar 1869. — Dunaj, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1886, S. 153 u. 161.

Die Stuhlnägel waren meistens vierkantig oder rund mit flachen gerundeten Köpfen (Abb. 114a und 114b); die bei Breitfußschienen zuerst angewandten Nägel, die zum Teil durch den Schienenfuß geschlagen wurden, hatten ähnliche Formen. Da man die Schienennägel aber bald nur noch neben den Schienenfuß schlug, mußte man dem Kopf eine den Schienenfuß umfassende Form geben, und so entstand der zurzeit allgemein gebräuchliche Hakennagel (Abb. 115). Zugleich verschwand die runde Querschnittsform bei Schienennägeln und machte der vierkantigen (mit

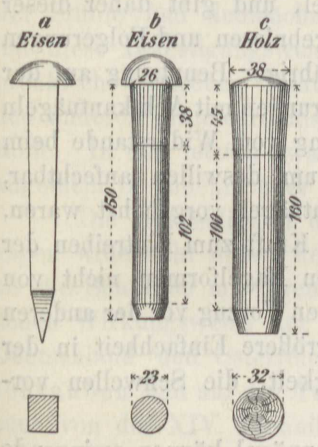


Abb. 114. Stuhlnägel.

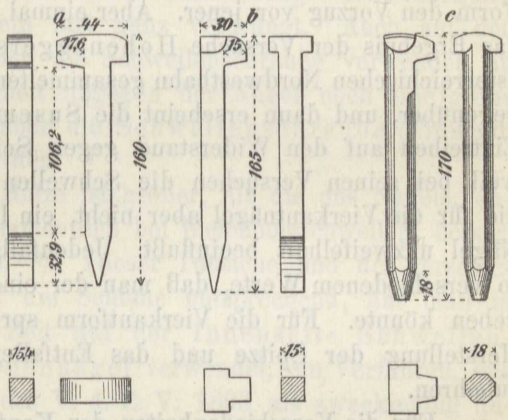


Abb. 115. Schienennägel.

quadratischem oder rechteckigem Querschnitt) Platz, neben der gegenwärtig nur noch die achtkantige Form in Betracht kommt.

Die Haftfestigkeit der Nägel im Holze ist nach den angestellten Versuchen von der Querschnittsform kaum abhängig. Man hat wohl versucht die Haftfestigkeit durch die Gestaltung des Nagelschaftes zu erhöhen, indem man die Seitenflächen oder Kanten mit Widerhaken versah oder Nägel mit wechselndem Querschnitt, also mit seitlichen Ausbauchungen, herstellte oder endlich bei dreieckigem oder bajonettförmigem Querschnitt dem Schafte eine flach gewundene schraubenförmige Gestalt gab (Abb. 100, S. 185), aber alle diese Versuche haben gegenüber der einfachen Form glatter prismatischer Schäfte keine weite Verbreitung gefunden.



Abb. 116.

Sehr wesentlich für den Wert eines Nagels ist die Form seiner Spitze. Man hielt anfangs eine scharfe Zuspitzung für nötig, es zeigte sich aber, daß durch diese leichter Aufspaltungen des Holzes eintraten, als bei keilförmiger Schneide, die senkrecht zur Holzfaser eingetrieben wird, also die Holzfaser durchschneidet (Abb. 115a und 115b). Neuerdings wird in Nordamerika ein bajonettartiger Nagel (Abb. 116) empfohlen, welcher die Holzfaser weniger stark zerstören soll, als die vollkantigen Nägel mit Schneide, und doch die Vorteile der Schneide besitzt[140]). Bei runden und achtkantigen Nägeln ist die Herstellung einer keilförmigen Schneide nicht so einfach wie bei Vierkantnägeln; es werden solche Nägel daher meistens mit abgestumpfter kegelförmiger Spitze hergestellt (Abb. 114b und 115c). Das bedingt allerdings ein Vorbohren der Schwellen, das aber behufs Verringerung der ungleichartigen

[140]) Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 16.

Zerstörung der Holzfaser auch bei Vierkantnägeln empfohlen wird. Die Vorbohrung erhält zweckmäßig $^2/_3$ der Nagelstärke als Durchmesser[141]) und muß durch die Schwelle ganz hindurchreichen. Susemihl folgert zwar aus den Ergebnissen seiner oben genannten Versuche, in welchen er festgestellt hat, daß die zum Eintreiben der Nägel erforderliche Kraft bei Vierkantnägeln um das $1^1/_2$fache größer ist, als bei Achtkantnägeln, daß Nägel dieser letzteren Form auch den auf seitliches Verdrücken im Holze einwirkenden Kräften weniger Widerstand leisten, also der zweiten Aufgabe der Nägel nicht so gewachsen seien, wie vierkantige Nägel, und gibt daher dieser Form den Vorzug vor jener. Aber einmal stehen diesen Ergebnissen und Folgerungen das Ergebnis der Versuche Hoheneggers und die in 25jähriger Benutzung auf der österreichischen Nordwestbahn gesammelten günstigen Erfahrungen mit Achtkantnägeln gegenüber, und dann erscheint die Susemihlsche Folgerung vom Widerstande beim Eintreiben auf den Widerstand gegen Seitenverdrückung um deswillen anfechtbar, weil bei seinen Versuchen die Schwellen für die Achtkantnägel vorgebohrt waren, die für die Vierkantnägel aber nicht, ein Umstand, der die Kraft zum Eintreiben der Nägel unzweifelhaft beeinflußt. Jedenfalls sind die beiden Nagelformen nicht von so verschiedenem Werte, daß man der einen den unbedingten Vorzug vor der anderen geben könnte. Für die Vierkantform spricht allerdings größere Einfachheit in der Herstellung der Spitze und das Entfallen der Notwendigkeit, die Schwellen vorzubohren.

Für die Verschiedenheiten der Kopfform der Schienennägel können zwingende Gründe nicht geltend gemacht werden. Denn außer der Forderung der Umfassung des Schienenfußes kommt nur noch die Notwendigkeit in Frage, daß der Nagel mit einem Hammer eingetrieben und mit einer Klaue (Geißfuß) wieder herausgezogen werden kann. Zum Eintreiben muß der Kopf oben flach, für das Ausziehen mit Ansätzen zum Untergreifen der Klaue versehen sein; ob diese Ansätze aber an der Seite des Kopfes angebracht sind und welche Einzelformen sie haben (Abb. 115b und 115c) oder ob sie als hintere Haken (Abb. 115b) ausgebildet sind, ist gleichgültig.

Man befestigt die Schiene, mit und ohne Unterlagsplatte, auf den Mittelschwellen durch mindestens zwei Nägel, während man auf den dem Schienenstoß benachbarten Schwellen mindestens drei, und zwar außen einen und innen zwei Nägel anbringt, um dadurch eine festere Einspannung der Schiene zu erreichen.

Die Schienennägel wurden früher fast ausschließlich aus Schweißeisen, seit Ende der achtziger Jahre vorigen Jahrhunderts aber vorzugsweise aus Flußeisen angefertigt.

Die aus Schweißeisen gefertigten Stuhlnägel erlitten oft an den Berührungsstellen der gußeisernen Stühle einen sehr raschen Verschleiß, man hat daher vielfach die eisernen Nägel mit gutem Erfolg durch solche aus Eichenholz ersetzt (Abb. 114c) und viele Bahnen verwenden zur Befestigung der Stühle zurzeit je 2 Holznägel und je 2 Eisennägel, die sich schräg gegenüber stehen (Abb. 111, 113, 114, Seite 188 bis 190)[142]). Bei dieser Anordnung sollen die Holznägel in erster Linie den gewöhnlichen Beanspruchungen des Betriebes entgegenwirken, während die Eisennägel zur Sicherheit gegen etwaige außergewöhnliche Stöße dienen, welche die Holznägel absprengen könnten. Die Holznägel werden mit Pottlot, (Graphit), Teer oder dgl. bestrichen.

---

[141]) Hohenegger, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1887, S. 62; Centralbl. d. Bauverw. 1897, S. 128; Revue générale des chemins de fer, Febr. 1897.

[142]) Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 138 und Mitteilung der Großherzoglichen Generaldirektion der Badischen St.-E. an den Verfasser.

Die Länge und Stärke der Nägel schwankt zwischen weiten Grenzen, ebenso deren Gewicht. Die in der Abb. 115 für Schienennägel angegebenen Maße sind deutschen und österreichischen Formen entnommen und können als Durchschnittsmaße gelten. Das Gewicht beträgt 0,29 bis 0,38 kg. Der in Abb. 114b dargestellte Stuhlnagel der englischen Midland- und badischen Staatseisenbahn ist ein sehr kräftiger und wiegt 0,616 kg.

2. Holzschrauben fanden schon frühzeitig neben den Nägeln zur Befestigung der Stühle und demnächst auch der Breitfußschienen Anwendung. In Frankreich hat diese Befestigungsweise jene mit Nägeln fast ganz verdrängt. Auch auf den preußisch-hessischen Staatsbahnen wird noch die Schwellenschraube verwendet, in den anderen mitteleuropäischen Ländern spielt dagegen der Nagel noch eine große Rolle. In den letzten zwanzig Jahren ist aber die Schwellenschraube (Tirefond) allgemein in zunehmender Verbreitung begriffen.

Die Haftfestigkeit der Schraube im Holze ist größer, als die des Nagels, dagegen widersteht dieser dem Seitenschub, namentlich bei Weichholzschwellen, besser, als die Schraube mit ihren scharfen Gängen[143]). Dieser Tatsache und der verschiedenen Wirkungsweise der Außenkräfte auf die Schiene entsprechend, hat man in Deutschland und Österreich-Ungarn lange Zeit auf der Innenseite Schwellenschrauben und auf der Außenseite Schienennägel verwendet, ein Verfahren, das auch von der XIV. Technikerversammlung des V. d. E. V. 1893 als zweckmäßig anerkannt worden ist[144]). Andererseits ist die Unbequemlichkeit, zweierlei Befestigungsmittel in Vorrat halten zu müssen, die besonders auch auf dem internationalen Eisenbahnkongreß in Paris 1889 hervorgehoben wurde, um die beiderseitige Verwendung der Schwellenschraube, wie sie in Frankreich allgemein üblich ist, zu rechtfertigen, nicht zu verkennen, und die auf den französischen Bahnen gemachten Erfahrungen rechtfertigen durchaus die beiderseitige Anwendung von Schwellenschrauben[145]). Bei den genannten Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses wurde auch darauf hingewiesen, daß der Wert der Schwellenschrauben im Vergleich zu Nägeln je nach der Holzart der Schwellen und den klimatischen Verhältnissen wechselt; bei Harthölzern sind Schrauben verhältnismäßig zweckmäßiger als bei Weichholz und in Ländern mit hartem Frost sind Schrauben wegen der Schwierigkeiten, die sie bei Gleisanhebungen durch Frosteinwirkung verursachen, von zweifelhaftem Werte[146]).

Susemihl fand die Haftfestigkeit bei

	vierkantig. Nägeln		achtkantig. Nägeln		Schwellenschrauben	
	in ungetränkten	in getränkten	in ungetränkten	in getränkten	in ungetränkten	in getränkten
	Schwellen					
Frisch eingetrieben.	3198 kg	3646 kg	3094 kg	3746 kg	4198 kg	4605 kg
Gleis 20 Monate alt.	2446 »	2977 »	2481 »	2958 »	—	—
und die französische Ostbahn[147]). . . .						bei 23 mm Länge / bei 19 mm Länge
bei Tannenholz.	—	—	—	—	—	3000 kg / 2000 kg
Eichenholz .	—	—	—	—	—	5000 » / 4000 »
Buchenholz.	—	—	—	—	—	6000 » / 4500 »

[143]) Siehe hierüber die schon genannten Versuche von Susemihl und Dunaj, Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 103. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1886, S. 153 u. 161.

[144]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893, S. 58.

[145]) Ebenda 1890, S. 177.

[146]) Ebenda.

[147]) Bericht zu Frage VIII der Verhandl. des internat. Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901.

Die Formen und Abmessungen einiger Schwellenschrauben sind aus den Abbildungen 117 und 118 zu ersehen; das Gewicht der Schrauben beträgt etwa 0,4 bis 0,5 kg. Der Schraubenkopf wurde früher, wie bei gewöhnlichen Holzschrauben, mit einer Einkerbung versehen; der Kopf mit Dorn ist aber zweckmäßiger, weil er das Aufsetzen eines kräftigen Schlüssels gestattet. Ein rechteckiger Dorn ist einem solchen mit quadratischem Querschnitt vorzuziehen, um dem Abschleifen und Ausrunden des Schlüsselmaules vorzubeugen[148]). Auf der Oberfläche des Dorns wird ein Buchstabe oder ein sonstiges Zeichen in erhabener Arbeit angebracht, damit festgestellt werden kann, ob etwa die Schraube entgegen der Vorschrift mit dem Hammer eingeschlagen worden ist, statt eingeschraubt zu werden. Bezüglich der Zahl der Schrauben gilt das bei den Nägeln Gesagte. Die Schwellen müssen bei Verwendung von Schienenschrauben in derselben Weise vorgebohrt werden, wie bei stumpfen Nägeln.

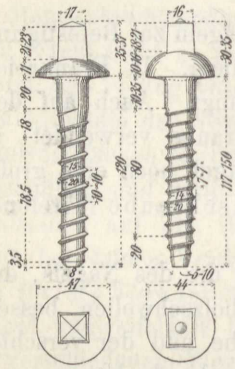


Abb. 117.
Schwellenschrauben im Gebiete des V. d. E. V.

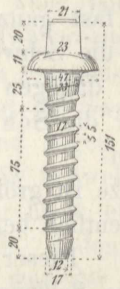
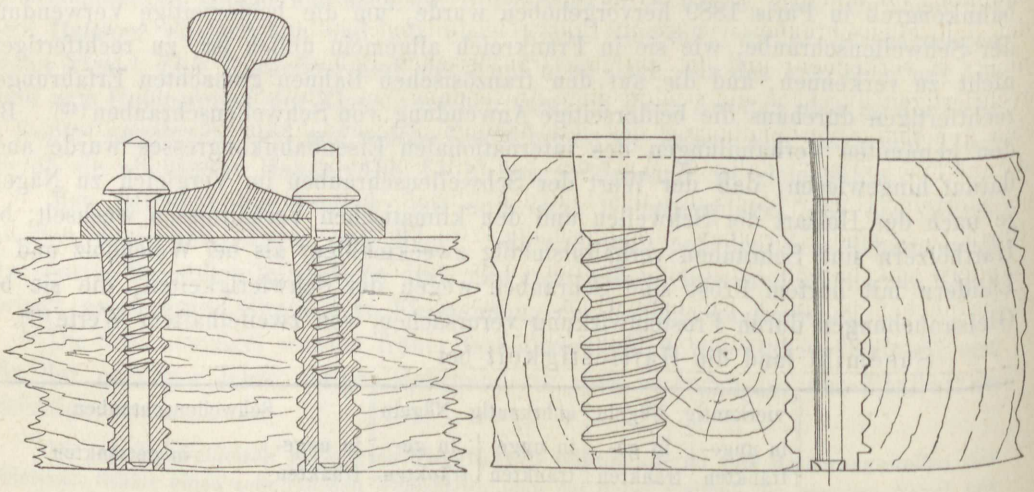


Abb. 118.
Französische Schwellenschraube.

3. Schraubenbolzen mit Muttern sind nur vereinzelt angewandt worden. In der Regel befand sich dabei der Schraubenkopf an der Unterseite der Schwelle



a b

Abb. 119.

und die Mutter oberhalb des Stuhls oder des Schienenfußes, welch letzterer mit besonderen Klemmplättchen festgehalten wurde. Das Durchstecken eines Bolzens von der Schwellenunterseite her ist außerordentlich umständlich und hat eine weitere Verbreitung dieser Befestigungsweise behindert.

4. Hartholzdübel in Weichholzschwellen werden neuerdings mit Erfolg angewandt, um dadurch die Widerstandskraft der letzteren zu erhöhen und ihrem

148) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. S. 60.

vorzeitigen Verschleiß durch die Befestigungsmittel vorzubeugen. Mit diesen Hartholzdübeln werden entweder schon die neuen Weichholzschwellen versehen, oder in noch ausgedehnterem Maße werden alte im allgemeinen noch gute aber an den Stellen, wo die Nägel oder Schrauben haften, schon stark mitgenommene Schwellen damit ausgerüstet. Entweder werden glatte Dübel von 100 mm Länge und etwa 40 mm Durchmesser in vorgebohrte Löcher eingeschlagen[149]), oder man bringt in den Weichholzschwellen schraubenförmige Dübel an, Abb. 119, die durch die ganze Schwelle durchreichen und unten durch eine kleine Metallbuchse geschlossen sind. Die Dübel werden für die in sie eingreifenden Nägel oder Schrauben vorgebohrt. Die Dübel werden so lang gemacht, daß sie nach dem Einschrauben noch etwa 10 mm über die Schwelle vorstehen, Abb. 119b. Diese Überstände werden dann glatt abgestoßen oder abgefräst, so daß eine gute glatte Auflagerfläche für die Unterlagsplatten entsteht.

d. Die Befestigung der Schienen auf den Unterlagsplatten und in den Stühlen. — In der Regel werden Breitfußschienen durch dieselben Befestigungsmittel — Nägel und Schrauben — sowohl mit den Unterlagsplatten, als auch mit den Schwellen verbunden, wie dies unter b. und c. behandelt wurde. Es hat aber nicht an Vorschlägen gefehlt, die Befestigung zwischen Schienen und Platten unabhängig von der Befestigung der Platten auf der Schwelle zu gestalten, um das für die Haftfestigkeit der Schrauben usw. schädliche öftere Lösen und Wiederbefestigen nach Möglichkeit zu vermeiden. Hierher gehört der Vorschlag Pollitzers[150]), der in Abb. 120 dargestellt ist und für sich selbst spricht. In dieser einfachen Form sind diese Vorschläge aber nicht zu größerer Anwendung gekommen, wohl aber unter Benutzung besonderer Plattenformen, wie sie in den Abbildungen 105 bis 108 (S. 186, 187) dargestellt sind. Bei der vollständigen Trennung der beiden Befestigungen wird zugleich eine vollkommenere Einspannung der Schiene auf der Platte erreicht, als sie mit den sonstigen gewöhnlichen Befestigungsmitteln auf Holzschwellen möglich ist. Über die dabei zum Teil gleichzeitig erzielte Regelung der Spur wird unter e. die Rede sein.

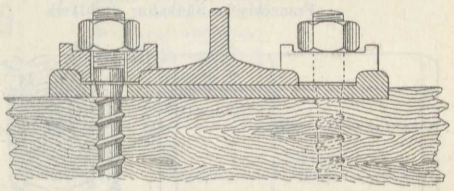


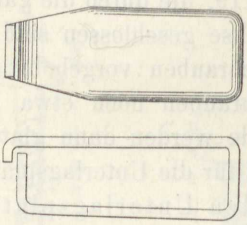
Abb. 120. Vorschlag von Pollitzer.

Bei Doppelkopfschienen ist stets ein besonderes Befestigungsmittel zwischen Schiene und Stuhl nötig. Nach mancherlei erfolglosen Versuchen mit anderen Befestigungsmitteln dient hierzu ausschließlich der außen zwischen Stuhl und Schiene eingetriebene Keil, und zwar vorzugsweise der Holzkeil (siehe Abb. 110 bis 113 und 122), der sich mit seiner großen Einfachheit bisher allen anderen Befestigungsweisen gegenüber zu behaupten wußte. In neuerer Zeit hat allerdings die französische Südbahn erfolgreiche Versuche mit dem in Abbildung 121 dargestellten Stahlkeil von David gemacht. Die Holzkeile werden aus festem Eichenholz oder amerikanischer Gelbkiefer gefertigt und vor der Verwendung sehr stark gepreßt, wodurch dem Schwinden und einem Lockern oder Herausfallen des Keils vorgebeugt werden soll. Übrigens verwenden mehrere Eisenbahnen, z. B. die Midland-Eisenbahn, nicht eigentliche Keile, sondern vollständig prismatische Hölzer (Abb. 122), nachdem sich gezeigt haben soll, daß die eigentliche Keilform nicht notwendig ist und daß das stark gepreßte Holz das Bestreben hat, sich auszudehnen, wodurch es im Stuhl eine durchaus feste Lage erhält. Inwieweit diese Erscheinungen mit dem verhältnismäßig feuchten Klima fast aller derjenigen Landstriche zusammenhängen, in welchen der Stuhlschienenoberbau der herrschende ist, bleibe dahingestellt. Immerhin ist hervorzuheben, daß auch in England wiederholt

149) Bericht zu Frage VIII der Verhandl. des internat. Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901.

150) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883, S. 136.

Vorschläge und Versuche gemacht worden sind, die ein Herausfallen der Holzkeile durch weitergehende Maßnahmen verhüten sollen. Hierher gehören z. B. die in den Abbildungen 123 und 124 dargestellten Keilsicherungsbleche der Great Northern- und der London and South-Western-Eisenbahn, auch ist zu bemerken, daß bei vielen Bahnen zum mindesten die Stuhlbacke an der Keilanlagefläche geriffelt wird, um die Reibung zu vergrößern. Auch werden zuweilen die Keile durch eingeschlagene Nägel vor dem Herausfallen geschützt. Ein Lockern der Keile wird bei zweigleisiger Bahn auch dadurch zu verhüten gesucht, daß der Keil in der Fahrrichtung eingetrieben wird, so daß die in der Fahrrichtung wandernde Schiene den Keil fester antreibt. Bei eingleisiger Bahn pflegt man die Keile in wechselnder Richtung einzutreiben. Diese Mittel sind aber nur bei wirklicher Keilform wirksam.



1 5.

Abb. 121.

Französische Südbahn; Stahlkeil.

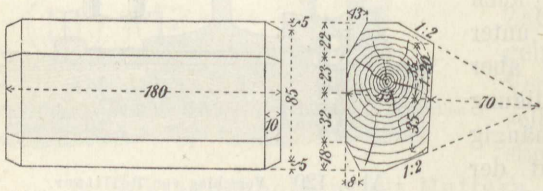


Abb. 122. Badische Staatseisenbahn; Holzkeil (1893).

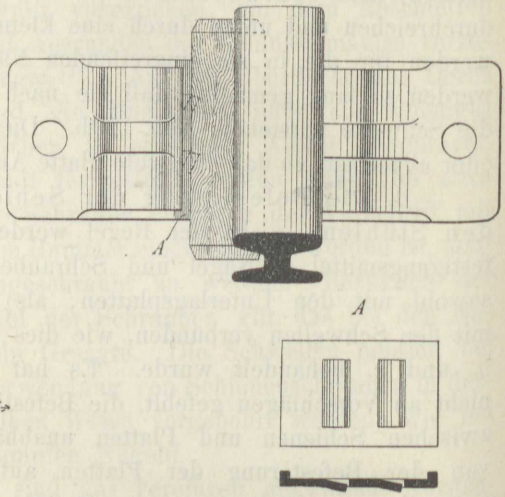
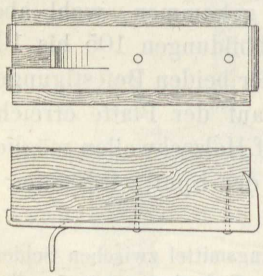


Abb. 123. Keilsicherung; Great Northern-Bahn (1885).



1 : 5.

Abb. 124. Keilsicherung; London and South-Western-Bahn (1889).

e. Mittel zur Herstellung und Sicherung der Spur. — Wenn die Breitfußschiene mit oder ohne einfache Unterlagsplatten auf der Schwelle durch Nägel oder Schrauben befestigt wird, so wird auch die Spur durch diese Befestigungsmittel hergestellt und erhalten, indem man diese in dem der gewöhnlichen Spurweite oder der Spurerweiterung entsprechenden Abstande in die Schwellen eintreibt und zeitweise — wenn die richtige Spur im Betriebe verloren gegangen ist — wieder herauszieht und von neuem in richtiger Entfernung anbringt. Auch bei Stuhlschienen wird die Spur dadurch erhalten, daß man den Stühlen die der Spur entsprechende Entfernung auf den Schwellen gibt. Andere Mittel der Herstellung und Sicherung der Spur sind beim Stuhlschienenoberbau mit Holzschwellen überhaupt nicht in Benutzung. Bei Breitfußschienen dagegen hat man mit Erfolg durch Einführung besonderer Unterlagsplatten eine Spurhaltung zur Anwendung gebracht, die von der Lage der Befestigungsmittel in der Holzschwelle unabhängig ist; hierin dürfte der Hauptnutzen der in den Abbildungen 105 bis 108 (S. 186 und 187) dargestellten besonderen Formen von Unterlagsplatten liegen. Ferner gehört hierher auch die Befestigungsweise mit der in Abbildung 125 dargestellten Unterlagskrempenplatte, die versuchsweise auf der österreichischen Nordwestbahn eingeführt ist und bei der die Schiene durch besonders geformte Keile in der richtigen Spur festgehalten wird.

Bei der in Abb. 103 dargestellten Platte und Befestigungsweise kann in Stufen von 3 zu 3 mm eine Spurerweiterung von 21 mm hergestellt werden; bei der Hoheneggerschen Unterlagsspannplatte (Abb. 106) läßt sich mit zwei verschieden gestalteten Klemmplatten in Stufen von 4 zu 4 mm eine Spurerweiterung bis zu 24 mm erzielen und bei der Unterlagskrempenplatte kann die Spur in Stufen von 5 mm bis 30 mm erweitert werden, immer ohne die Verbindung zwischen der Unterlagsplatte und der Schwelle irgendwie zu beeinflussen.

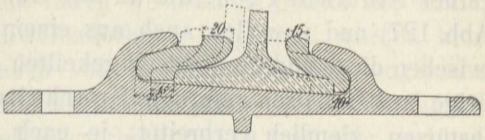


Abb. 125. Österreichische Nordwestbahn (1891). Unterlagskrempenplatte.

Bei der Stuhlplatte der Kaiser Ferdinands-Nordbahn wird die Spurerweiterung

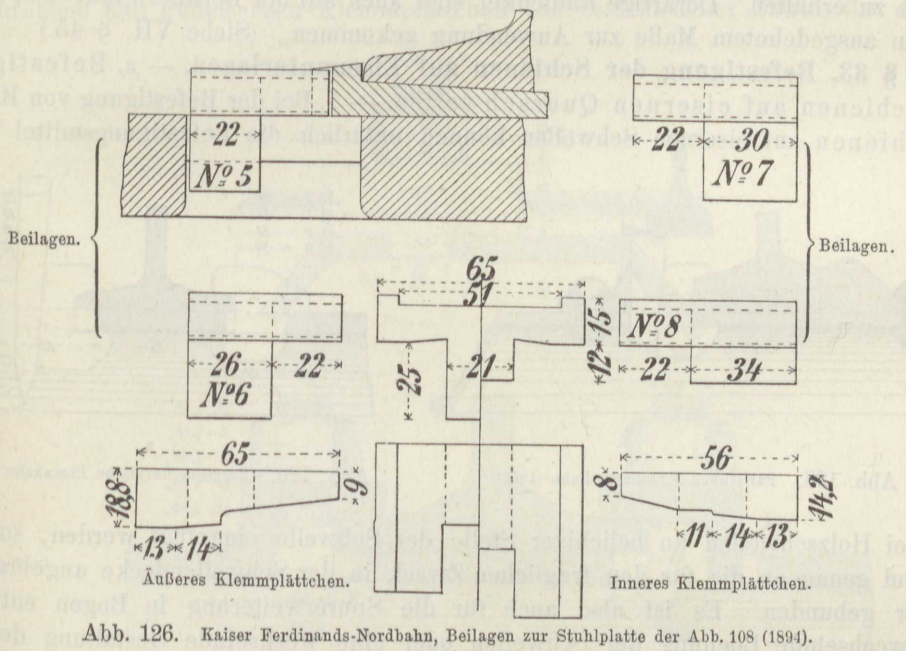


Abb. 126. Kaiser Ferdinands-Nordbahn, Beilagen zur Stuhlplatte der Abb. 108 (1894).

durch vier verschiedene »Beilagen« hergestellt (Abb. 108 und 126), während die Klemmplatten nur den lotrecht wirkenden Kräften zu widerstehen haben. Durch derartige Mittel wird die Sicherung der Spur auch beim Holzschwellenoberbau annähernd ebenso gewährleistet, wie dies bei eisernen Schwellen möglich ist.

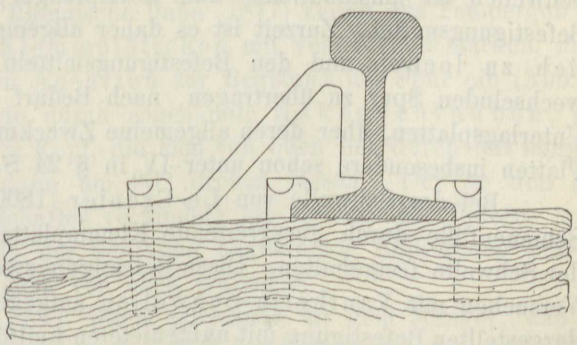
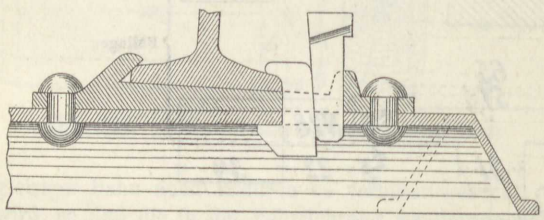


Abb. 127. Magdeburg-Staßfurt (1890).

Zuweilen hat man sich zur Sicherung der Spur auch anderer Hilfsmittel bedient, besonders wenn bei baulichen Mängeln des vorhandenen Gleises — z. B. Fehlen von Unterlagsplatten — die starke Betriebsbeanspruchung in scharfen Krümmungen zu ungehörigen Spurerweiterungen führte. Hierher gehört das Anbringen von Spurstangen, welche die Stege der gegenüberliegenden Schienen miteinander

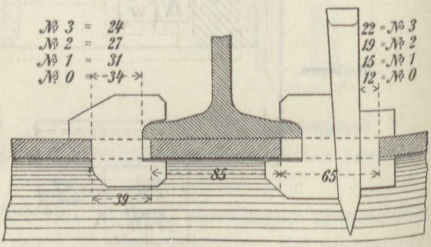
verbinden und in der Zahl von zwei bis drei auf eine Schienenlänge angeordnet werden. Ferner Stützknaggen, die an der Außenseite der Außenschiene angeordnet werden (Abb. 127) und zuweilen auch aus einem einfachen in die Schwelle eingelassenen und zwischen diese und die Schiene gekeilten Holzklotz bestehen. In Nordamerika sind derartige, aus Gußeisen gefertigte Spurhalter (railbraces), die den Kopf der Außenschiene abstützen, ziemlich verbreitet; je nach den Halbmessern der Bogen finden drei bis acht auf eine Schienenlänge Anwendung[151]). Endlich ist hier noch die in England weitverbreitete Anordnung von Radlenkern auf der Innenseite der Innenschiene in scharfen Krümmungen zu erwähnen, die gleichfalls bezwecken, neben der sicheren Führung der Fahrzeuge die Spur durch Verminderung des Angriffes auf die Außenschiene zu erhalten. Derartige Radlenker sind auch auf der Berliner Stadt- und Ringbahn in ausgedehntem Maße zur Anwendung gekommen. (Siehe VII, § 45.)

§ 33. Befestigung der Schienen auf Eisenunterlagen. — a. Befestigung der Schienen auf eisernen Querschwellen. — 1. Bei der Befestigung von Breitfußschienen auf eisernen Schwellen können natürlich die Befestigungsmittel nicht



1 : 5.

Abb. 128. Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn (1866).



1 : 5.

Abb. 129. Bergisch-Märkische Eisenbahn (1879).

wie bei Holzschwellen an beliebiger Stelle der Schwelle eingefügt werden, sondern sie sind genau an die für den fraglichen Zweck in der Schwellendecke angebrachten Löcher gebunden. Es ist also auch für die Spurerweiterung in Bogen entweder eine wechselnde Lochung der Schwellen oder eine wechselnde Gestaltung der Befestigungsmittel nötig. Die Schwellen für Gerade und Bogen verschieden zu lochen ist unzweckmäßig, denn das Anfertigen und Vorrätighalten der verschieden gelochten Schwellen ist umständlicher und kostspieliger, als das Bereithalten vielgestaltiger Befestigungsmittel. Zurzeit ist es daher allgemein üblich, die Schwellen einheitlich zu lochen und den Befestigungsmitteln die Herstellung und Sicherung der wechselnden Spur zu übertragen, nach Bedarf unter gleichzeitiger Verwendung von Unterlagsplatten, über deren allgemeine Zweckmäßigkeit und diejenige keilförmiger Platten insbesondere schon unter IV in § 24 S. 170 das Nähere ausgeführt ist.

Bei der Schwelle von Le Crenier (1860) (siehe IV § 22 S. 164) wurden die Schienenfüße durch übergreifende Klemmplättchen und Schrauben mit Muttern auf der Schwelle festgehalten. Diese Befestigungsweise wurde aber bei den französischen Versuchen mit Vautherin-Schwellen aufgegeben zugunsten der in Abbildung 128 dargestellten Befestigung mit aufgenieteten keilförmigen Krempelplatten und Krampen und Keil. Hierbei war eine einheitliche Schwellenlochung untunlich, auch muß die Anwendung von Nieten als ein Mangel bezeichnet werden, denn erfahrungsgemäß

151) Ebermayer, Bericht über eine im Auftrage der kgl. bayer. Staatsregierung ausgeführte Reise nach Nordamerika, München 1896, S. 46.

bewähren sich Nietverbindungen beim Oberbau nicht. Die französische Nordbahn bildete 1867, leider unter Wegfall der keilförmigen Unterlagsplatte, die Befestigung mit Krampen und Keilen weiter aus, so daß durch wechselnde Stärke der Krampen jede gewünschte Spur bei einheitlicher Schwellenlochung hergestellt werden konnte. Demnächst wurde diese Befestigungsart auch von deutschen Bahnen angenommen und besonders von der vormaligen Bergisch-Märkischen Bahn weiter durchgebildet (Abb. 129). Sie war lange Zeit die am meisten verbreitete; es trat aber regelmäßig ein starker Verschleiß an den Krampen ein, auch lockerten sich die Keile so leicht, daß sie sehr häufig nachgetrieben werden mußten, was aber oft überhaupt nicht mehr ausgeführt werden konnte, weil der Verschleiß aller Teile zu weit fortgeschritten war.

Nach einem mißglückten Versuch der französischen Nordbahn (1869) mit Schrauben und gußeisernen Klemmplättchen von verschiedener Stärke für die wech-

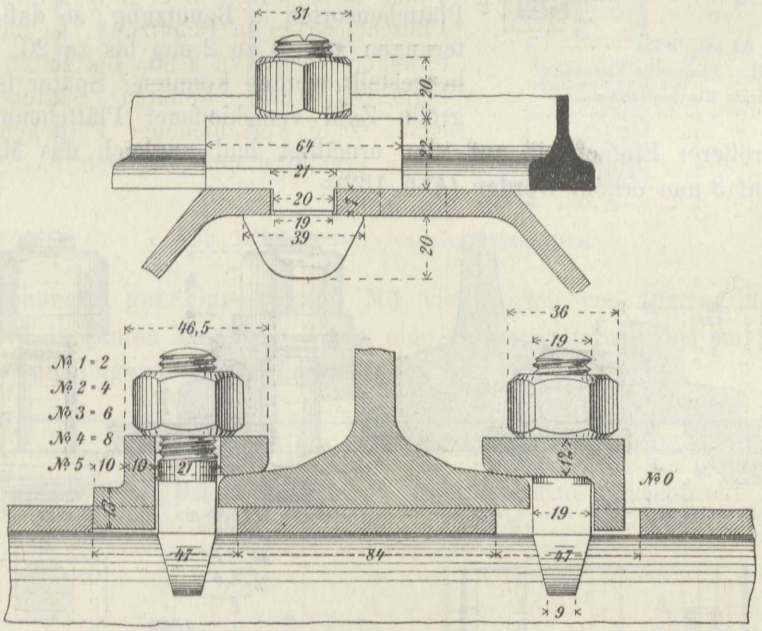
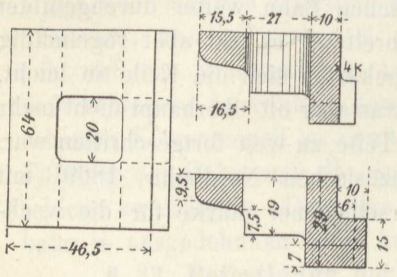


Abb. 130. Rheinische Eisenbahn (1879). 0,4 nat. Größe.

selnde Spur, führte die vormalige Rheinische Bahn (1877) zuerst aus Temperguß und später aus Walzeisen hergestellte Klemmplättchen mit verschieden starken, in die Schwellendecke eingreifenden Ansätzen zur Regelung der Spur ein (Abb. 130 und 131). Ihre Befestigung erfolgte durch sogenannte Hakenschrauben, d. h. Schraubenbolzen mit hakenförmigem Kopf, die sich von oben her durch das längliche Schwellenloch durchstecken und dann um 90° drehen lassen. Der an den Kopf anstoßende vierkantige Teil des Schaftes verhindert ein Drehen des Bolzens in der Schwelle und die am oberen Ende der Schraube angebrachte Einkerbung läßt die richtige Lage der Hakenschraube auch von oben erkennen.

Diese Klemmplättchen (Abb. 130) litten allerdings an dem Mangel, daß der Schienenfuß unmittelbar an den vierkantigen Schaft der Hakenschraube anstieß. Bei der so gebildeten kleinen Berührungsfläche mußte starker Verschleiß eintreten; noch mißlicher war es aber, daß die Hakenschraube zur Übertragung der Seitenkräfte auf Klemmplättchen und Schwelle diente, also sowohl durch lotrechte Kräfte wie durch

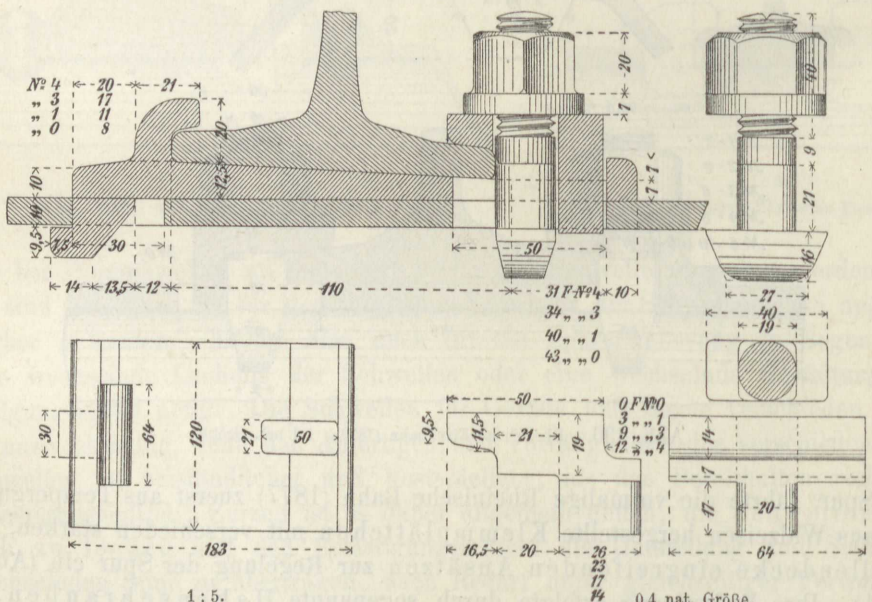
die Seitenschübe beansprucht wurde. Diese Übelstände sind dann durch verstärkte Klemmplättchen (Abb. 131), bei denen sich der Schienenfuß auf die ganze Länge der Plättchen (64 mm) an diese selbst anlegt, so daß die Schiene eine lange seitliche Führung mit großer Berührungsfläche erhält und der Seitenschub unmittelbar von der Schiene auf die Plättchen und von diesen auf die Schwelle übertragen wird, vermieden. Den verschiedenen äußeren Kräften treten also je besondere hierfür entsprechend gestaltete Befestigungsmittel entgegen und in dieser Form hat sich die Befestigungsweise bestens bewährt und weite Verbreitung gefunden.



0,4 nat. Größe.

Abb. 131. Rheinische Eisenbahn; verstärkte Klemmplättchen.

Die in die Schwellendecke eingreifenden Ansätze erhielten ursprünglich Abstufungen von 2 mm, auch waren 6, 7, ja selbst 10 verschiedene Plättchensorten in Benutzung, so daß Spurerweiterungen von 2 zu 2 mm bis zu 20, 24, 36 mm hergestellt werden konnten. Später ist aber diese große Zahl verschiedener Plättchennummern im Interesse größerer Einfachheit auf vier ermäßigt und zugleich das Maß der Abstufungen auf 3 mm erhöht worden (Abb. 132).

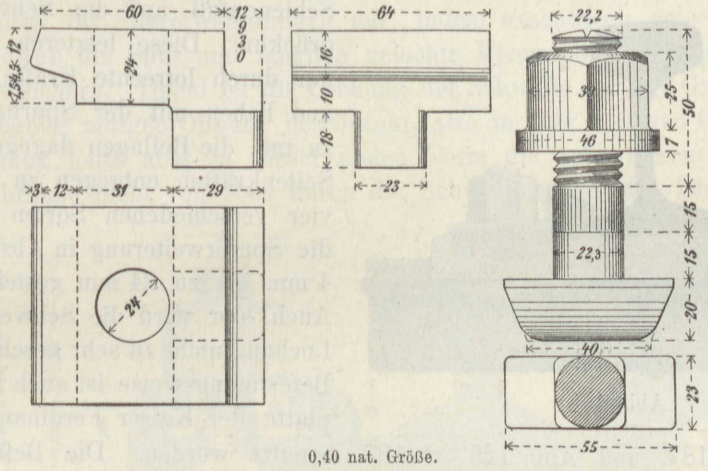


1 : 5. 0,4 nat. Größe.

Abb. 132. Preußische Staatseisenbahnen (1893). Haarmannsche Hakenplattenbefestigung.

Diese Klemmplättchenbefestigung erhielt 1882 durch Verbindung mit der von Haarmann erfundenen keilförmigen Hakenplatte weitere Vervollkommnung (Abb. 132). Ursprünglich war die Breite des Hakens 27 mm, wurde aber im Interesse leichterer Herstellung später auf 21 mm ermäßigt, ein Maß, das dem Zwecke, den Schienenfuß fest zu umfassen, erfahrungsgemäß vollkommen genügt. Für den verstärkten Oberbau der preußischen Staatsbahnen mit der Schiene von 1890 werden die Klemmplättchen und Hakenschrauben gleichfalls in stärkeren Abmessungen hergestellt (Abb. 132). Als wesentlicher Vorzug der Befestigung mit der Haarmannschen Haken-

platte ist hervorzuheben, daß Klemmplättchen und Hakenschraube überhaupt nur auf der Innenseite der Schiene nötig sind, also da, wo sie nur lotrechten Beanspruchungen zu widerstehen haben, während an der Außenseite der Seitenschub unmittelbar von der Hakenplatte aufgenommen und auf die Schwelle übertragen wird. Ferner gestattet die Keilform der Platte die Verwendung gerader Schwellen und die Schiene wird



0,40 nat. Größe.

Abb. 133. Preußische Staatseisenbahnen (1893).

gegen Verdrehungen gut eingespannt. Mit vier Sorten von Platten und Klemmplättchen wird in Stufen von 3 zu 3 mm eine Spurerweiterung bis zu 21 mm hergestellt (siehe die folgende Zusammenstellung).

Spurerweiterung mm	an der linken Schiene		an der rechten Schiene	
	Hakenplatte Nr.	Klemmplatte Nr.	Klemmplatte Nr.	Hakenplatte Nr.
0	4	0	1	3
3	3	1	1	3
6	4	0	3	1
9	4	0	4	0
12	3	1	4	0
15	1	3	3	1
18	1	3	4	0
21	0	4	4	0

Die Weite der Schwellenlöcher ist in der Richtung der Gleisachse eine mäßige, so daß die Schwelle nicht zu stark geschwächt wird.

Der Befestigung mit Hakenplatte und Klemmplättchen hat Haarmann dann bei seinem Starkstoßoberbau (s. S. 244) die in Abb. 134 dargestellte Form gegeben, bei der die Hakenplatte zwischen den Längsrippen der Schwelle (s. S. 168) liegt und an diese anstößt, so daß Klemmplättchen und Halterschraube von der Mitwirkung bei Übertragungskräften in der Längsrichtung der Schiene auf die Schwelle ganz sicher ausgeschaltet sind.

Eine im Grundsatz ähnliche, aber in den Einzelheiten abweichende Befestigungsweise führte Heindl 1882 auf den österreichischen Staatseisenbahnen ein, und zwar

in zwei Formen, für gebogene Schwellen ohne, für gerade mit keilförmiger Unterlagsplatte (Abb. 135). Die Rheinischen Klemmplättchen sind hier in besondere Einsatzstücke, sogenannte Beilagen (*B*), die durch verschieden starke Ansätze die Spur regeln und dem Schienenfuß zur seitlichen Anlehnung dienen, und in die eigentlichen Klemmplättchen (*K*) geteilt, die vermittelst der Hakenschraube den Schienenfuß auf die Schwelle niederdrücken. Diese letzteren werden also nur durch lotrechte Kräfte beansprucht und haben mit der Spurhaltung nichts zu tun, die Beilagen dagegen haben nur Seitenkräften entgegen zu wirken. Mit vier verschiedenen Sorten dieser kann die Spurerweiterung in Abstufungen von 4 mm bis zu 24 mm gesteigert werden. Auch hier wird die Schwelle durch die Lochung nicht zu sehr geschwächt. Diese Befestigungsweise ist auch bei der Stuhlplatte der Kaiser Ferdinands-Nordbahn (Abb. 108, S. 187, und Abb. 126, S. 197) benutzt worden. Die Befestigung von Heindl ist wegen der Vielheit und Vielgestaltigkeit der Einzelteile umständlicher, als die vorbeschriebene, hat aber sonst alle dort angeführten Vorzüge mit dieser

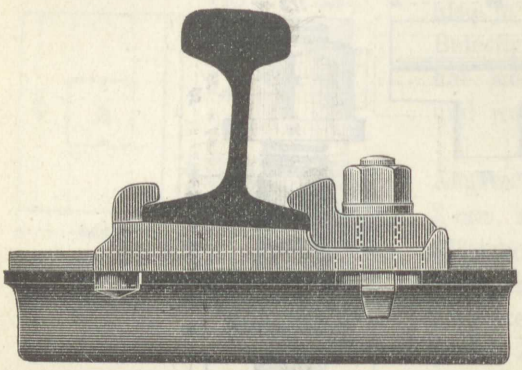


Abb. 134.

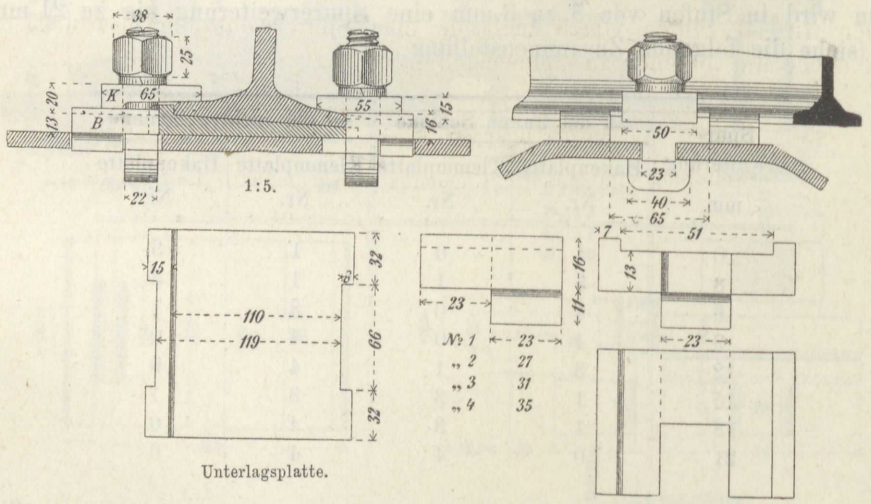


Abb. 135. Österreichische Staatseisenbahnen (1882). Heindlsche Befestigung.

gemein. Vielfach wird zwar die Trennung der Rheinischen Klemmplatte in zwei besondere Teile, von welchen der eine ausschließlich den lotrechten, der andere aber lediglich den Seitenkräften zu widerstehen hat, als ein weiterer Vorzug der Heindlschen Konstruktion hervorgehoben, der die größere Zahl von Einzelteilen wohl rechtfertige. Dieser Vorzug ist aber nur gegenüber der Befestigung ohne Hakenplatte vorhanden. Die genannte Befestigungsweise ist besonders in Österreich und Bayern in Benutzung, aber auch auf den preußischen Staatseisenbahnen und den Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen versuchsweise zur Anwendung gekommen.

Gleichfalls auf dem Grundsatze der Trennung der lotrecht beanspruchten Klemmplättchen von den der Spursicherung dienenden Teilen beruht die Bauweise von Roth und Schüler, die zuerst 1882 auf der badischen und der vormaligen Saarbrücker Staatseisenbahn angewendet wurde. Diese Anordnung weist aber wie die bisher beschriebenen nicht nur einheitliche Schwellenlochung, sondern auch einheitliche Befestigungsmittel für Spurerweiterungen auf, indem exzentrisch gelochte quadratische Spurplättchen die Spur und länglich gelochte Klemmplättchen die lotrechte Lage der Schiene sichern. Dabei ist die Lochung der Schwelle auf die Größe der für den Bolzendurchgang nötigen Öffnung beschränkt, also in sehr mäßigen Grenzen gehalten. Die Anordnung hatte aber in dieser ersten Form die sehr wesentlichen Nachteile, daß die Schraube nicht von oben durch die Schwelle gesteckt, vielmehr immer von

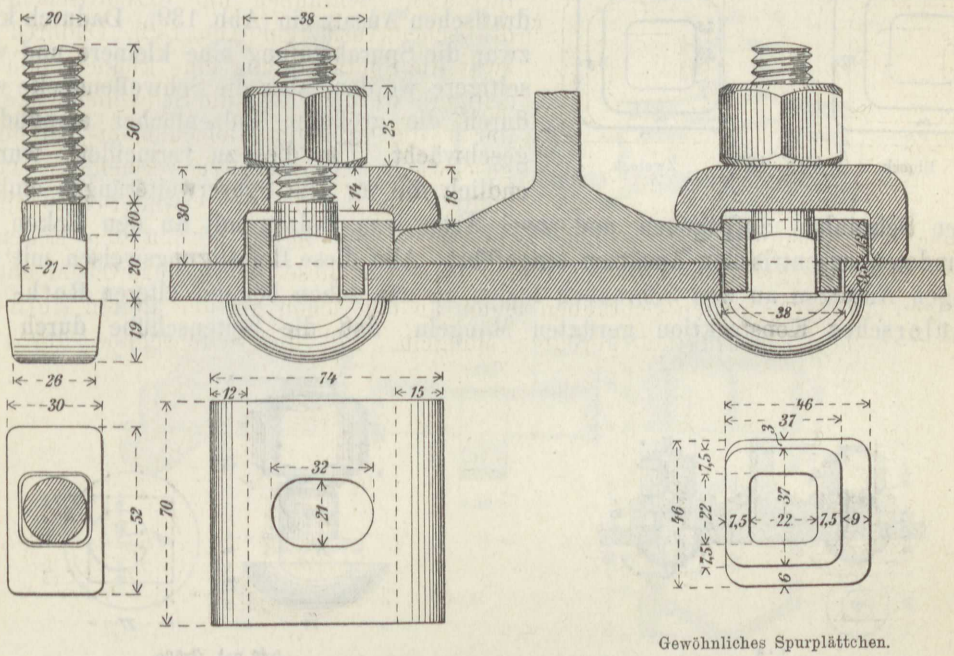


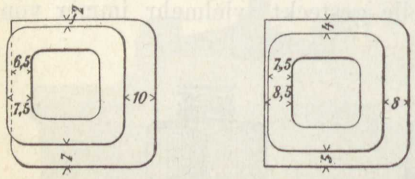
Abb. 136. Badische Staatseisenbahnen (1891). Befestigung nach Roth und Schüler. 0,4 nat. Größe.

unten, nach vorherigem Aufgraben der Bettung, unter der Schwelle durchgesteckt werden mußte, und daß die Seitenkräfte vom Schienenfuß durch den Bolzen auf die Schwelle übertragen wurden, d. h. durch einen Befestigungsteil, der dazu schlecht geeignet ist und bei starker seitlicher Beanspruchung rasch verschleißt. Um diesen Übelständen abzuhelfen, ist die Befestigungsweise später von 1889 ab in der in Abbildung 136 dargestellten Weise weiter gebildet und zuerst von der oldenburgischen Staatsbahn in dieser Gestalt angewandt worden. Die Spurplättchen reichen nunmehr mit besonderen Ansätzen in die Schwellendecke hinab und nehmen die Seitenkräfte unmittelbar auf, auch kann der als Hakenschraube gestaltete Bolzen von oben durch das Loch der Schwellendecke gesteckt werden; als ein Mangel muß aber die in der Richtung der Gleisachse 38 mm große Weite der Schwellenlöcher bezeichnet werden.

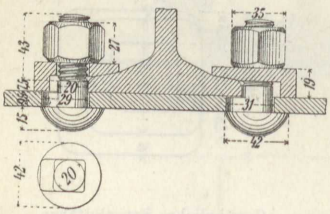
Während sich die meisten Bahnen, welche die Konstruktion von Roth und Schüler anwenden — oldenburgische Staatseisenbahn, niederländische Staatseisenbahn u. a. — mit einer Spurabstufung von 3 zu 3 mm begnügen, hat die badische Staatseisenbahn eine solche Abstufung von 1 zu 1 mm eingeführt, was allerdings nur

unter Aufgabe des einheitlichen Spurplättchens möglich war. Durch Verwendung von zwei weiteren Sorten Spurplättchen, Eineck und Zweieck (Abb. 137), zu dem in Abbildung 133 dargestellten gewöhnlichen Spurplättchen wird diese sonst bei Verwendung eiserner Querschwellen nicht übliche und auch nicht notwendige weitgehende Kleinabstufung der Spurerweiterung hergestellt.

Eine fernere Befestigungsweise, die gleichfalls einheitliche Befestigungsmittel anzuwenden suchte, wurde 1879 von der hessischen Ludwigsbahn eingeführt. Sie beruht auf der Benutzung von Schrauben mit seitlichem 9 mm starkem Ansatz (Abb. 138), wodurch Spurerweiterungen von 9 und 18 mm hergestellt werden können. Um eine kleinere Abstufung und eine größere Höchstspurerweiterung zu ermöglichen, führte 1880 die preußische Eisenbahndirektion Frankfurt a. M. Schrauben mit exzentrischem quadratischen Ansatz ein (Abb. 139). Dadurch kann zwar die Spurabstufung eine kleinere und vielseitigere werden, aber die Schwellendecke wird durch die größeren Bolzenlöcher empfindlich geschwächt. Um dies zu vermeiden, wurden endlich die für alle Spurerweiterungen einheitlichen Schrauben aufgegeben und zwei Arten von Bolzen mit an den Ecken abgerundeten exzentrischen Ansätzen eingeführt. Alle diese Befestigungsweisen mit einseitigen Ansätzen an den Schrauben leiden an den schon bei der älteren Roth- und Schülerschen Konstruktion gerügten Mängeln, daß die Seitenschübe durch den

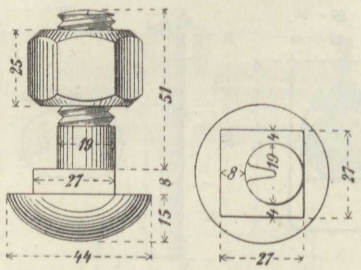


Eineck. Abb. 137. Zweieck.



1 : 5.

Abb. 138. Hessische Ludwigsbahn (1879).



0,40 nat. Größe.

Abb. 139. Preuß. Staatseisenb., Direkt. Frankfurt a/M. (1880).

Schraubenschaft auf die Schwellen übertragen werden und daß die Bolzen von unten durch die Schwelle gesteckt werden müssen. Diese Konstruktionen können daher trotz ihrer Einfachheit nicht empfohlen werden.

Außer den beschriebenen Befestigungsweisen, die sowohl wegen ihrer Durchbildung, als wegen ihrer Verbreitung vorzugsweise in Betracht kommen, sind sehr viele andere Befestigungsarten vorgeschlagen und besonders in den westeuropäischen und überseeischen Ländern versuchsweise in mehr oder minder großer Ausdehnung eingeführt worden, auf die hier aber nicht näher eingegangen werden kann[152]).

Es müssen aber noch einige Befestigungsweisen besprochen werden, die von den bisher erläuterten wesentlich abweichen und wenn auch nicht für allgemeine Anwendung, so doch für besondere Zwecke ihre volle Berechtigung haben, nämlich dort, wo es notwendig ist, den Abstand zwischen Schienenoberkante und Schwellendecke über das Maß der Schienenhöhe beträcht-

152) Eine eingehende Darstellung derselben findet sich in Haarmann, Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 558 u. ff.

lich zu vergrößern, also z. B. da, wo das Gleis im Pflaster oder auch selbst nur in einem chaussierten Wege liegt und daher eine tiefe Schwellenlage notwendig oder doch wenigstens dringend erwünscht ist. Haarmann schlug 1879 vor, die Breitfußschienen auch bei eisernen Querschwellen in derselben Weise durch flußeiserne Klammern zu befestigen, wie er es bei seinem Langschwellenoberbau mit Erfolg getan hatte und setzte, um die hierbei nötige Höhe zwischen der Oberfläche der Querschwelle und dem Schienenfuß zu erhalten, auf erstere ein gußeisernes Sattelstück. Diese Befestigungsweise kam bei mehreren niederländischen, russischen und norddeutschen Eisenbahnen in beschränktem Maße versuchsweise zur Einführung, bewährte sich aber nicht in der erwarteten Weise, so daß sie nirgends zu allgemeinerer Anwendung kam. Allerdings ist sie bei mehreren norddeutschen Bahnen Ende der achtziger Jahre für Wegeübergänge, besonders für solche mit Pflasterung, zur Anwendung gekommen. Hier sind die Schienen durch die feste Wegemasse (Chaussierung, Pflaster) gegen Seitenbeanspruchungen so abgestützt, daß die Mängel, die sich auf gewöhnlicher freier Strecke aus der zweifelhaften Zuverlässigkeit der hohen

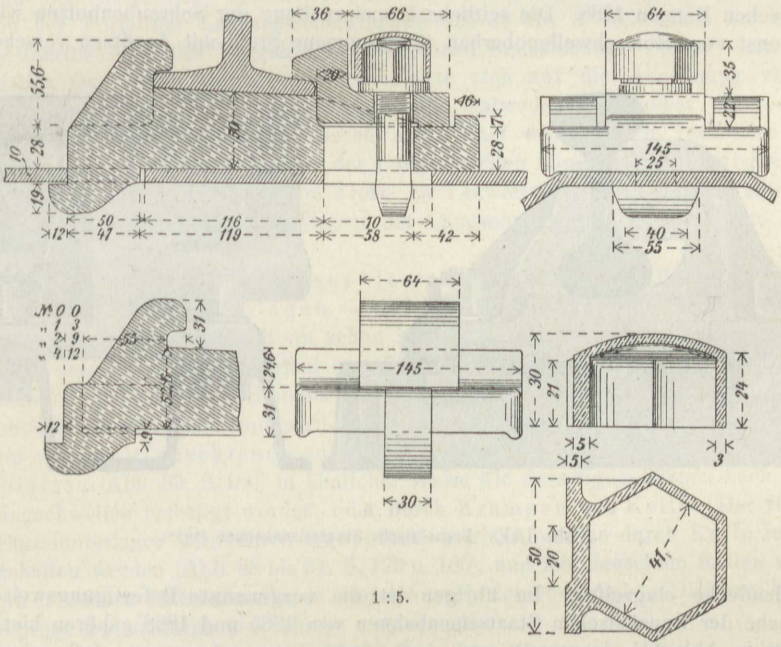


Abb. 140. Preußische Staatseisenbahnen (1892); Befestigung bei Wegeübergängen nach Kohn.

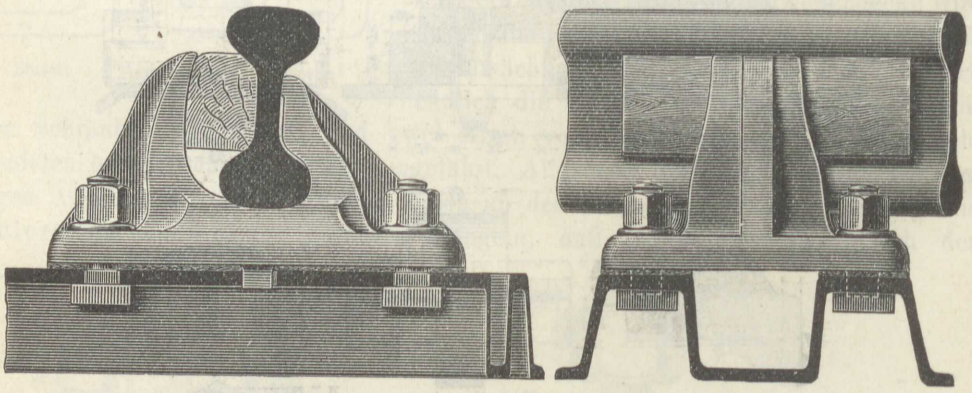
Gußsättel ergaben, kaum in Betracht kommen gegenüber den an solchen Stellen wesentlichen Vorteilen möglichst tiefer Schwellenlage. In einfacherer Weise wird derselbe Zweck aber durch die Konstruktion von Kohn (Abb. 140) erreicht, die als eine Durchbildung der Befestigung der Haarmannschen Hakenplatte und Rheinischen Klemmplättchen für den genannten besonderen Zweck erscheint. Diese Anordnung ist der vorgenannten Haarmannschen insofern überlegen, als die Schiene fester eingespannt wird als dort, die Schwächung der Schwelle durch die Lochung eine wesentlich geringere ist und die Übertragung der Seitenschübe auf die Schwelle unmittelbar nach außen an einer weiterer Schwächung nicht mehr unterworfenen Stelle erfolgt. Besonders bemerkenswert ist auch der Schutz der Mutter der Hakenschraube gegen Schmutz und Losrütteln durch die Mutterstellkappe. Die mit dieser Befestigungsart gemachten günstigen Erfahrungen scheinen dafür zu sprechen, daß hier eine Anordnung gefunden ist, durch welche auf Wegeübergängen, wo die Gleislage bisher in der Regel besonders viel zu wünschen übrig ließ und Unterhaltungsschwierigkeiten machte, eine dauernd ruhige und sichere Lage erreicht wird, besonders wenn durch Einlegung außergewöhnlich langer Schienen zugleich dafür gesorgt wird, daß kein Stoß im Wegübergang liegt.

2. Beim Stuhlschienenoberbau haben eiserne Querschwellen bisher nur in beschränktem Maße versuchsweise Verwendung gefunden. So einfach die Befestigung der Stühle auf Holz-

schwellen ist, und so leicht sich dabei die Regelung der Spur durchführen läßt, so umständlich wird besonders die Lösung der letzten Aufgabe bei eisernen Schwellen, wenn man nicht zu Stühlen mit verschiedenen Abmessungen übergehen will, ein Verfahren, das sich besonders auch aus wirtschaftlichen Gründen nicht empfiehlt. Die Spurregelung muß daher durch die Befestigungsmittel zwischen Stuhl und Schwelle erfolgen, wenn man nicht überhaupt ganz auf diese Möglichkeit verzichtet, was bei den meisten derartigen Versuchen tatsächlich geschehen ist. Oder man muß die Schwellen nach den wechselnden Spurweiten lochen, eine Maßnahme, die sich gleichfalls aus wirtschaftlichen Gründen nicht empfiehlt.

Sowohl in England als auch in Frankreich sind im neunten Jahrzehnt des vor. Jahrh. mehrfache Versuche mit eisernen Querschwellen unter Stuhlschienen gemacht worden, welche sich je nach der Beschaffenheit in folgender Weise unterscheiden:

α. Der beim Holzschwellenoberbau gebräuchliche Stuhl wird durch gewöhnliche Schrauben mit Muttern auf den Eisenschwellen befestigt. Diese Befestigungsweise bietet nichts beachtenswertes, hat aber den Mangel, daß die Schraubenbolzen durch Seitenkräfte beansprucht werden. Versuchsweise eingeführt ist sie bei der englischen Midland-Eisenbahn 1886 und bei französischen Bahnen 1888. Die seitliche Beanspruchung der Schraubenbolzen wird vermieden, wenn der sonst vom Holzschwellenoberbau übernommene Stuhl mit Ansätzen versehen ist, die in



1 : 5.

Abb. 141. Französische Staatseisenbahnen (1888).

die Schwellendecke eingreifen. Im übrigen ist die vorgenannte Befestigungsweise beibehalten. Zwei Versuche der französischen Staatseisenbahnen von 1885 und 1888 gehören hierher; der letztgenannte ist in Abb. 141 dargestellt und noch dadurch bemerkenswert, daß zwischen Stuhl und Schwelle Filzplatten liegen.

β. Der Schienenstuhl wird aufgenietet oder aufgegossen, wie dies bei der London and North-Western-Eisenbahn (1880) sowie bei den französischen Staatseisenbahnen (1885) und der Westbahn (1887) geschehen ist. Derartige Verbindungsweisen können aber nicht als zweckmäßig bezeichnet werden, da sie den Betriebsbeanspruchungen auf die Dauer nicht widerstehen und nicht nachstellbar sind, was von jeder Oberbauanordnung verlangt werden sollte.

γ. Endlich ist noch ein Versuch zu erwähnen, den die englische Great Northern-Eisenbahn 1885 und demnächst auch andere englische Bahnen mit einer von Howard ausgeführten Schwelle machten, die an den Schienanauflagerstellen derart in Stuhlform gepreßt war, daß die Schiene unmittelbar mit dem Keil befestigt werden konnte. Die Schwelle hat sich aber, abgesehen von deren hohen Kosten, schon nach kurzer Zeit nicht bewährt, indem Schwellenbrüche an den eingepreßten Stuhlauflagern vorkamen. Die ganze Frage der Befestigung von Stuhlschienen auf eisernen Querschwellen muß zurzeit noch als eine ungelöste bezeichnet werden.

b. Befestigung der Schienen auf eisernen Langschwellen, sowie Querverbindungen beim Langschwellenoberbau. — Beim Hilfschen und Rheinischen Langschwellenoberbau werden die Schienen mittels Klemmplättchen und Schrauben auf den Schwellen befestigt (siehe Abb. 10 auf S. 75). Auch beim älteren Hoheneggerschen Langschwellenoberbau ist diese Befestigungsweise beibehalten. Sie hat aber sehr erhebliche Übelstände; da der Schrauben-

bolzen selbst die Seitenkräfte aufnehmen muß und die Berührungsfläche mit der Schiene sehr klein ist, so ist ein Einfressen unvermeidlich, ferner kann die Schraube nur von unten, also nach Beseitigung der die Schwelle füllenden Bettung, durch die Schwelle gesteckt werden. Hohenegger hat wenigstens den ersten dieser Mißstände bei seiner späteren Schwellenform mit Seitenleisten vermieden, indem hier die Klemmplättchen die Seitenkräfte unmittelbar auf die Schwelle übertragen, während die Schrauben nur in ihrer Längsrichtung beansprucht werden (siehe Abb. 12 auf S. 77).

Bei den genannten Befestigungsarten ist ferner die Herstellung einer Spurerweiterung mit der Schiene auf der Langschwelle ausgeschlossen. Die Spurregelung muß vielmehr mit der Schiene und Langschwelle gleichzeitig vorgenommen, also durch Querverbindungen bewirkt und gesichert werden. In der Regel dienen diese auch zur Erhaltung der Schienenneigung. Zwischen den Querverbindungen wird aber sowohl Spur wie Schienenneigung nur durch die feste Unterstopfung der Schwelle und deren richtige Lage in der Bettung gewährleistet.

Hilf benutzte ursprünglich diese Querverbindungen zugleich zur Unterstützung des Schwellen- und Schienenstoßes, indem er eine nach der Schienenneigung geknickte Querschwelle von der Form der Langschwellen benutzte (Abb. 10, S. 75). Auch bei den anderen Langschwellenbauarten fand dies Vorgehen vorübergehend Nachahmung. Später verließ man aber diese tragenden Querverbindungen und beschränkte sich auf die Anordnung von Querversteifungen der verschiedensten Querschnittformen, die entweder unmittelbar unter der Schiene zwischen den Langschwellen oder unter diesen angeordnet wurden. Die tragenden Querunterstützungen hatten sich bei ihrer von der der Langschwellen abweichenden Auflagerhöhe in der Bettung, die besonders bei Übergang von Frost- zu Tauwetter und umgekehrt störend wirkte, nicht bewährt. Auch schliffen sich die Rippen der Langschwellen in beträchtlichem Maße in die Querschwellen ein.

c. Befestigung der Schienen auf eisernen Einzelunterstützungen und Querverbindungen der Einzelunterlagen. — Bei Einzelunterlagen, die zur Unterstützung von Stuhlschienen dienen, ist die Stuhlform schon in der Einzelunterstützung selbst vorhanden, so daß der Stuhl als besonderes Zwischenglied entfällt. Die Schiene kann daher einfach durch einen Holz- oder Eisenkeil zwischen den Stuhlbacken befestigt werden (Abb. 88, S. 179), oder die eine Hälfte der Stuhlform ist beweglich und wird durch einen Keil gegen die Schiene getrieben (S. 181). Die Befestigung von Breitfußschienen auf Einzelunterlagen erfolgt entweder durch Schrauben und Klemmplatten (Abb. 89, S. 180) in ähnlicher Weise wie derartige Schienen auch auf eisernen Quer- oder Langschwellen befestigt werden, oder durch Krampen und Keile. Der richtige Querabstand der Einzelunterlagen wird durch Quereisen bewirkt, welche durch Keile in der Einzelschwelle festgehalten werden (Abb. 88 bis 91, S. 179 u. 180), und mit denselben Keilen wird bei den Denham-Olphertsschen Plattenunterlagen zugleich auch der bewegliche Teil dieser Platten gegen die Schiene gepreßt und dadurch die Schiene eingespannt.

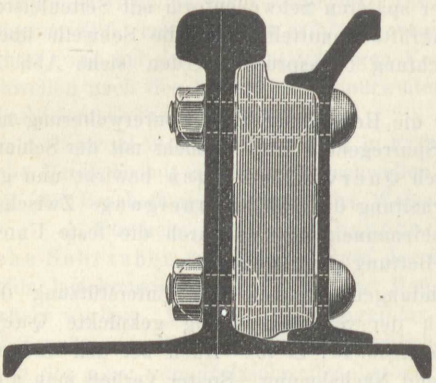
Solche Befestigungen sind zwar sehr einfach und lassen sich auch von ungeübtem Aufsichtspersonal leicht handhaben, Vorteile, die besonders in den Gegenden der Verwendung von Einzelunterlagen von nicht zu unterschätzendem Werte sind; sie würden sich aber bei starker Inanspruchnahme durch viele, schwere und schnellfahrende Züge kaum als ausreichend zuverlässig und sicher erweisen, besonders nicht bezüglich der Sicherung der Spurweite. Auch lassen sie eine zuverlässige Regelung und Abstufung der Spur bei einheitlich gelochten Quereisen nicht zu. Wegen der geringen Bedeutung, die Gleisanlagen mit Einzelunterstützungen für europäische, insbesondere für Eisenbahnen des deutschen Sprachgebietes haben, soll hier nicht weiter auf sie eingegangen werden.

d. Befestigungsmittel beim Schwellenschienenoberbau. — Die beiden Hälften einer Schwellenschiene werden nur noch durch Schrauben mit Muttern verbunden, nachdem sich die ursprünglich verwendeten Nietverbindungen den Betriebserschütterungen nicht gewachsen gezeigt haben. Dabei wird nur eine Reihe dicht unter dem Schienenkopf sitzender Schrauben verwendet; außerdem werden die Schienenfüße durch Formeisen umklammert und die Spur durch Querverbindungen aus Flacheisen gesichert (Abb. 19, S. 81).

Wie schon in der geschichtlichen Einleitung dargelegt wurde, kommt der Schwellenschienenoberbau nur noch in Gleisen in gepflasterten Straßen in Betracht.

In Abb. 142 ist die Verbindung der Schwellenschienen mit einer Schutzschiene, wie sie bei solchen Gleisen notwendig ist, in der Form dargestellt, wie sie bei den Hafenbahnen in Mainz,

Köln, Fiume, Triest usw. zur Ausführung kam. Zwischen der Schwellenschiene und der Schutzschiene befinden sich gußeisere Futterstücke, die vermöge der eigentümlichen Form der Schutzschiene, die zuerst bei den Hamburger Straßenbahnen Anwendung gefunden hat, verhältnismäßig schmal gehalten werden können.



1 : 5.

Abb. 142. Schwellenschiene für Hafenbahnen.

§ 34. Mittel gegen das Wandern der Schienen und des ganzen Gleises. — Erfahrungsgemäß bewegen sich die Schienen auf ihren Unterlagen in der Richtung des darüberrollenden Zuges fort, sie wandern oder kriechen, wie die Engländer diese Bewegung in noch bezeichnenderer Weise nennen. Bei einer zweigleisigen Bahn findet demgemäß das Wandern eines jeden Gleises nur nach einer Richtung statt, wogegen ein nach beiden Richtungen befahrenes Gleis ein hin- und hergehendes Wandern der Schienen erkennen läßt. Unter sonst gleichen Verhältnissen ist bei ungleicher Zugbelastung das Wandern im stärker belasteten Gleis, oder, bei eingleisiger Bahn, in der Richtung der stärker belasteten Züge größer, als in umgekehrter Richtung; ferner ist auch unter gewissen Voraussetzungen ein verschieden starkes Wandern der beiden Schienen desselben Gleises zu bemerken. Zunächst wandert, wenn die Überhöhung für die Mehrzahl der Züge nicht zu groß gewählt ist, die Außenschiene in den Krümmungen meistens stärker, als die Innenschiene, während bei Bogen mit sehr starker Überhöhung ein Voreilen der Innenschiene zu beobachten ist. Dann wandern bei zweigleisiger Bahn die in der Fahrrichtung links liegenden Schienen stärker, als die beiden anderen Schienen. Bei Bremsstrecken, auf denen das Abrollen der Räder durch Bremsen gehemmt wird, ist ein besonders starkes Wandern bemerkbar.

Weder das gleichmäßige Wandern beider Schienen, noch das Voreilen der einen gegen die andere ist bis jetzt wissenschaftlich vollständig erklärt. In dem Bericht zu Frage 10 der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses 1900 erörtert Engerth alle einschlägigen Verhältnisse eingehend (siehe die zu Nr. 154 unten genannte Quelle). Das Voreilen in Bogen ist darauf zurückzuführen, daß entweder die Außenschiene von den dort anlaufenden Rädern in der Zugrichtung mitgenommen wird — bei mäßiger Überhöhung — oder daß umgekehrt infolge zu starker Überhöhung die Innenschiene stärker belastet ist[153]). Das Voreilen der linken Schiene bei zweigleisigen Bahnen, die in Frankreich bei Linksbetrieb außen liegen, führt Coüard darauf zurück, daß hier die Schwellen nicht so fest eingebettet sind, wie in der Bahnmitte[153]); da das Voreilen der linken Schiene aber auch bei Rechtsbetrieb, hier also bei den inneren Schienen, wahrzunehmen ist, sucht Spitz die Erklärung in der aus der Bauart der Lokomotiven mit Voreilung rechts entspringenden fortgesetzten stärkeren Seitenbeanspruchung der linken Schiene[154]). Für die Tatsache, daß das Maß des Wanderns von der Belastung des Gleises oder der Schienen abhängt, hat

---

[153]) Revue générale des chemins de fer, 1896, S. 85.

[154]) Zeitschrift des österreich. Architekten- und Ingenieur-Ver. 1897, S. 61. Siehe auch Beschluß zu Frage 10 der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Generalbericht Bd. 2, Brüssel 1901.

Professor J. B. Johnson in St. Louis folgende interessante, nach ihm von Dr. Zimmermann in Berlin noch weiter erläuterte Erklärung gegeben[155]). Bei einem Träger, der sich unter einer von links nach rechts fortschreitenden Last durchbiegt, bewegt sich die sich ausdehnende Unterkante während der Belastung der linken Trägerhälfte am unbelasteten rechten Trägerauflager nach rechts und zu Ende der Belastung der rechten Trägerhälfte zieht sich die Unterkante am linken, nunmehr unbelasteten Auflager gleichsam nach rechts zusammen; der ganze Träger verschiebt sich also in der Richtung der darüberrollenden Last. Außerdem schiebt sich die in Wellenbewegung versetzte Schiene auf der Schwelle vermöge der dort eintretenden Reibungsarbeit noch weiter nach vorwärts. Coüard sucht dagegen die Hauptursache des Wanderns in der wagrechten Seitenkraft der an den durchgebogenen Schienenstößen von den Rädern erzeugten Stöße[156]). Mit dieser Erklärung stimmt die Beobachtung überein, daß ein Gleis um so stärker wandert, je schlechter seine Lage und je größer die Geschwindigkeit der Züge ist, während die Erklärung von Johnson mit der Tatsache übereinstimmt, daß Stuhlschienen, welche nicht an ihrer Unterkante, sondern näher der Schwerpunktachse unterstützt sind, nicht so stark wandern wie Breitfußschienen, auch mit der auffallenden Erscheinung, daß Schienen sich noch nach der Vorbeifahrt des Zuges weiter bewegen, dem Zuge also noch nachfolgen. Besonders deutlich hat Verfasser diese Erscheinung auf der Moselbahn beim Hilfschen Langschwellenoberbau älterer Bauart beobachtet, bei dem überhaupt ein sehr starkes Wandern eintrat. Dort zeigten sich Schienenverschiebungen bis zu 50 mm unter einem Güterzuge von etwa hundert Achsen und stellte sich oft ein deutlich bemerkbares Nachwandern von mehreren Millimetern ein, obgleich die Stöße nicht eingefahren, sondern in sehr gutem Zustande waren. Das Wandern der Schienen teilt sich auch den Schwellen mit, besonders wenn die Bettung schlecht ist und die Schwellen schwach sind. Kräftige Schwellen und gute Bettung wirken daher dem Wandern des Gleises entgegen[157]).

Diese Bewegungen der Schienen und des ganzen Gleises gehören zu den bedenklichsten Feinden einer guten dauerhaften Gleislage; man hat daher schon frühzeitig die Notwendigkeit erkannt ihnen entgegenzuwirken. Zunächst ist ein kräftiges und besonders ein steifes Gleis auch gegen das Wandern widerstandsfähiger, als ein schwaches, denn nach der Johnson-Zimmermannschen Erklärung nimmt das Wandern mit zunehmender Steifigkeit ab. Es hat sich aber doch die immer zwingendere Notwendigkeit der Anwendung besonderer Mittel gegen das Wandern herausgestellt, und zwar sowohl von Hilfsmitteln zur Verhütung des gewöhnlichen gleichmäßigen, wie des äußerst schädlichen einseitigen Wanderns.

Solange allgemein Eisenschienen verwendet wurden, versah man den Schienenfuß mit Einklinkungen, in welche die Befestigungsmittel eingriffen und so in recht einfacher und wirksamer Weise eine Verschiebung der Schienen auf den Schwellen verhinderten. Beim Übergange zu Stahlschienen erwiesen sich solche Einklinkungen aber als bedenklich, weil sie oft zu Schienenbrüchen Veranlassung gaben; sie wurden daher fast allgemein verlassen, sind aber später doch wieder aufgenommen worden, nachdem es gelungen war, den Stahl in einer Beschaffenheit

155) Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 347 und 1890, S. 437.

156) Vgl. die vorstehend in Fußnote 152 angegebene Quelle.

157) Bericht zu Frage 10 der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, 2. Bd., Brüssel 1901.

herzustellen, welche die Bruchgefahr auch bei Einklinkungen ausschließt, oder doch erheblich abschwächt.

Nach dem Berichte der Technikerversammlung des V. d. E. V. von 1884[158]) zu dieser Frage hatte die holländische Bahn bei 7 m langen Stahlschienen je acht Einklinkungen angebracht, so daß auf jeder Schwelle das Befestigungsmittel (Nagel bei Holzschwellen, eine Nase der Klemmplatten bei Eisenschwellen) in den Schienenfuß eingriff. Da seit 1874 nur fünf Brüche durch die Einklinkungen zu verzeichnen waren, gegenüber 102 Brüchen an anderer Stelle, so empfahl die genannte Versammlung weitere derartige Versuche. Im Berichte der Technikerversammlung desselben Vereins von 1893[159]) ist aber von Schieneneinklinkungen nicht mehr die Rede. Dagegen werden Maßregeln in Verbindung mit den Befestigungsmitteln der Schienenstöße zur Anwendung empfohlen, die um so zweckmäßiger sind, als eine Verschiebung der Schienen am Stoß besonders lästig und schädlich wirkt. Am einfachsten ist es, die Schienenlaschen mit Löchern oder Einklinkungen zu versehen, in welche die Befestigungsmittel eingreifen, oder doch wenigstens die Laschen an die Schwellen oder an die aus diesen hervorragenden Befestigungsmittel oder besondere Vorstoßwinkel anstoßen zu lassen (Abb. 143, 160 bis 166).

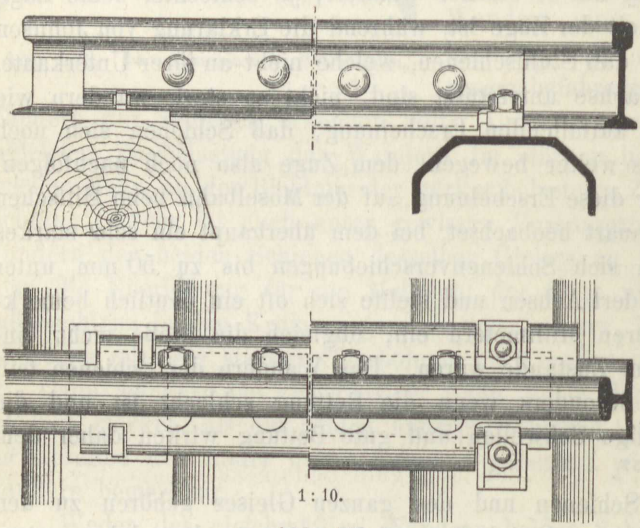


Abb. 143.
a. Österreichische Staatseisenbahnen. b. Bayerische Staatseisenbahnen.

Andererseits läßt sich nicht verkennen, daß die Laschen, die durch Erfüllung ihrer Aufgabe der Stoßdeckung ohnehin schon stark beansprucht sind, dadurch noch weiteren nicht unbedeutenden Spannungen ausgesetzt werden. Es erscheint daher notwendig, noch in anderer Weise dem Wandern entgegenzuwirken, und zwar um so mehr, als durch die Verbindung der Schienen mit den Stoßschwellen zwar ein Wandern der Schienen auf diesen Schwellen recht wirksam verhindert wird, zugleich aber bei starkem Wandertrieb der Schienen eine Verschiebung der Stoßschwellen eintritt, so daß sich nunmehr die Schienenstöße einschließlich der damit fest verbundenen beiden Schwellen gegenüber den anderen Schwellen verschieben. Man hat daher vielfach Pfähle vor die Schwellen in den Boden geschlagen, oder die dem Schienenstoße zunächst liegenden Schwellen durch Spreizen oder durch Flach- oder Winkeleisen oder Hölzer mit den nächstliegenden Schwellen verbunden, um eine größere Schwellenzahl gleichzeitig zum Widerstande gegen das Wandern heranzuziehen. Dies Verfahren ist u. a. auch auf den österreichischen Staatsbahnen angewandt worden, indem auf je 100 m Gleis in drei bis fünf Schienenfeldern zwei

158) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX. Ergänz.-Bd. 1884, S. 72.
159) Ebenda, XI. Ergänz.-Bd, S. 60.

Flacheisen kreuzweise über die Schwellen des Schienenfeldes gelegt und auf sämtlichen Schwellen befestigt wurden[160]). Beim

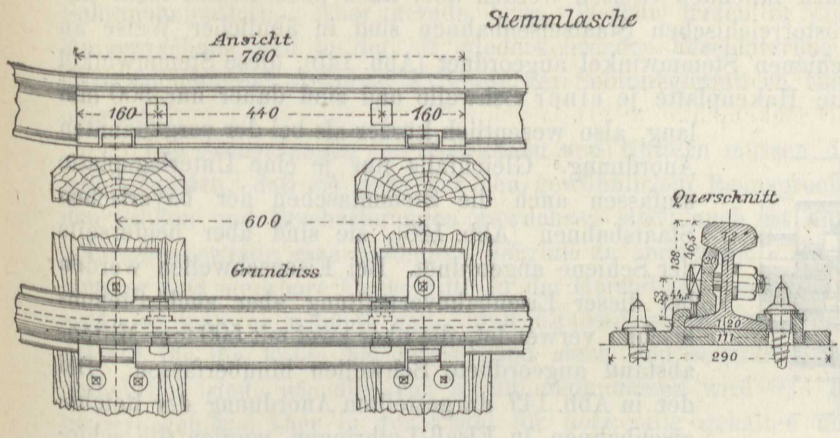
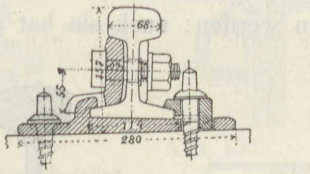
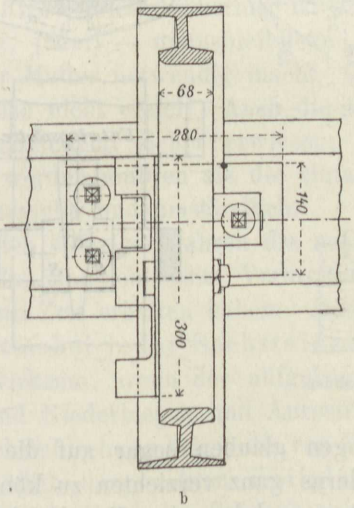


Abb. 144. Preußische Staatseisenbahnen.

Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau benutzte man die Querverbindungen, die man möglichst tief in die Bettung eingreifen ließ (Abb. 10 u. ff., S. 75), aber auch hier ist ein durchschlagender Erfolg nicht zu erzielen gewesen. Wirksamer als das Einschlagen von Pfählen oder das Verspreizen mehrerer Schwellen ist es, die Schiene außer mit den Stoßschwellen auch noch mit einer Anzahl von Mittelschwellen in einer solchen Weise zu verbinden, daß die in der Gleisrichtung schiebenden Kräfte auch auf diese Mittelschwellen übertragen werden. Man bedient sich hierzu der Stemmlaschen, Stemmwinkel und ähnlicher Einrichtungen[161]).





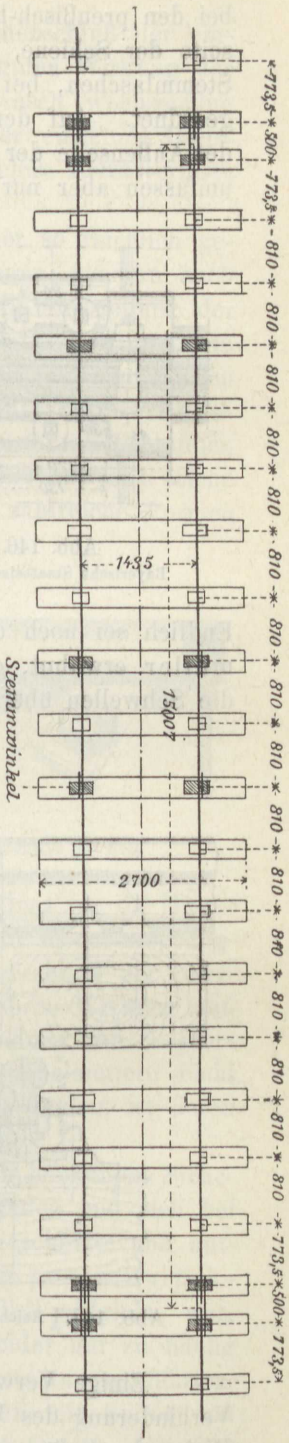


Abb. 145. Österreichische Staatseisenbahnen.

In Abb. 144 ist die Anordnung der Stemmlaschen

[160]) Zeitschr. d. österr. Architekt.- und Ing.-Vereins, 1897, S. 48.

[161]) Centralbl. d. Bauverw. 1899, S. 4, Aufsatz von Kohn; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XIII. Ergänz.-Bd. 1903, S. 18; Railroad Gazette 1903, S. 739.

bei den preußisch-hessischen Staatseisenbahnen dargestellt; sie liegen an der Außenseite der Schiene, und auf eine Schienenlänge von 12 m kommen mindestens zwei Stemmlaschen, bei stark fallenden Gleisen werden aber auch nach Bedarf mehr angeordnet. Auf den österreichischen Staatseisenbahnen sind in ähnlicher Weise an der Außenseite der Schienen Stemmwinkel angeordnet (Abb. 145), diese Stemmwinkel umfassen aber nur die Hakenplatte je einer Schwelle und sind daher nur 300 mm lang, also wesentlich kürzer als bei der vorgenannten Anordnung. Gleichfalls nur je eine Unterlagsplatte umfassen auch die Stemmlaschen der bayerischen Staatsbahnen (Abb. 146), sie sind aber beiderseits der Schiene angeordnet. Bei Eisenschwellen werden bei dieser Eisenbahnverwaltung aber auch Stemmlaschen verwendet, die über zwei mit 500 mm Mittenabstand angeordnete Schwellen hinüberfassen. Bei der in Abb. 147 dargestellten Anordnung der Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen werden die schiebenden Kräfte nicht durch die Unterlagsplatte, sondern unmittelbar auf die Schwelle übertragen. Endlich sei noch die in Abb. 148 dargestellte Keilverschlußklemme von Dorpmüller erwähnt, durch die gleichfalls die auf das Wandern wirkenden Kräfte auf die Schwellen übertragen werden; auch sie hat gute Erfolge ergeben.

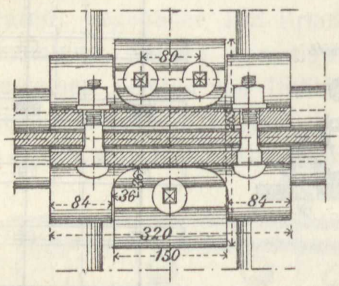


Abb. 146.
Bayerische Staatseisenbahnen.

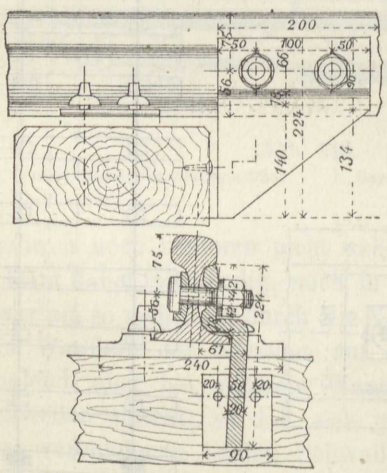


Abb. 147. Reichseisenbahnen.

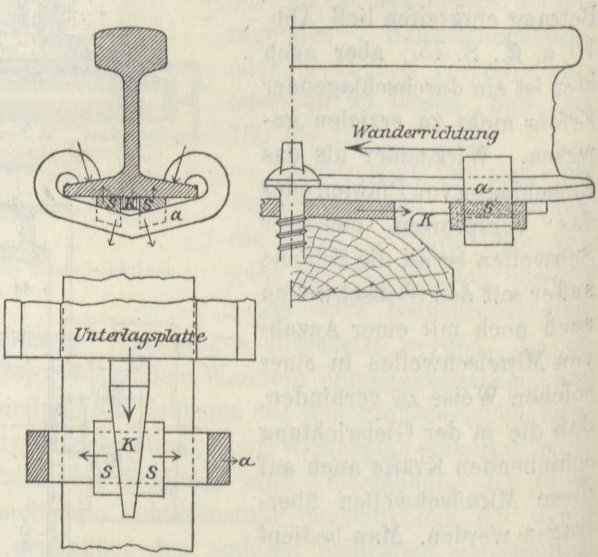


Abb. 148.

Einige Verwaltungen glauben sogar auf die Heranziehung der Laschen zur Verhinderung des Wanderns ganz verzichten zu können, wenn sie in ausreichender Weise durch Stemmlaschen u. dgl. gegen dieses ankämpfen, so z. B. die bayerischen Staatseisenbahnen; es ist aber doch jedenfalls zu empfehlen, auch den Stoßschwellenabstand durch Übergreifen der Laschen zu sichern.

§ 35. Mittel gegen das Lockern der Schraubenmuttern. — Bei allen Befestigungen spielt die Schraube mit Mutter eine große Rolle. Die von ihr

zu erfüllende Aufgabe ist äußerst wichtig, denn der feste Zusammenschluß der einzelnen Gleisteile beruht vielfach vorzugsweise auf der dauernd guten Wirkung der Schraubenmuttern. Aber gerade beim Oberbau treten in der rasch wechselnden Beanspruchung und in der oft wiederkehrenden Erschütterung der einzelnen Gleisteile der dauernd sicheren Wirkung der Schraubenmuttern besondere Erschwernisse entgegen.

Die Abmessungen der Schrauben und Muttern müssen daher so reichlich gewählt werden, daß sie nicht nur den gewöhnlichen Beanspruchungen, sondern auch den Stößen und Erschütterungen gewachsen sind; auch ist auf die Herstellung der Schraubengewinde eine besondere Sorgfalt zu verwenden. Da in dieser Hinsicht in neuerer Zeit merkbare Fortschritte in der Herstellung der Schrauben gemacht worden sind, so mag es möglich sein, daß besondere Schraubenmuttersicherungsmittel für die Folge bei ausreichend stark und sorgfältig hergestellten Schrauben entbehrlich sind, wie dies von Kohn angenommen wird[162]). Bisher hat man solche Sicherungsmittel aber in der Regel für notwendig gehalten und zahlreiche Formen dafür in Vorschlag gebracht und angewendet.

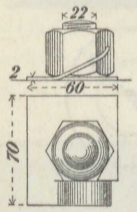
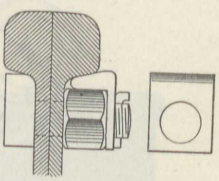


Abb. 149. 1 : 5.
Hoheneggersches Plättchen.



a. Keilplättchen mit Splint.

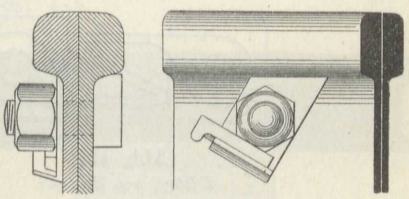


Abb. 150. 1 : 5.
b. Unterlagsscheibe mit Keil.

Am einfachsten und ältesten ist die Sicherung vermittelst eines vor die Mutter gesteckten Stiftes oder Splintes. Diese Sicherung ist aber nur in der ursprünglichen Lage der Mutter wirksam, jeder — unausbleibliche — Verschleiß der Oberbauteile, der ein Nachdrehen der Mutter notwendig macht, hebt deren Wirkung auf, eine dauernde Sicherung wird also nicht erzielt. Auch die Anwendung von Gegenmuttern hat sich nicht als ausreichend sicher erwiesen, da Doppelmuttern nicht wesentlich seltener nachgedreht werden mußten als die einfachen. Zudem ist deren Anwendung verhältnismäßig kostspielig und umständlich.

Hohenegger führte in den siebziger Jahren die nach ihm benannten Sicherungsplättchen (Abb. 149) ein, die ziemlich weite Verbreitung fanden und sich bei einigen Bahnen bis in die neueste Zeit erhalten haben. Das eingeschlitzte und aufgebogene Plättchen, das die Mutter bei jeder Sechsteldrehung gegen Zurückgehen sichert, wird aber unwirksam, wenn der aufgebogene Teil abbricht, was, begünstigt durch öfteres Auf- und Niederbiegen und Anrosten, leider nur zu häufig eintritt. Gleichfalls bei jeder Sechsteldrehung halten die von Haarmann eingeführten, in den Abbildungen 150a und 150b dargestellten Keilplättchen mit Splint und Unterlagescheiben mit Hakenkeilen die Schraubenmuttern fest[163]). Hierher gehört ferner noch die schon in Abbildung 140 vorgeführte Stellkappe von Kohn. Während die bisher beschriebenen Schraubensicherungen jede einzelne Mutter fest-

[162]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 547.
[163]) Haarmann, Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 244.

halten, sind in den Abbildungen 19 (S. 81) und 151 zwei Sicherungen dargestellt, die nur in der gegenseitigen Feststellung zweier Muttern wirksam sind. Die Zahl derartiger Sicherungsmittel ist groß und ihre Gestaltung sehr mannigfaltig; noch weitere Formen vorzuführen erscheint aber entbehrlich.

Weiter verbreitet als die Schraubensicherungen, die die Mutter nur in einer bestimmten Stellung festhalten, sind die Sicherungen, die die Mutter in jeder Lage festzuhalten vermögen, besonders die einfachen Federringe (Sprungringe, Growersche Ringe) (Abb. 152a), die beim Niederschrauben der Mutter zusammengedrückt werden und diese vermöge der Federkraft in Spannung und dadurch in fester Lage halten. Außer den einfachen Federringen werden auch Doppelfederringe (Abb. 152b) angewandt, sie sind aber bei weitem nicht so verbreitet, wie erstere und überhaupt erst in Anwendung gekommen, als sich die einfachen Ringe mancherorts nicht als ausreichend erwiesen. Die Federringe erfordern einen sehr guten, gleichmäßigen, mittelharten Stahl und werden bei ungeeignetem Stoffe rasch

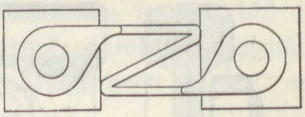
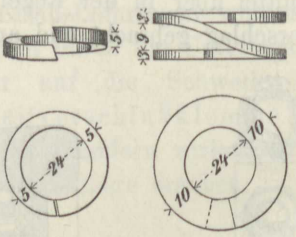


Abb. 151.
Z-Bügel von Mercer.



a. Abb. 152. b.
Federringe.

unwirksam, sei es, daß sie bei zu weichem Stahl ihre Federkraft verlieren oder bei zu hartem Stahl brechen. Letzteres tritt besonders dann leicht ein, wenn sich der Federring mit seiner scharfen Kante etwas in die Mutter eingefressen hat und diese gelockert oder gelöst werden soll. Bei Doppelfederringen sind nun diese Mißstände nicht in demselben Maße zu fürchten wie bei einfachen, letztere bewähren sich aber bei gutem Stahl sehr gut. Um ein Zurückdrehen der Muttern bei Federringen um so sicherer zu verhüten, hat man auch die von den Ringen berührten Flächen mit Zähnen oder Rippen versehen, solche in der Herstellung nicht ganz einfachen Hilfsmittel erscheinen aber entbehrlich.

An Stelle der Federringe werden in Nordamerika auch vielfach Kautschukringe ohne und mit Blechgehäuse verwendet, sie stehen aber in der Wirksamkeit und daher auch in der Verbreitung den Federringen nach[164]). Auch gebogene, federnde Unterlagescheiben oder Plättchen sind in Benutzung, ebenso federnde, aufgeschlitzte Muttern, die beim Niederschrauben eine starke Seitenpressung auf die Schraube ausüben, ferner keilförmige Ringe usw.[165]). Jacobi in Stettin hat als Ersatz für die Federringe eine aus schmiedbarem Guß hergestellte Unterlagsrippenscheibe eingeführt[166]), der gegenüber den Federringen als Vorzug nachgerühmt wird, daß sie auch bei größeren Bolzenlöchern anwendbar ist, während Federringe in diese hineinfallen oder sich in ihnen schiefstellen.

---

[164]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1885, S. 188.
[165]) Railroad Gazette 1895, S. 589.
[166]) Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 151.

Wie schon erwähnt, werden bei sorgfältig und ausreichend stark hergestellten Schrauben neuerdings besondere Sicherungsmittel von vielen Fachleuten für entbehrlich gehalten; die Schraubenmuttern müssen dann aber als sogenannte Bundmuttern hergestellt werden (Abb. 132, 133, 134, 140) mit einer breiten Aufsatzfläche, die etwa $^1/_2$ des Schraubendurchmessers als Ringbreite erhält, gegen noch nicht $^1/_3$ Ringbreite bei den Muttern mit Abkantungen. Die letztere Form war bei

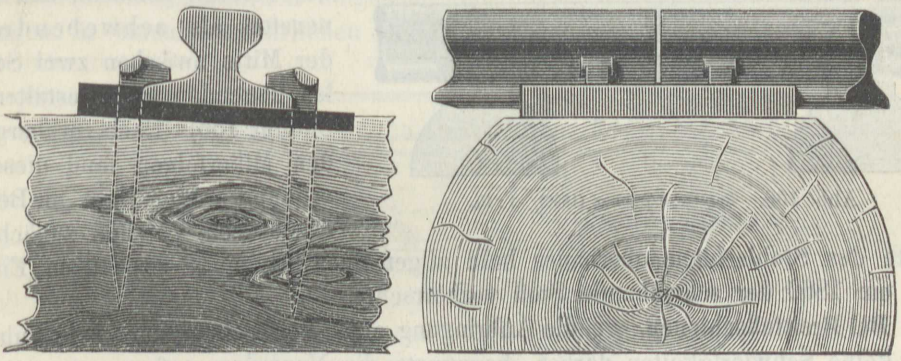


Abb. 153. Leipzig-Dresden (1838). 1 : 5.

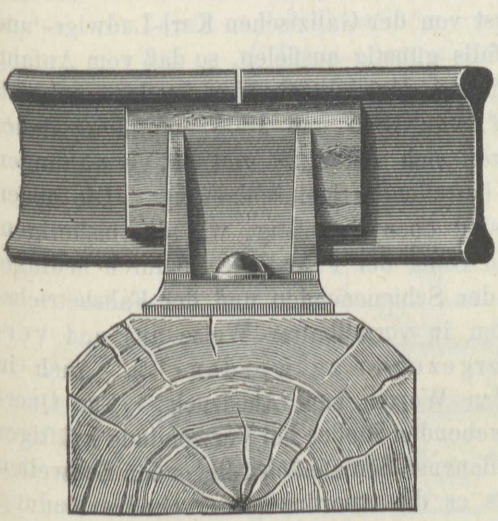


Abb. 154. London-Birmingham. 1 : 5.

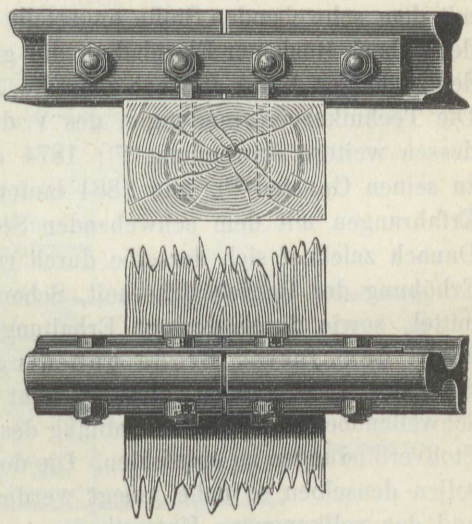


Abb. 155. Berlin-Hamburg (1856). 1 : 10.

Handschmiederei nicht zu umgehen, bei der heutigen Schmiederei in Gesenken sind aber derartige Bundmuttern zulässig und mit glatten ebenen Flächen, die allerdings verlangt werden müssen, unschwer herstellbar.

§ 36. Befestigung der Schienen untereinander; Schienenstofs; beim Langschwellenoberbau auch Schwellenstofs.

a. Stoßlage. — 1. Ruhender Stoß und schwebender Stoß. Bei den älteren Querschwellengleisen ruhten die beiderseitigen Schienenenden auf derselben Schienenunterlage, der Stoß war ein ruhender (fester) (Abb. 153 bis 155). Diese Stoßlage bewährte sich aber nicht; trotz der unmittelbaren Unterstützung der Schienenenden traten unter den Betriebslasten Verdrehungen und Einsenkungen des Ablaufendes ein, wodurch infolge der seitlichen und lotrechten Überstände des Anlaufendes

sowohl die Betriebsmittel, wie die Schienen starken Schlägen ausgesetzt wurden. Diesen Übelständen suchte man zwar durch Anbringung von Laschen abzuhelfen (Abb. 155), welche die Schienen zwischen Kopf und Fuß umfaßten und sowohl Umkantungen wie einseitiger Durchbiegung vorbeugen sollten; derartige Laschen ließen sich aber beim Stuhlschienenoberbau nur unter Benutzung besonders geformter Stoßstühle anbringen. Um diese zu vermeiden, wurde daher von 1847 an in England der Versuch gemacht, den Schienenstoß als schwebenden, in der Mitte zwischen zwei Schwellen liegenden auszugestalten (Abbildung 156). Nach vorübergehenden Mißerfolgen fand diese Anordnung wegen ihrer im Betriebe erwiesenen Vorzüge zunächst im Gebiete des Stuhlschienenoberbaues bald allgemeinen Eingang, so daß in England schon um 1860 der schwebende Stoß vorherrschte.

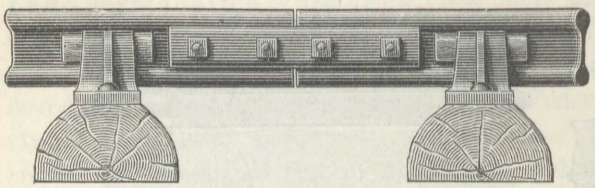


Abb. 156. Englische Bahnen (1850). 1 : 10.

Bei Breitfußschienen, wo die Anbringung einer Verlaschung auch beim ruhenden Stoße keine Schwierigkeiten darbot, begegnete die Neuerung anfangs einem unverkennbaren Mißtrauen; von 1856 ab wurden aber auch bei Breitfußschienen Versuche mit dem schwebenden Stoße angestellt (zuerst von der Galizischen Karl-Ludwigs- und der Lübeck-Büchener Eisenbahn), die gleichfalls günstig ausfielen, so daß vom Anfang der sechziger Jahre ab auch hier die Anordnung des schwebenden Stoßes zunimmt. Die Technikerversammlungen des V. d. E. V. von 1865 und 1868 empfahlen daher dessen weitere Anwendung[167]; 1874 erklären sich schon 29 von 30 Verwaltungen zu seinen Gunsten[168], und 1884 lautet die betreffende Schlußfolgerung: »Die neuen Erfahrungen mit dem schwebenden Stoße sind ebenso günstig, wie die bisherigen. Danach zeichnet sich derselbe durch ruhigen Gang der Fahrzeuge, dadurch bedingte Erhöhung der Betriebssicherheit, Schonung der Schienenenden und der Fahrbetriebsmittel, sowie durch geringe Erhaltungskosten in vorteilhafter Weise aus und verdient dem festen Stoße unbedingt vorgezogen zu werden«[169]. Auch in § 11 der T. V. kommt diese Ansicht in den Worten zum Ausdruck: »Für Querschwellenoberbau ist die Anordnung des schwebenden Stoßes bei Verwendung kräftiger Stoßverbindungen zu empfehlen. Die den Schienenstößen zunächst liegenden Schwellen sollen denselben so nahe gelegt werden, als es die Anordnung der Stoßverbindung und das vollkommene Unterstopfen gestattet.«

Das günstige Verhalten des schwebenden Stoßes dem ruhenden Stoße gegenüber ist dadurch zu erklären, daß trotz aller Verlaschungen ungleichmäßige Bewegungen der Schienenenden unter den Betriebslasten eintreten. Beim ruhenden Stoße wird die eine Schienenunterstützung sich mit der belasteten Ablaufschiene unter dem Rade senken, während die unbelastete Anlaufschiene sich von der Unterlage abhebt; sobald das Rad aber auf die Anlaufschiene übergeht, schlägt diese hammerartig auf die Stoßunterstützung nieder und führt dadurch sowohl für sich selbst, wie für die Unterlage sehr starke Beanspruchungen herbei. Beim schwebenden

167) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. I. Ergänz.-Bd. S. 43 bis 46; III. Ergänz.-Bd. S. 30.
168) Ebenda, V. Ergänz.-Bd. S. 12.
169) Ebenda, IX. Ergänz.-Bd. S. 67.

Stoße dagegen fällt dies hammerartige Aufschlagen weg und werden die lotrechten Kräfte stets auf mehrere Schwellen verteilt. Dadurch wird aber der Verschleiß der Gleisteile am Schienenstoß geringer als beim ruhenden Stoße, was natürlich nicht nur auf den Bestand des Gleises selbst, sondern auch auf die Schonung der Fahrzeuge günstig einwirkt.

Zu einem wesentlich anderen Ergebnisse kommt allerdings Ast, der die Frage des Schienenstoßes wiederholt eingehend behandelt und alle seine Studien und Erfahrungen in einem ausführlichen Bericht zusammengefaßt hat, den er zu dieser

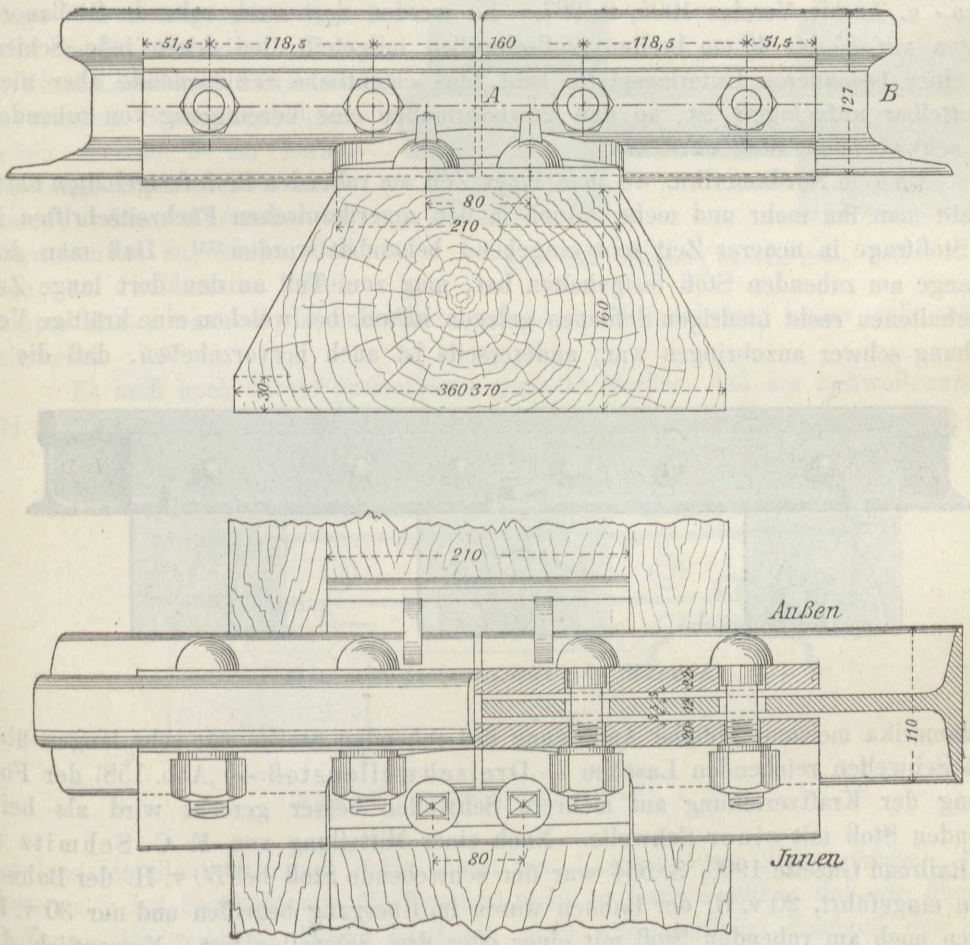


Abb. 157. Kaiser Ferdinands-Nordbahn.

Frage auf dem internationalen Eisenbahnkongreß von 1900 erstattete[170]). Er empfiehlt nachdrücklich zum ruhenden Stoß zurückzukehren und erwartet, besonders gestützt auf sehr günstige auf der Kaiser Ferdinands-Nordbahn mit diesem gemachten Erfahrungen, dadurch die gründliche Behebung der meisten in der Schienenstoßfrage zur Zeit noch ungelösten großen Schwierigkeiten. Insbesondere legt er dar, daß die

[170]) Bericht zu Frage II, Brüssel 1901. Siehe auch Bulletin de la commission internationale du congrès des chemins de fer 1900, S. 6327.

Biegungsspannungen, der Laschendruck und daher auch die Stufenbildung beim ruhenden Stoß geringer seien, als beim schwebenden, und daß es nur konstruktive Mängel gewesen seien, die den ruhenden Stoß seinerzeit in Mißkredit brachten. Tatsächlich ist auf seine Veranlassung die Kaiser Ferdinands-Nordbahn wieder zum ruhenden Stoß übergegangen (Abb. 157). Ob diese Anschauungen von Ast richtig sind, wird wohl nur durch die Erfahrung zu erhärten sein, einstweilen hat er unter den europäischen Fachleuten in dieser Hinsicht noch nicht viel Anhänger gefunden. Eine eingehende Darstellung über die neuen hierhergehörenden Vorschläge zur Lösung der Schienenstoßfrage, von Dr. F. Steiner, findet sich in der Zeitschr. des österr. Ingen.- u. Archit.-Vereins 1905, S. 227. Es werden dort auch ruhende Stoßanordnungen mit 35 bis 40 cm breiten Stoßschwellen mitgeteilt, bei denen jede Schiene auf einer besonderen Unterlagsplatte ruht, das eigentliche Schienenende aber nicht unmittelbar aufgelagert ist, so daß gewissermaßen eine Vereinigung von ruhendem und schwebendem Stoß entsteht.

Auch in Nordamerika, wo man lange Zeit am ruhenden Stoß festgehalten hatte, verläßt man ihn mehr und mehr. Auch in den amerikanischen Fachzeitschriften ist die Stoßfrage in neuerer Zeit sehr eingehend behandelt worden[171]). Daß man dort so lange am ruhenden Stoß festgehalten hat, mag zum Teil an den dort lange Zeit beibehaltenen recht niedrigen Schienen gelegen haben, bei welchen eine kräftige Verlaschung schwer anzubringen war; andererseits ist auch hervorzuheben, daß die in

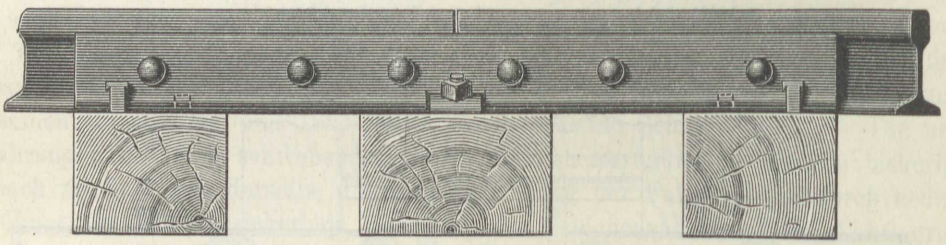


Abb. 158. New-York-Central-Bahn (1884). 1 : 10.

Nordamerika meistens übliche Anordnung des ruhenden Stoßes mit sehr langen über drei Schwellen reichenden Laschen — Dreischwellenstoß — (Abb. 158) der Forderung der Kraftverteilung auf mehrere Schwellen besser gerecht wird als beim ruhenden Stoß mit einer Schwelle. Nach einer Mitteilung von F. C. Schmitz in der Railroad Gazette 1900, S. 564 war der schwebende Stoß bei 50 v. H. der Bahnen schon eingeführt, 20 v. H. der Bahnen waren im Übergang begriffen und nur 30 v. H. hielten noch am ruhenden Stoß mit einer oder drei Schwellen fest. Namentlich die großen Verwaltungen sind allgemein zum schwebenden Stoß übergegangen, der auch von der Versammlung der Bahningenieure empfohlen wird[172]).

In den Abbildungen 159 bis 167 sind einige schwebende Stoßanordnungen älterer und neuerer Bauart dargestellt. Es ist daraus das Bestreben ersichtlich, den Abstand der Stoßschwellen möglichst zu verringern. Wie weit man darin gehen kann ohne ein festes Unterstopfen der Schwellen zu beeinträchtigen, kann nur die

---

171) Railroad Gazette 1900, S. 564, 668 und 684; Aufsatz von F. C. Schmitz, Engineering News 1904, S. 261.

172) Engineering News 1904, S. 261.

Erfahrung lehren. Ast hält bei Holzschwellen hierfür einen Mindestmittenabstand von 47 cm für notwendig, der auf 39 cm verringert werden kann, wenn die Holzschwellen innen um je 8 cm abgekantet sind[173]). Tatsächlich ist die Gotthardbahn zeitweise bis auf 34 cm herabgegangen, ohne daß sich Mißstände gezeigt hätten[174]), sie hat, allerdings bei Eisenschwellen, neuerdings 35,6 cm allgemein eingeführt und die Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen sowie die bayerischen Staatseisenbahnen gehen bis zu 34 cm herab. Immerhin wird es sich empfehlen, den Abstand der Schwellen so zu wählen, daß man sie beiderseits unterstopfen kann, was bei Holzschwellen und 34 cm Mittenabstand kaum mehr möglich sein wird.

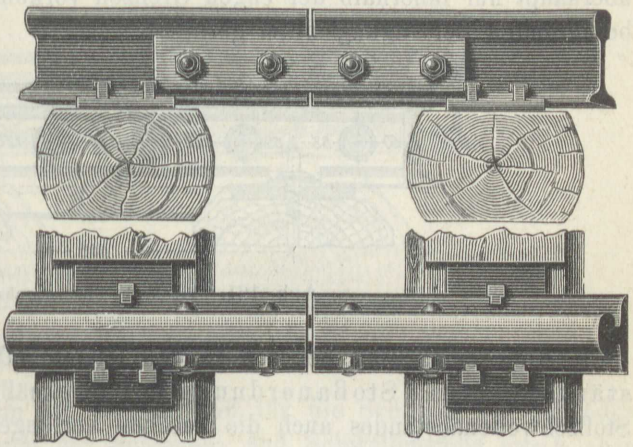
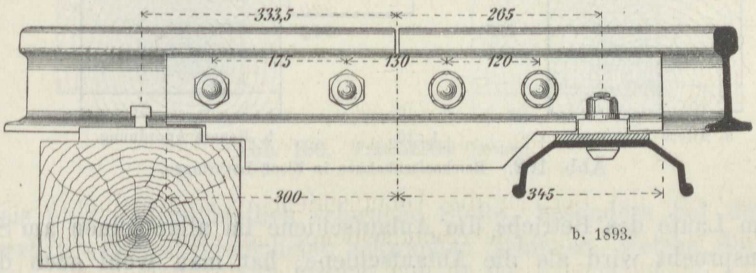


Abb. 159. Sächsische Westbahn (1860). 1 : 10.

Es muß noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß der Schwellenabstand bei Breitfußschienen kleiner gewählt werden kann, als bei Doppelkopfschienen, weil



a. 1885. b. 1893.

Abb. 160. Preußische Staatseisenbahnen. 1 : 10.

bei letzteren die Stühle und Keile neben den Laschen Platz finden müssen. Auch lassen sich bei Stuhlschienen die Laschen nicht so lang machen, daß sie über die Stoßschwellen reichen. Hierin liegt ein nicht unwesentlicher Nachteil des Stuhlschienenoberbaues gegenüber dem Oberbau mit Breitfußschienen. Denn eine möglichst enge Stoßschwellenlage ist für den sicheren Bestand eines Gleises von wesentlichstem Belang, ebenso die Sicherung dieser Lage gegenüber dem Bestreben der Schienen zu wandern. Die genaue Erhaltung des Schwellenabstandes und der Lage der Schwellen zu den Schienenenden und den Laschen — der Stoßteilung, Stoßanordnung — wird aber am wirksamsten dadurch erreicht, daß sich die Laschen

173) Bericht über die Frage II der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Brüssel 1901 und Bulletin de la commission internationale 1900, S. 6327.

174) Mitteilung der Direktion der Gotthardbahn an den Verfasser.

über die Schwellen erstrecken und hier die Befestigungsmittel umfassen (Abb. 160b, 161, 162b, 163 bis 166), denn bei solchen Anordnungen können Längsverschiebungen überhaupt nur innerhalb der engen Grenzen vorkommen, die der Spielraum der sich berührenden Befestigungsmittel gestattet.

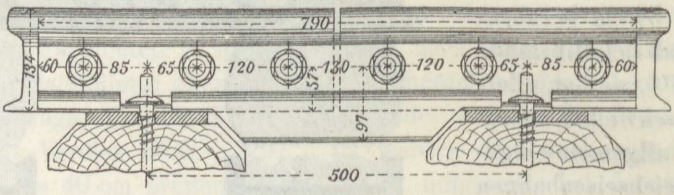
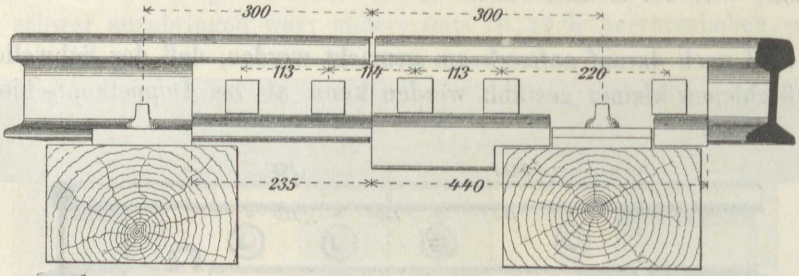


Abb. 161. Preußische Staatseisenbahnen (1899).

Demgemäß sind bei den in den letzten Jahren vielerorts eingeführten Verstärkungen der Stoßanordnung fast regelmäßig neben einer Verminderung des Stoßschwellenabstandes auch die Laschen verlängert und so gestaltet worden, daß sie die Befestigungsmittel umfassen und dadurch dem Wandern kräftig entgegenwirken, wie dies aus den mitgeteilten Abbildungen zu ersehen ist.



a. Ältere Anordnung. 1 : 10. b. Neuere Anordnung.

Abb. 162. Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen.

Da im Laufe des Betriebs die Anlaufschiene im allgemeinen am Schienenstoß stärker beansprucht wird als die Ablaufschiene, hat man wohl auch den Versuch gemacht, den Stoß unsymmetrisch zu den Schwellen anzuordnen. So hat z. B. die französische Ostbahn bei einem Mittenabstand der Stoßschwellen von 48 cm die Stoß-

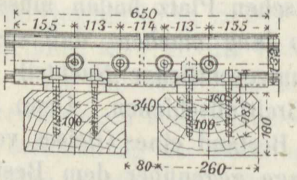


Abb. 163.
Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen.

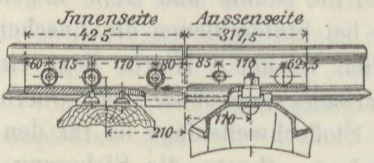
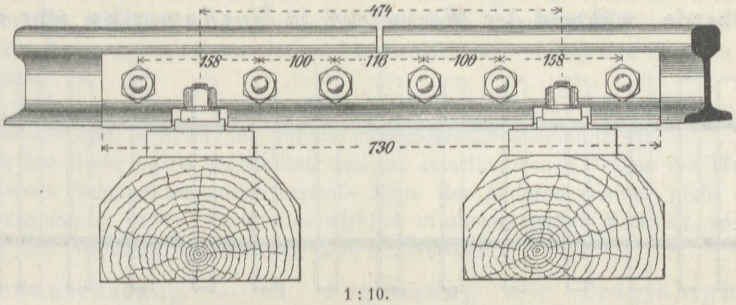


Abb. 164.
Bayerische Staatseisenbahnen.

fuge in der Fahrrichtung um 8,5 cm aus der Mitte verschoben, so daß die Stoßschwellen 32,5 cm und 15,5 cm vom Stoße ablagen. Diese Anordnung hat sich aber nach dem oben genannten Bericht von Ast nicht bewährt.

Zur Zeit der Einführung des Langschwellenoberbaues durch Hilf war man beim Querschwellenoberbau schon zum schwebenden Stoß übergegangen; es war

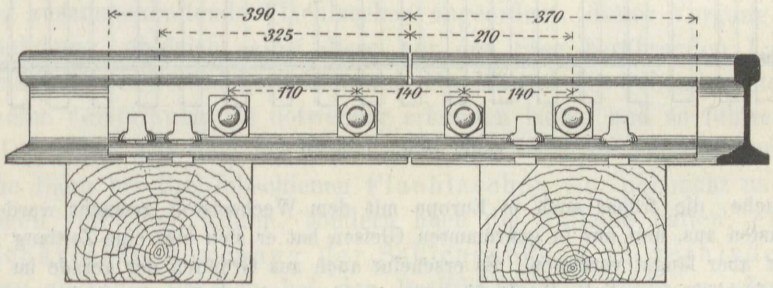
daher naheliegend, diesen auch beim Langschwellenoberbau anzuwenden. Das geschah sowohl durch Hilf, wie durch Hohenegger und Haarmann ursprünglich, indem sie die Stöße der Schienen und Langschwellen zusammenfallen ließen. Menne da-



1 : 10.

Abb. 165. Kaiser Ferdinands-Nordbahn (1894).

gegen versetzte 1876 die Stöße um 500 mm, so daß für die Schienen ein ruhender Stoß entstand. Das Zusammenlegen der Schienen- und Schwellenstöße ergab aber



a. Ältere Anordnung. 1 : 10. b. Neue Anordnung.

Abb. 166. Französische Ostbahn.

für das Gleis eine außerordentlich schwache Stelle, besonders bei den im Langschwellenoberbau anfangs verwendeten schwachen Schienen, welche die Anbringung

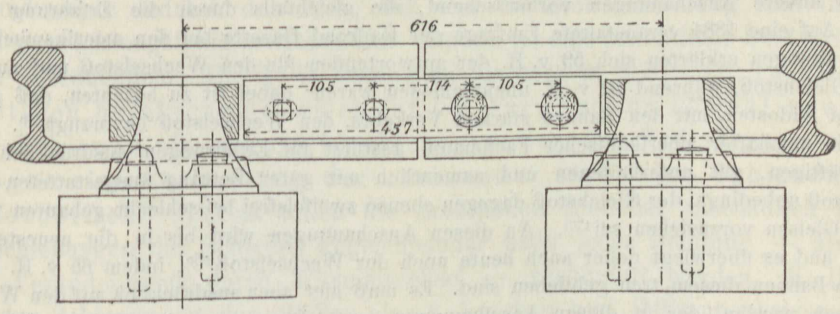


Abb. 167. Lancashire and Yorkshire-Eisenbahn.

kräftiger Laschen erschwerten. Diesem Mangel ist später sowohl durch eine Unterstützung des Schwellenstoßes durch Querschwellen, wie durch die Anbringung von Schwellenlaschen abgeholfen worden.

2. Gleichstoß und Wechselstoß. Man pflegt die Stöße der beiden zu einem Gleis gehörigen Schienenstränge entweder unmittelbar gegenüber (Abb. 168) — als Gleichstoß — oder im Verbande um halbe Schienenlänge versetzt (Abb. 169) — als Wechselstoß — anzuordnen. Die erste Anordnung ist in Europa die fast allein herrschende, während der Wechselstoß in Nordamerika sehr verbreitet ist.

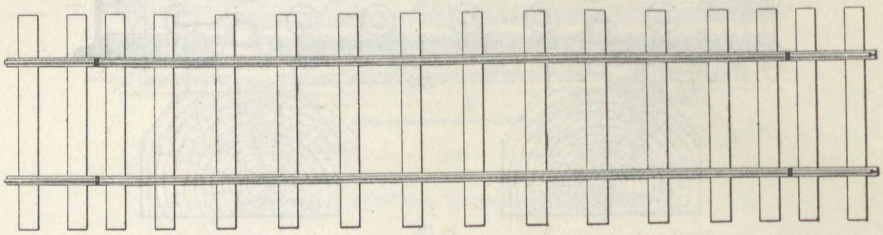


Abb. 168. Gleichstoß.

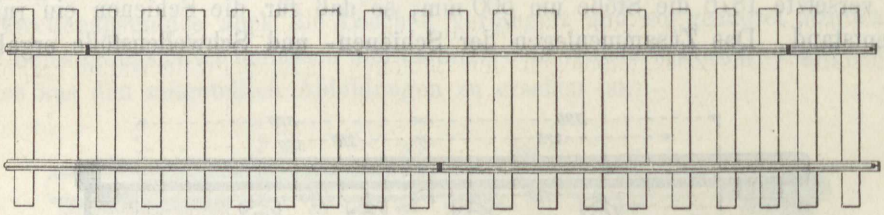


Abb. 169. Wechselstoß.

Versuche, die früher auch in Europa mit dem Wechselstoß gemacht wurden, fielen zu dessen Ungunsten aus, und nur in gekrümmten Gleisen hat er sich hier eine Zeitlang zu behaupten vermocht, ist aber längst verlassen. Es erscheint auch aus Gründen der gerade im Oberbau notwendigen Einfachheit untunlich, die Stoßlage in geraden und gekrümmten Gleisen verschieden anzuordnen, denn es würde das in krümmungsreichen Strecken zu einer Unzahl von Übergangsstellen mit Schienen abweichender Länge führen. Nach den T. V. sind in Krümmungen Wechselstöße zwar zulässig (§ 9), tatsächlich kommen sie aber im Gebiete des V. d. E. V. nur vereinzelt vor.

Die Wechselstöße sollen einen unruhigen Gang der Fahrzeuge veranlassen, ohne die Festigkeit des Gleises in der Querrichtung zu erhöhen[175], weil die Räder derselben Achse abwechselnd den mit jedem gewöhnlichen Schienenstoß unvermeidlichen Schlag erleiden. In Nordamerika sind allerdings andere Anschauungen vorherrschend, die gleichfalls durch die Erfahrung begründet werden. Auf eine 1884 veranstaltete Umfrage der Railroad Gazette bei den amerikanischen Eisenbahnverwaltungen erklärten sich 59 v. H. der antwortenden für den Wechselstoß und nur 31 v. H. für den Gleichstoß, während 10 v. H. unentschieden waren; dabei ist zu beachten, daß gerade der Osten und Südosten, mit den Bahnen starken Verkehrs, den Wechselstoß bevorzugt[176]. Und 1888 erklärt ein namhafter amerikanischer Fachmann, gestützt auf Erfahrungen, ausdrücklich, daß bei einem kräftigen, gut unterhaltenen und namentlich mit guter Bettung ausgestatteten Gleis der Wechselstoß unbedingt, der Gleichstoß dagegen ebenso zweifelsfrei bei schlecht gebauten und unterhaltenen Gleisen vorzuziehen sei[177]. An diesen Anschauungen wird bis in die neueste Zeit festgehalten, und es überwiegt daher auch heute noch der Wechselstoß[178], indem 65 v. H. der amerikanischen Bahnen diesem treu geblieben sind. Es muß hier aber ausdrücklich auf den Widerspruch hingewiesen werden, der in diesen Anschauungen liegt. Denn wenn der Gleichstoß bei schlecht

[175] Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1869, S. 19; Weber, Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise, Weimar 1869, S. 74; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. Ergänz.-Bd. 1884, S. 66.

[176] Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 26.

[177] Ebenda 1888, S. 372.

[178] Engineering News 1900, S. 131; Railroad Gazette 1900, S. 564.

gebauten und unterhaltenen Gleisen sich zu behaupten vermag, würde er bei gut gebautem und unterhaltenem Gleis doch erst recht sich bewähren müsssn.

Diese entgegengesetzten, beiderseits auf Erfahrungen gegründeten Anschauungen dürften z. T. wohl in der verschiedenen Bauart der Betriebsmittel ihre Ursache haben. Bei den, wenigstens in Güterzügen, vorherrschend zweiachsigen europäischen Wagen ist allerdings beim Wechselstoß ein Schwanken um die wagerechte Längsachse zu befürchten, worunter das Gleis stark leiden muß; die amerikanischen Fahrzeuge mit ihren vier- und sechsrädrigen Drehgestellen dagegen lassen solche Schwankungen kaum zu.

Die französische Ostbahn hat 1889 eine Versuchsstrecke mit verwechseltem Stoß bei 12 m langen Schienen und 16 Schwellen auf die Schienenlänge ausgeführt[179].

Übrigens hat Haarmann beobachtet, daß bei amerikanischen Gleisen mit Wechselstoß die dem Stoß der einen Schiene gegenüberliegende Mitte der anderen Schiene nicht selten niedergefahren oder ausgefahren ist[180]. Trifft dies wirklich in ausgedehntem Maße zu, so wäre der angebliche Vorzug der Wechselstöße doch ein sehr fragwürdiger.

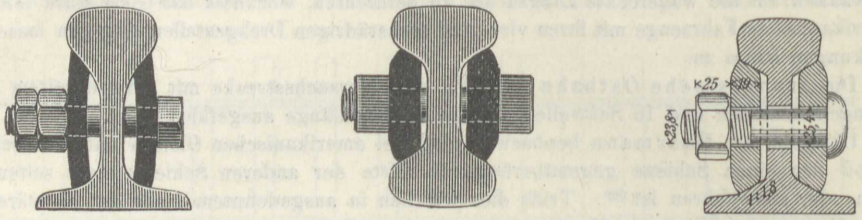
b. Stoßausrüstung. — 1. Ergänzung der Tragfähigkeit durch Laschen. — α. Laschenquerschnitt. Bei dem ruhenden Stoße mit Breitfußschienen ohne Laschen waren die Schienenenden gegen seitliche Verschiebungen und Ausbiegungen ungenügend geschützt, weil nur der Schienenfuß von den Befestigungsmitteln seitlich festgehalten wurde. Um diesem Übelstande abzuhelfen, hatte zwar schon Stevens 1832 beim Bau der Bahn Camden-Amboy kurze, lediglich den Schienensteg zusammenhaltende Flachlaschen angeordnet, dieser Vorgang fand aber keine Nachahmung, obgleich selbst diese nur den Steg berührenden Laschen eine gewisse Steifigkeit des Stoßes herbeiführten. Die Mängel des ruhenden Stoßes hatten inzwischen eine Verstärkung als notwendig erkennen lassen und so führten 1847 die Eisenbahn Düsseldorf-Elberfeld bei Pilzschienen und 1848 die Köln-Mindener und die hannöversche Bahn bei Breitfußschienen Flachlaschen ein, die nicht nur seitlichen Ausweichungen vorbeugen sollten, sondern auch die Aufgabe hatten, eine unabhängige senkrechte Bewegung der Schienenenden zu verhindern. Demgemäß legten sich die Laschen bei den Breitfußschienen nicht an den Steg an, sondern waren zwischen Fuß und Kopf durch vier bezw. drei Schrauben eingespannt. Die Erfahrungen mit dieser Stoßanordnung waren verhältnismäßig sehr günstige, trotz der Beibehaltung des ruhenden Stoßes und der für eine gute Unterstützung des Schienenkopfes wenig geeigneten Birnenform desselben. Zur selben Zeit machte man in England Versuche mit schwebendem Stoß und mit schärfer unterschnittenen Köpfen und zeigte dadurch den Weg, auf dem die Stoßverlaschung sich in hohem Maße als entwicklungsfähig erwiesen hat. Zurzeit ist eine ordentliche Stoßverlaschung allgemein gebräuchlich. Die T. V. bestimmen hierüber in § 10: »1. In allen von Lokomotiven befahrenen Gleisen ist bei Verwendung sowohl von breitfüßigen Schienen als von Stuhlschienen außer der Befestigung auf den Unterlagen eine Verbindung der aneinander stoßenden Schienen unter sich erforderlich. Hierbei sollen die Stoßlücken tunlichst unschädlich gemacht und Verschiebungen der Schienen gegeneinander nach jeder Richtung — abgesehen von den Veränderungen durch Wärmewechsel — verhindert werden. 2. Bei Verbindung der Schienen an den Stößen durch Laschen und Schraubenbolzen werden eine über die beiden Stoßschwellen hinausgehende Laschenlänge, breite Laschenanlageflächen von nicht zu großer Neigung und eine Verbindung durch mindestens

[179] Revue générale des chemins de fer, Januar 1890, S. 33.

[180] Haarmann, Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 269.

vier Schraubenbolzen, sowie Vorrichtungen gegen das Lockern der Schraubenmuttern empfohlen.«

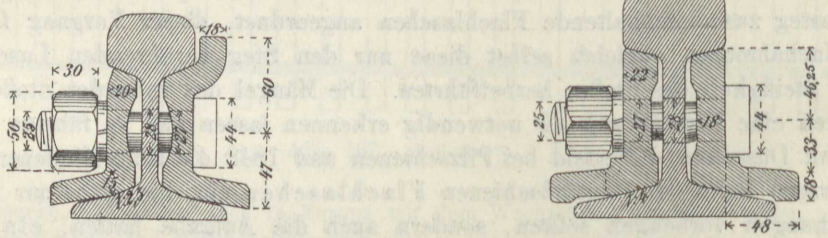
In Abbildung 170 sind die Querschnitte von Flachlaschenanordnungen dargestellt, die den Übergang von der Birnenform zur scharf unterschnittenen Kopf-



a. Köln-Mindener-Bahn (1858). b. Englische Bahnen (1850). c. Main-Neckarbahn (1858 bis 1889).

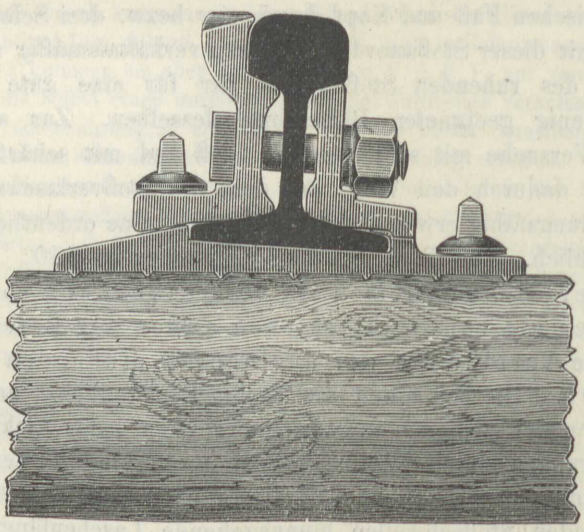
Abb. 170a bis c. 1 : 5.

form erkennen lassen und auch die damit Hand in Hand gehende Verstärkung der Laschen und der Laschenschrauben zeigen. Die Unterschneidung des Kopfes ist demnächst besonders in Deutschland noch bedeutend weiter getrieben worden, so



1 : 5. 1 : 5.

a. Für Haupt- und Nebenbahnen, ältere Anordnung. b. Für Schienen von 1880.

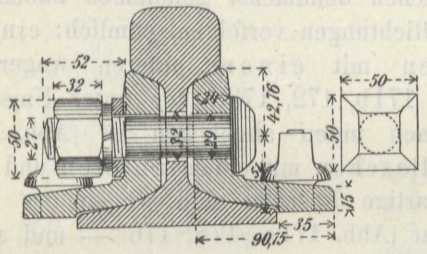


c.

Abb. 171. Sächsische Staatseisenbahnen.

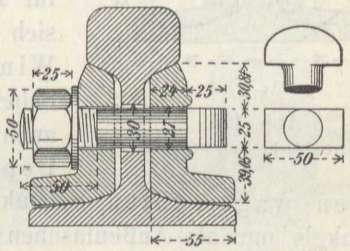
daß schließlich Neigungen der Laschenanlageflächen bis zu 1 : 4 und 1 : 5 zur Einführung gelangten. Aber obgleich dadurch die Wirkung der Laschen wesentlich

erhöht wurde, so konnten Flachlaschen der Aufgabe der Laschenverbindung: Tragfähigkeit und Steifigkeit im Schienenstoß ebenso groß zu erhalten, wie in der Schiene selbst und unabhängige seitliche und senkrechte Bewegungen der Schienenenden wo möglich zu verhindern, doch nicht genügen, weil ihr Querschnitt, sowie Widerstands- und Trägheitsmoment erheblich unter den betreffenden Werten für die Schiene blieben und die bei jedem Schienenstoß überhaupt unvermeidlichen selbständigen Bewegungen der beiden Schienenenden um so größer werden, je weniger



1 : 5.

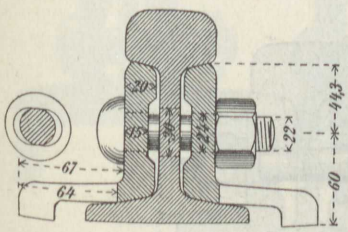
Abb. 172. Französische Ostbahn (1889).



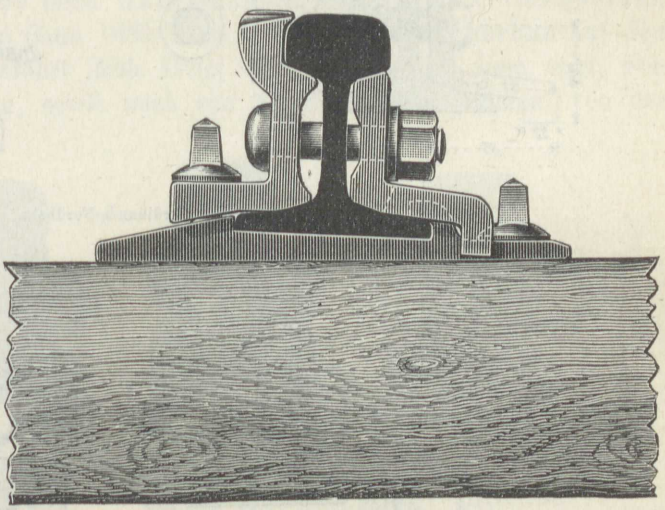
1 : 5.

Abb. 173. Französische Nordbahn (1888).

widerstandsfähig die Laschen sind. Es mußte daher auf eine weitere Verstärkung der Laschen Bedacht genommen werden und diese ist erreicht durch den Übergang zu Winkellaschen.



1 : 5.
a 1892.

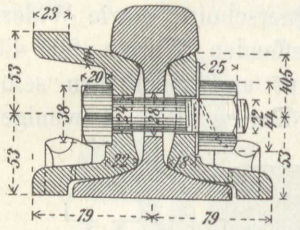


b 1900.

Abb. 174. Bayerische Staatsbahn.

Winkellaschen wurden zunächst beim Stuhlschienenoberbau der westfälischen Bahn angewandt, 1850; sie entsprangen aber nicht dem Bedürfnisse, den durch Flachlaschen ungenügend gedeckten Stoß zu verstärken, denn diese Notwendigkeit war damals noch nicht klar erkannt, sondern sie sollten die Anordnung besonderer Stoßstühle entbehrlich machen und eine bessere Verbindung der beiden Stuhlschienenenden gewährleisten, als sie sonst bei ruhendem Stoße möglich war. Da die Anordnung mit den durch die Laschen gesteckten Nägeln sich zugleich als ein recht wirksames Mittel gegen das Wandern erwies, so fand sie bei Stuhl- und Breitfußschienen mehrfach Nachahmung. Und als beim späteren Übergang zu Stahlschienen

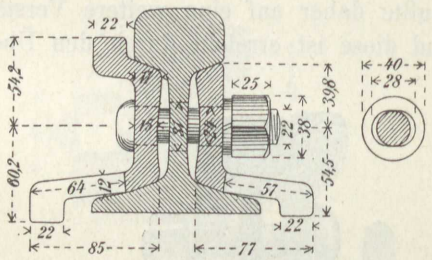
sich die Einklinkungen der Schienenfüße als gefährlich zeigten, weil sie die Bruchgefahr steigerten, so wurden die Winkellaschen als ein willkommenes Mittel betrachtet, um dem Wandern entgegenzuwirken, und ihre zunehmende Verbreitung ist diesem Gesichtspunkte wohl in ebensolchem Maße zu verdanken, wie dem Wunsche einer Verstärkung.



1 : 5.

Abb. 175.
Österreichische Nordwestbahn.

Die Weiterentwicklung, welche die Winkellaschen für Breitfußschienen demnächst genommen haben, läßt sich nach drei Richtungen verfolgen, nämlich: einfache Winkellaschen mit einem unteren wagerechten Schenkel (Abb. 171b, 172, 173), der unter Umständen auch etwas nach unten abgebogen ist (Abb. 174a); Doppelwinkellaschen mit einem unteren und einem oberen wagerechten Schenkel — derartige Laschen sind wegen des oberen Schenkels nur als Außenlaschen verwendbar (Abb. 171a, 175, 176) — und endlich Doppelwinkellaschen mit einem unteren wagerechten und einem tiefgehenden senkrechten Schenkel (Abb. 178, 179, 180b, 181).



1 : 5.

Abb. 176.
Schwebender Stoß (1894).

Kaiser Ferdinands-Nordbahn.

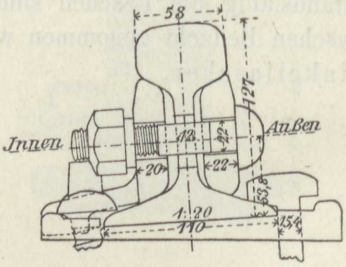
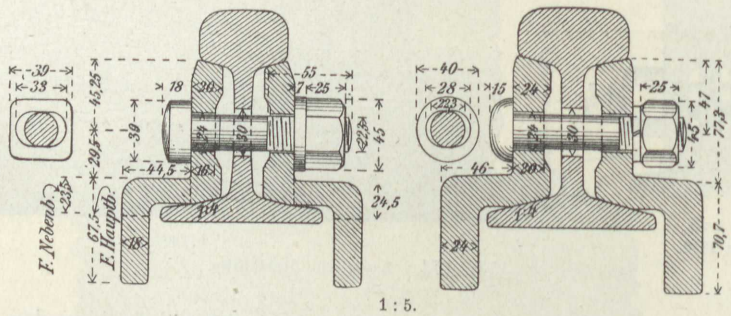


Abb. 177.
Ruhender Stoß (1902).



1 : 5.

a Schiene von 1885 mit Anordnung von 1893. b Schiene von 1890.

Abb. 178. Preußische Staatseisenbahnen.

Mehrfach sind von Eisenbahnen die Winkellaschen nur an der Außenseite angebracht worden (Abb. 180a); das Ungenügende einer solchen Verbindung ist aber immer allgemeiner erkannt worden. In den ungleich steifen und widerstandsfähigen Laschen müssen ungleiche Pressungen und Spannungen entstehen, die zu ungleichen Abnutzungen an den Berührungsflächen und dadurch zu einer Schwächung der Stoßverbindung führen. Dasselbe gilt, wenn auch in geringerem Maße, von Laschen-

anordnungen mit ungleichartig gestaltetem Querschnitte an der Innen- und Außenseite (Abb. 171a, 175, 176). Laschen mit oberem bis zu dem Schienenkopf aufragenden Schenkel können auf Bahnhöfen nicht überall verwendet werden, weil die im Verschiebedienst verwendeten Hemmschuhe, die den Schienenkopf mit Führungslappen umfassen, an dem oberen Laschenteile hängen bleiben. Auch dieser Umstand spricht da ür, innen und außen Laschen derselben Form zu verwenden, und dies führt zu den Laschen der zu dritt gedachten Art.

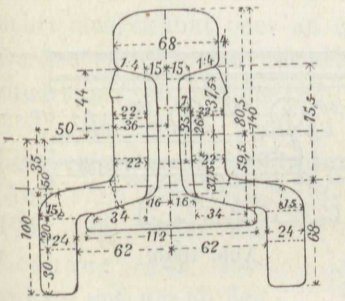
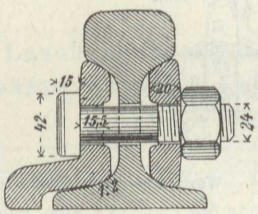
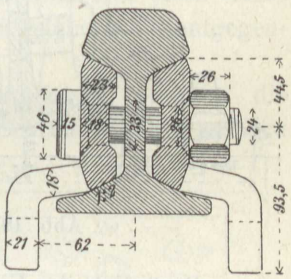


Abb. 179.
Österreichische Staatseisenbahnen.



a Ältere Anordnung.

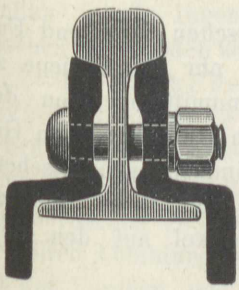


1 : 5.

b 1893.

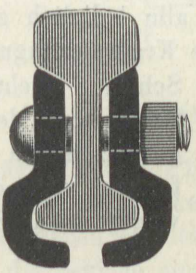
Abb. 180. Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen.

Diese fanden zuerst 1880 beim Haarmannschen Langschwellenoberbau Anwendung (Abb. 181), wurden dann 1885 beim Querschwellenoberbau auf den preußischen Staatsbahnen eingeführt (Abb. 178a) und sind später dann auch von anderen deutschen Eisenbahnen, sowie auch von österreichischen Bahnen, von der



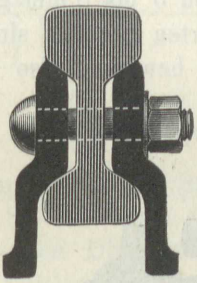
1 : 5.

Abb. 181.
Haarmann (1880).



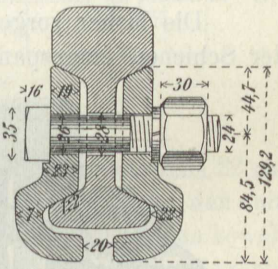
1 : 5.

Abb. 182.
Englische Midlandbahn (1888).



1 : 5.

Abb. 183.
Französische Westbahn (1889).



1 : 5.

Abb. 184.
Badische Staatseisenbahnen (1893).

Gotthardbahn, der holländischen Bahn u. a. angenommen worden. Sie besitzen eine große Tragfähigkeit und Steifigkeit und können je nach der Länge und Stärke des untersten Schenkels dem Bedürfnis entsprechend leicht verstärkt oder verschwächt werden.

Eine eigenartige Stoßanordnung ist die in Abb. 185 dargestellte, von den württembergischen Staatsbahnen auf der Strecke Untertürkheim-Kornwestheim angewendete. Hier ist die kräftige Unterlagshakenplatte in einer Länge von 565 mm von Stoßschwelle zu Stoßschwelle durchgeführt und bildet so gewissermaßen eine Stoßbrücke (siehe 4, S. 240).

Bei Doppelkopfschienen sind ähnliche Laschenformen, oder solche, die mit ihrem unteren Schenkel im Bogen um den Unterkopf herumreichen, in Benutzung (Abb. 182 bis 184). Die eigenartige Stoßkonstruktion der badischen Staatseisenbahnen für die in Stühlen gelagerten Breitfußschienen ist schon in Abb. 112 und 113 (S. 189, 190) dargestellt und auch dort besprochen.

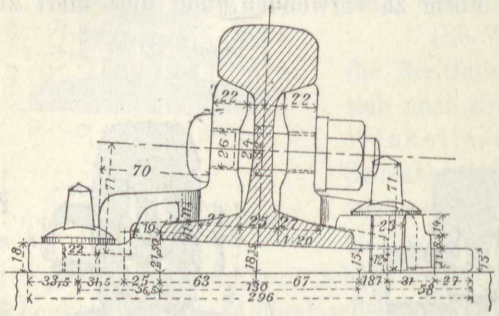


Abb. 185a. Württembergische Staatseisenbahnen.

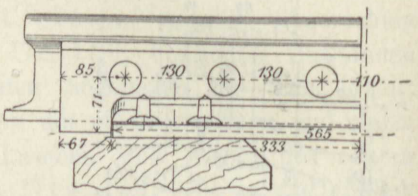
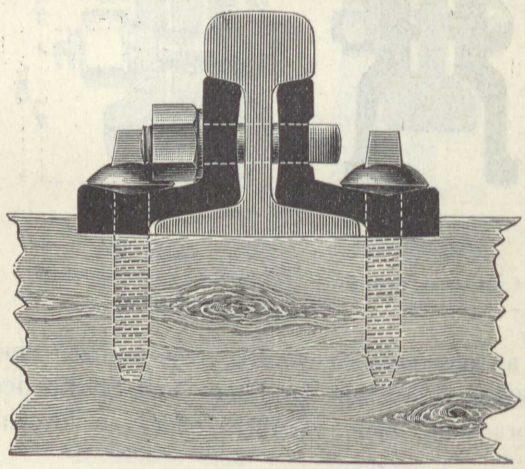


Abb. 185b.

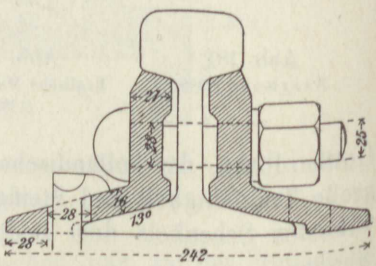
Bezüglich der Einzeldurchbildung weichen die Laschenformen stark voneinander ab, in neuerer Zeit ist aber überall das Bestreben wahrnehmbar, die Anlageflächen durch Verbreiterung der Laschen an den betreffenden Stellen und durch möglichst scharfkantige Abrundung zu vergrößern. Zwischen den Laschen und dem Schienensteg muß ein gewisser Spielraum vorhanden sein, damit die Laschen bei Herstellungsfehlern und Abnutzung der Anlageflächen vermittels der Laschenschrauben näher zusammengezogen werden können, ohne den Schienensteg zu berühren. Dieser Spielraum sollte um so größer sein, je flacher die Neigung der Anlageflächen ist, und wird zu 3 bis 8 mm gewählt.

Die bisher vorgeführten Laschen sind alle lediglich zwischen Kopf und Fuß der Schienen eingespannt, bewirken also die Kraftübertragung nur von Schiene zu Schiene, nicht unmittelbar von der Schiene auf deren Unterlage. Im Gegensatz hierzu kommen auch Laschenformen vor, die mit ihrem unteren wagerechten Schenkel auf den dem



1 : 5.

Abb. 186. Belgische Staatseisenbahn (1886).



1 : 5.

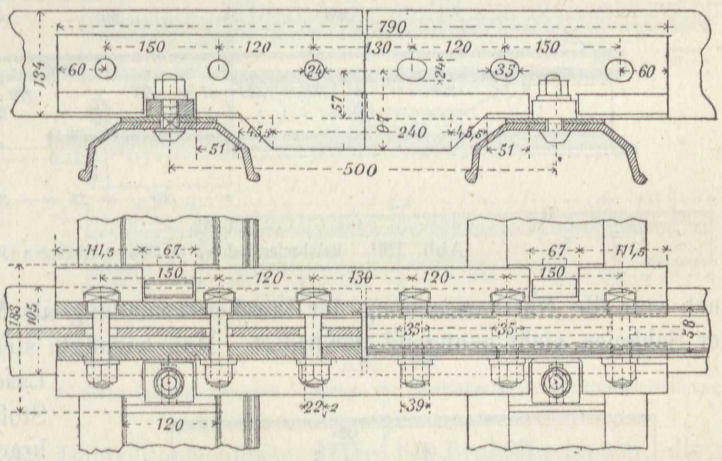
Abb. 187. Amerikanische Bahnen.

Schienenstoße benachbarten Schwellen aufsitzen, also die Kräfte unmittelbar auf diese übertragen sollen (Abb. 186 und 187). Es erscheint aber fraglich, ob diese unmittelbare Kräfteübertragung auf die Schwellen tatsächlich erreicht wird, denn, da

die Laschen zugleich in gewöhnlicher Weise zwischen Kopf und Fuß der Schienen eingespannt sind, so kann die Wirkungsweise solcher Laschen nicht wesentlich von der der anderen Art abweichen, auch ist ein gleichmäßiges sattes Aufsitzen der Laschen auf den Schwellen, besonders bei Herstellungsungenauigkeiten, nicht immer gesichert.

β. Bearbeitung der Laschen; Laschenschrauben. — Die Laschen müssen zur Aufnahme der sie einspannenden Laschenschrauben gelocht, sowie auch zur Aufnahme der sie durchdringenden oder in sie eingreifenden Befestigungsmittel durchbohrt, ausgeklinkt oder an einzelnen Stellen abgeschnitten werden. Auf diese Weise werden sie dienstbar gemacht, dem Wandern der Schienen (siehe § 37) entgegenzuwirken (Abb. 188 bis 192).

Um einem Drehen der Laschenschrauben vorzubeugen, erhalten die Laschen entweder besondere Ansätze, an welche sich die Schraubenköpfe anlegen (Abb. 171 b, 172, 173, 173, 175), oder die Lochung der Laschen und der an den Schraubenkopf anschließende Teil des Laschenschraubenschaftes erhalten rechteckigen oder länglichrunden Querschnitt, so daß die Lochung (Abb. 188, 190, 191) der Außen- und Innenlaschen verschieden ist.



1 : 10.

Abb. 188. Preußische Staatseisenbahnen (1899).

Die Stärke der Laschenschrauben wurde früher vielfach unzureichend gewählt; zurzeit wird für Hauptbahnen eine Stärke von mindestens 22 mm für notwendig gehalten, größere Stärken bis zu 27 mm sind aber, wie aus den mitgeteilten Abbildungen zu ersehen ist, nicht selten. Die Laschenschrauben müssen sowohl in den Laschen, wie in der Schiene einen Spielraum haben, den man in den Laschen zu 2 bis 3 mm und in der Schiene, je nach deren Länge, so groß bemißt, daß sie sich bei Wärmeänderungen ausdehnen und zusammenziehen kann, ohne die Laschenschrauben zu berühren. Die T. V. bestimmen hierüber in § 10[3]: »Bei den Stoßverbindungen ist auf die durch Wärmewechsel entstehenden Veränderungen der einzelnen Teile des Oberbaues Rücksicht zu nehmen.« Bei 12 m langen Schienen pflegt dieser Spielraum zu etwa 9 bis 12 mm bemessen zu werden. Die Löcher in den Schienen werden entweder in der dadurch gegebenen vollen Weite kreisrund (Abb. 188, 189), oder in der Art länglichrund hergestellt, daß die Lochhöhe wenigstens noch einen Spielraum von beiderseits etwa 2 mm zuläßt, um ein Berühren zwischen Schienensteg und Laschenschraube jedenfalls zu vermeiden.

Der Lockerung der Laschenschraubenmuttern sucht man durch sorgfältigste Herstellung der Schraubengewinde und durch Federringe oder Bundmuttern entgegenzuwirken (siehe § 38).

Die Laschen werden durch vier oder sechs Laschenschrauben mit den Schienen verbunden. In früherer Zeit war die große Bedeutung einer ausreichenden Laschenlänge für die Tragfähigkeit und Steifigkeit des Stoßes noch nicht genügend erkannt;

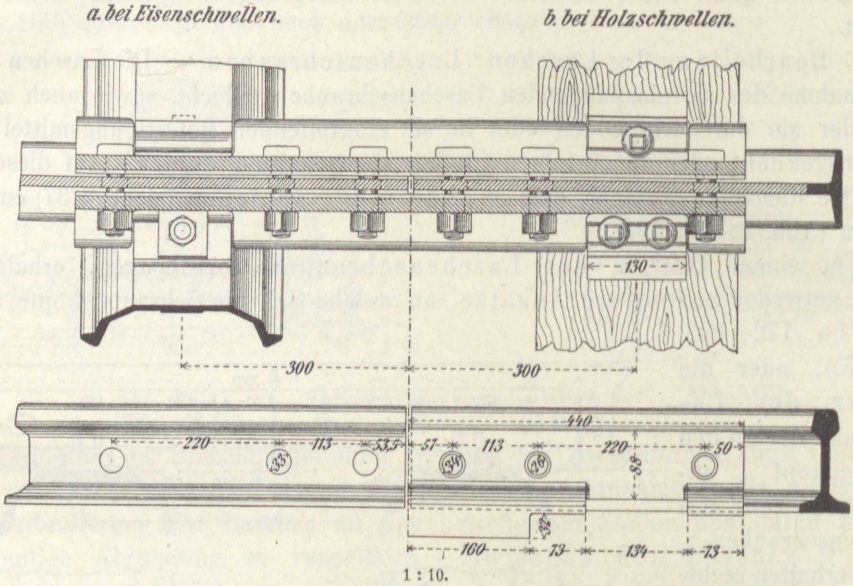


Abb. 189. Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen (1893).

auch war die Nutzbarmachung der Laschenverbindung als Mittel gegen das Wandern der Schienen nicht genügend gewürdigt. Man begnügte sich daher in der Regel mit Laschen, die nur bis zu den Stoßschwellen reichten, und brachte nur vier Laschenschrauben an. Mit der fortschreitenden Erkenntnis der großen Vorzüge langer Laschen[181]) nahm aber deren Verbreitung zu. Man läßt zurzeit die Laschen meistens über die Stoßschwellen hinüberreichen (Abb. 188, 189, 190, 191, 192), und verwendet vielfach 6 Laschenschrauben.

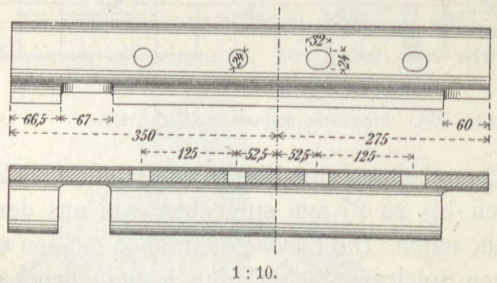


Abb. 190. Bayerische Staatseisenbahnen (1892).

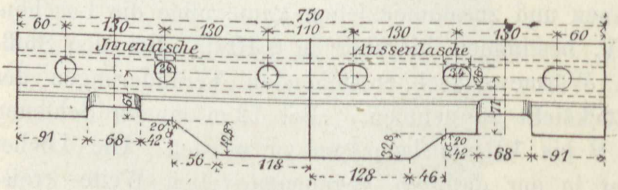


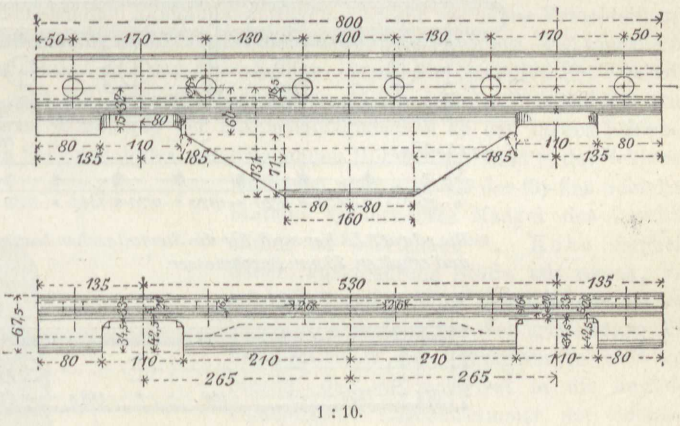
Abb. 191. Württembergische Staatseisenbahn.

Mit Verringerung des Stoßschwellenabstandes ist auch die Entfernung der Laschenschrauben kleiner geworden, wodurch die ganze Stoßanordnung an Festigkeit gewonnen hat. Während früher der Laschenschraubenabstand bis zu 200 mm betrug, geht er jetzt bis auf 120 und 100 mm herab.

181) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883, S. 159; Zimmermann, Berechnung des Eisenbahnoberbaues, Berlin 1888, S. 268, 274.

Die Ausklinkungen für die durchzusteckenden Befestigungsmittel in den unteren Schenkeln werden zweckmäßig so bemessen, daß sie von diesen mit geringem Spielraum voll ausgefüllt werden (Abb. 188, 189) und daß sie womöglich gleichmäßig für die Stoßlagerung auf Holz- und Eisenschwellen geeignet sind (Abb. 188, 189).

Beim Stuhlschienenoberbau mit Doppelkopfschienen ist eine so sichere und unverrückbare Festlegung des Stoßschwellenabstandes durch die Laschen ohne umständliche Stuhlkonstruktionen nicht wohl ausführbar[182]). Die Laschen reichen daher hier nur soweit an die Stühle heran, daß eine unmittelbare Berührung zwischen Laschen und Keilen vermieden wird, und daraus ergibt sich, wie schon früher bemerkt, als Nachteil des Stuhlschienenoberbaues gegenüber demjenigen mit Breitfußschienen eine weniger sichere und unverrückbare Stoßlage und ein größerer Stoßschwellenabstand. Ein unmittelbares Anstoßen der Laschen an die Keile darf nicht stattfinden, weil diese sonst beim Wandern der Schienen durch die Laschen gelockert werden, wodurch die ganze Schienenbefestigung auf ihren Unterlagen gerade an der schwächsten Stelle des Gleises gefährdet wird. Auch in dieser Möglichkeit, die beim Breitfußschienenoberbau ausgeschlossen ist, liegt ein Nachteil des Oberbaues mit Doppelkopfschienen. Wie bei Breitfußschienen, die in Stühlen gelagert sind, eine Stoßdeckung möglich ist, bei der die Laschen über die Stoßschwellen übergreifen, geht aus Abb. 113 und 192 hervor.



1 : 10.

Abb. 192.

Badische Staatseisenbahnen. Laschen für Breitfußschienen mit Stuhlbefestigung.

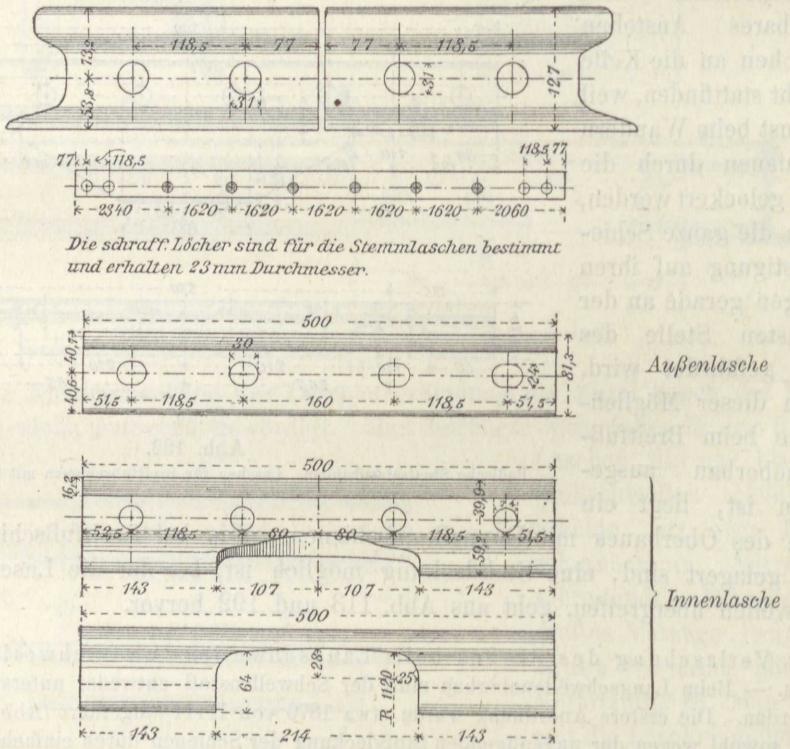
γ. Verlaschung des Stoßes beim Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau. — Beim Langschwellenoberbau muß der Schwellenstoß entweder unterstützt oder verlascht werden. Die erstere Anordnung wurde etwa 1870 von Hilf eingeführt (Abb. 11, S. 75), hat sich aber sowohl wegen der ungenügenden Stoßdeckung der Schienen durch einfache Flachlaschen, wie wegen der ruhenden Stoßlage der Schwellen nicht bewährt. Auch durch Einführung von Sattelstücken gegen das Einschleifen der Langschwellenrippen (Abb. 11, S. 75), kräftiger Schwellenlaschen und einer kräftigen Schienenverlaschung konnte die Lebensfähigkeit des Hilfschen Oberbaues nicht erhalten werden. Auch beim Haarmannschen Langschwellenoberbau ist eine kräftige Schwellenverlaschung von der Form des in der Abb. 14, S. 78, wiedergegebenen Sattels zur Anwendung gekommen und in derselben Weise hat Hohenegger den Schwellenstoß und die Schienenstöße vermittels Laschen gedeckt.

Dadurch, daß sich die Befestigungsmittel zwischen Schienen, Schwellen und deren beiderseitigen Laschen gegen die Laschen, Klammern, Sättel usw. legen, wird bei diesen Langschwellenkonstruktionen dem Wandern der Schienen und Schwellen ohne eigentliche Laschenausklinkungen entgegenzuwirken versucht.

---

[182]) Besondere Stoßstühle mit über diese greifenden Laschen sind neuerdings zur Verstärkung der Stöße bei altem Stuhlschienenoberbau zwischen Berlin und Magdeburg zur Anwendung gekommen; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1895, S. 36.

2. Stoßausrüstung mit Laschen besonderer Form. — *α.* Verschleiß des gewöhnlichen Laschenstoßes. Bei allen Laschenstößen der bisher beschriebenen Art hat sich ein rascherer Verschleiß der Schienenenden als der übrigen Schiene sowie eine starke Abnutzung der Laschen nicht vermeiden lassen; und da infolge der vorzeitigen Abnutzung der Schienenenden eine wirtschaftliche Ausnutzung der ganzen Schiene beeinträchtigt wird, so erscheint eine dem übrigen Gleis ebenbürtige Ausgestaltung des Schienenstoßes als die wichtigste aller Oberbaufragen. Die Zerstörung des Schienenstoßes beginnt mit dem Einschleifen der Anlageflächen an den Schienen- und Laschenenden. Der dichte Schluß zwischen Schienen und Laschen hört an diesen Stellen daher bald auf, während er an den dazwischen liegenden



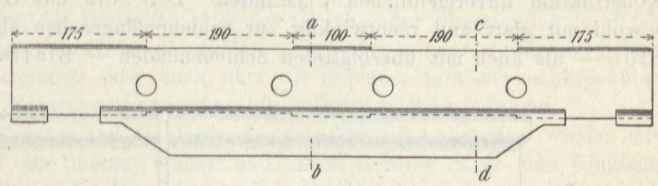
1 : 10.

Abb. 193. Kaiser Ferdinands-Nordbahn (1902). Ruhender Stoß.

Teilen bestehen bleibt, so daß es ohne eine erhebliche Verbiegung oder Knickung der Laschen unmöglich ist, den Schluß an den eingeschliffenen Stellen wieder herzustellen. Hierdurch wird die Beweglichkeit der Schienenenden vermehrt und der weitere Fortschritt des Verschleißes begünstigt, so daß selbst bei den kräftigsten Laschenverbindungen mit enger Stoßschwellenlage und fester Umschließung der Befestigungsmittel durch die Laschen der Eintritt dieses Zustandes nur verzögert, aber nicht aufgehoben werden kann.

Es hat daher nicht an Versuchen gefehlt, die Nachstellbarkeit der Laschen zu erweitern oder überhaupt unbegrenzt zu sichern. Die betreffenden Vorschläge beruhen zum Teil auf dem Grundsatze der Herstellung von Arbeitsleisten.

β. Laschen mit Arbeitsleisten. Jebens schlug vor, Laschen dort, wo sie erfahrungsgemäß nur wenig Verschleiß zeigen, mit Aussparungen zu versehen (Abb. 194 und 195), damit sie trotz des Verschleißes an den stark angegriffenen Stellen durch Anziehen der Laschenschrauben wieder zum festen Anliegen gebracht werden könnten. Aber der Erfolg steht mit der Umständlichkeit der Bearbeitung der Laschen in keinem Verhältnis, besonders wird dabei weder den Höhenunterschieden der neuen Schienen noch einer ungleichmäßigen Abnutzung der Schienen und Laschen an den beiden Schienen- und Laschenenden Rechnung getragen. Dieser ungleiche Verschleiß tritt aber bei zweigleisigen Bahnen, also einseitig befahrenen Gleisen besonders stark ein, weil hier die Art der Beanspruchung der Enden der Ablauf- und der Anlaufschiene durch die bewegten Betriebslasten unter sich sehr verschieden ist und bei fortschreitendem Verschleiße immer verschiedener wird. Gerade die aus der ungleichmäßigen Abnutzung der Laschenanlageflächen an den beiden Schienenenden und den Laschen desselben Schienenstoßes entspringenden Höhenüberstände in der Schienenlauffläche sind aber als der für den Schienenbestand gefährlichste Mangel des Laschenstoßes zu bezeichnen[183]). Kohn empfiehlt daher, ausgefahrene Stöße mit neuen, verstärkten Laschen ohne Arbeitsleisten zu versehen, da sich diese Laschen erfahrungsgemäß beim Anziehen der Schrauben so weit verbiegen, daß sie sich fest in die ungleich verschlissene Laschenkammer der Schienen



1 : 10.

Abb. 194. Laschen mit unterbrochenen Anlageflächen.

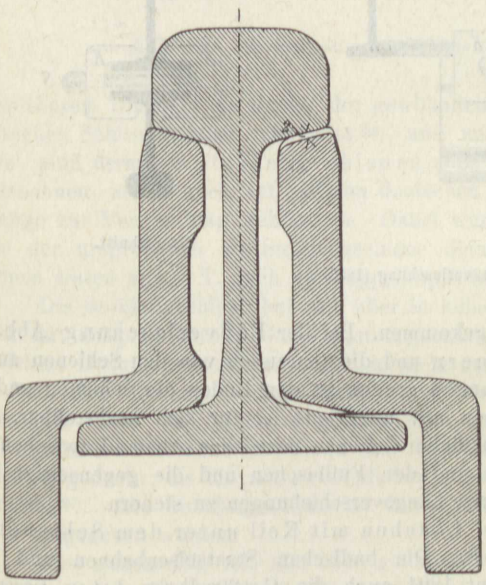
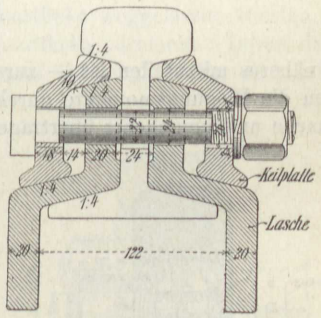

Schnitt *ab*. 0,4 nat. Größe. Schnitt *cd*.

Abb. 195. Laschen mit unterbrochenen Anlageflächen.



1 : 5.

Abb. 196. Seitenlaschen mit Keilplatten (1892).

einspannen. Zugleich empfiehlt er die Höhenüberstände der Schienen durch Abfeilen zu beseitigen[184]). Die bei den preußischen Staatsbahnen mit einem solchen Verfahren gemachten Erfahrungen sind durchaus günstig.

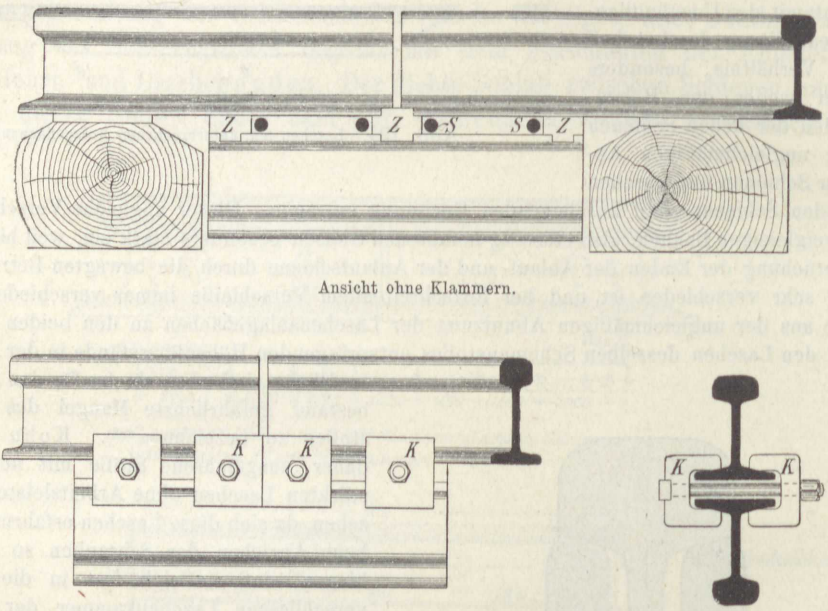
Zimmermann will die beliebige Nachstellbarkeit der Laschen durch ihre Zerlegung in eigentlich tragende Teile — Laschen — und besondere keilförmige Schlußstücke — Laschenkeilplatten, Klammern — ermöglichen, welch letztere nur an den Hauptangriffsstellen angebracht sind und von denen jedes für sich unabhängig von den anderen nachstellbar ist[185]). Der Zimmer-

[183]) Zeitschrift f. Bauwesen 1893, S. 415; Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 410; 1894, S. 466.

[184]) Centralblatt der Bauverw. 1899, S. 4.

[185]) Ebenda 1892, S. 3.

mannsche Vorschlag ist versuchsweise sowohl als Seiten- wie als Fußverlaschung auf den preußischen Staatseisenbahnen und auf den Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen eingeführt worden, der nicht ungünstige Erfolg steht aber doch nicht im Verhältnis zu den mit der nicht einfachen Konstruktion unvermeidlichen Umständen. Der Stoß mit Seitenverlaschung (Abb. 196) ist sowohl mit glatt und rechtwinklig zur Schienenlängsachse abgeschnittenen Enden — stumpfer Stoß — als auch mit überblatteten Schienenenden — Blattstoß — über welchen weiter unten



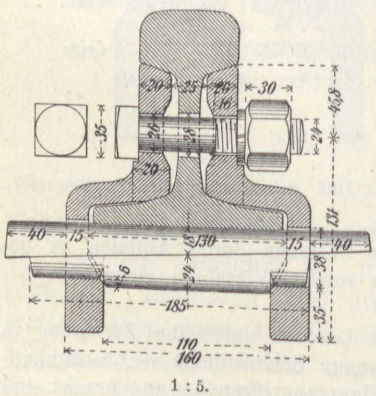
Ansicht ohne Klammern.

1 : 10.
Ansicht mit Klammern.

Querschnitt.

Abb. 197. Fußverlaschung (1892).

noch näheres mitzuteilen ist — zur Ausführung gekommen. Bei der Fußverlaschung (Abb. 197) werden die Biegungsmomente durch die Klammern und die Schrauben von den Schienen auf die Fußlasche und umgekehrt übertragen. Die Klammern greifen an den Enden der Schienen und der Fußlaschen an, aber jede ist für sich nachstellbar. Die Zwischenstücke Z dienen dazu, den Abstand zwischen den Schienen und den Fußlaschen und die gegenseitige Lage auch gegen Längsverschiebungen zu sichern.



1 : 5.

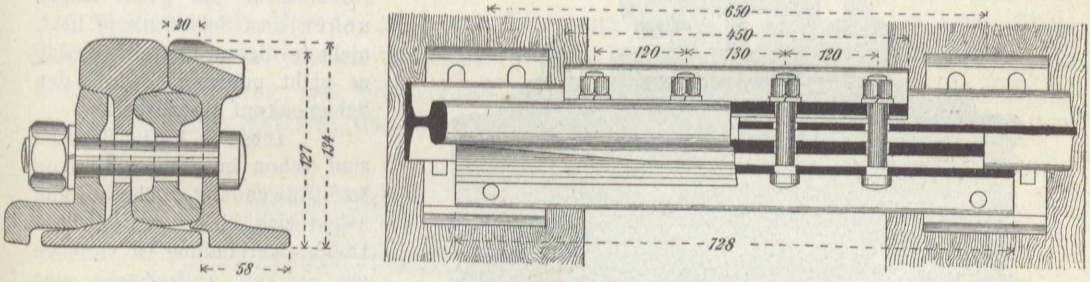
Abb. 198. Badische Staatseisenbahnen (1893).
Laschen mit Keil unter dem Schienenfuß.

γ. Laschen mit Keil unter dem Schienenfuß am Stoß. Die badischen Staatseisenbahnen und nach ihnen seit 1894 auch die Gotthardbahn haben versuchsweise die Schienenenden unter dem Schienenfuß durch Keile nochmals gegen die Laschen abgestützt, um etwaige Höhenungleichheiten zu beseitigen oder ihnen überhaupt vorzubeugen (Abb. 198). Bei der ursprünglichen Ausführung waren statt der zwei Keile deren vier vorhanden — unter jedem Schienenende zwei — damit jedes Schienenende für sich unabhängig vom anderen nachgekeilt werden konnte; diese ältere Anordnung ist jedoch, als in der Handhabung zu schwierig und umständlich, bald wieder verlassen worden. Aber auch die Anordnung mit zwei Keilen ist inzwischen wieder aufgegeben, weil zahlreiche Schienen- und Laschenbrüche eintraten.

δ. Radtragende Laschen; Laschenschienen (sog. Stoßfangschienen). Wiederholt ist der Versuch gemacht worden, die Außenlaschen so hoch hinaufreichen zu lassen, daß die

Räder von den Laschen unmittelbar unterstützt werden, so daß am Schienenstoß überhaupt nicht die Schienen, sondern die Außenlaschen die Fahrfläche darbieten. A. Währer führte solche Laschen 1870 ein, die besonders in Nordamerika Eingang fanden. Eine Unterstützung der Räder an deren Außenseite ist aber insofern von zweifelhafter und wechselnder Wirkung, als je nach dem Grade des Verschleißes der Radreifen und des Gleich- oder Überstandes der Fahrfläche der Lasche gegen die Schienenfahrfläche die Räder mehr oder minder vollkommen bzw. auch gar nicht von der Lasche unterstützt oder auch über die Schienenlauffläche emporgehoben werden. Dadurch entstehen in den Fahrzeugen unerwünschte senkrechte Schwingungen.

In neuerer Zeit waren in Deutschland die Versuche mit derartigen Laschen wieder aufgenommen worden. So wurden auf der überaus lebhaft befahrenen Berliner Stadt- und Ringbahn seit 1891 die in Abb. 199 dargestellten, der Dresdener Bank patentierten Laschenschienen in

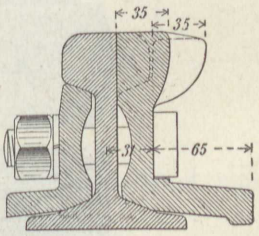


1 : 5. 1 : 10.

Abb. 199. Laschenschiene; preußische Staatseisenbahnen, Direktion Berlin (1891).

ausgedehntem Umfange als Ersatz der gewöhnlichen Außenlaschen an den schon sehr stark verschlissenen Schienenstößen verwendet[186]), und nachdem die Erfahrungen anfangs nicht ungünstig waren, sind derartige Stoßfangschienen auch auf mehreren anderen Strecken der preußischen Staatsbahnen, sowie auch auf anderen deutschen und österreichischen Bahnen in ziemlich weitem Umfange zur Verwendung gekommen. Dabei wurde die Bauweise z. T. dahin verbessert, daß an Stelle der ursprünglich als Stoßfangschiene dienenden alten Schienenstücke besonders gewalzte Schienen traten und z. T. auch die doppelkopfförmigen Zwischenstücke weggelassen wurden.

Die Stoßfangschiene hat sich aber in keiner Form zu bewähren vermocht. Durch das Befahren mit ausgelaufenen Radreifen ist regelmäßig der Verschleiß ihres Fahrkopfes so rasch und in solchem Umfang eingetreten, daß sie nicht ausgelaufenen Radreifen überhaupt nicht mehr als Unterstützung diente, für diese also nicht mehr rädertragend war. Die betreffenden Schienenstöße waren also für solche Räder schlechter gedeckt, als die mit gewöhnlichen Laschen ausgerüsteten[187]). Die Stoßfangschiene ist daher fast überall wieder aufgegeben worden.



1 : 5.

Abb. 200.
Neumannsche Kopflasche; sächsische Staatseisenbahnen (1894).

Fast gleichzeitig mit den oben genannten Berliner Versuchen mit Stoßfangschienen kamen auch auf den sächsischen Staatsbahnen nach dem Vorschlage von Neumann radtragende Laschen besonderer Form zur Einführung. Sie wurden zuerst 1890 auf einem Hüttengleis und 1891 auf einem stark befahrenen Bahnhofsgleis in Dresden eingelegt und erhielten bis 1894 die in Abb. 200 dargestellte Form[188]). Dabei waren die Enden der 850 mm langen Kopflaschen, wie sie Neumann nennt, als gewöhnliche Laschen ausgebildet, die in die Laschenkammern eingespannt wurden, und in der Mitte traten sie mit ihrem oberen fahrkopfförmig ausgebildeten Teil an Stelle des außerhalb des Schienensteges weggeschnittenen Schienenkopfes. Sie unterscheiden

[186]) Glasers Annalen f. Gew. u. Bauw. 1894/1895, Nr. 416 und 429; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1895, S. 246.

[187]) Centralbl. d. Bauverw.; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1900, S. 82 u. 99.

[188]) Civilingenieur, 1892, S. 185; 1894, S. 281. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897, S. 183.

sich also sehr wesentlich von der Stoßfangschiene, einmal darin, daß sie unmittelbar als eingespannte Laschen wirken und weiter dadurch, daß sie nicht unmittelbar auf den Stoßschwellen aufruhen.

Die Erfahrungen, die mit diesen Kopflaschen gemacht wurden, waren so günstige, daß die sächsischen Staatsbahnen von 1897 an auf allen stark befahrenen Strecken zur Verwendung von rädertragenden Auflauflaschen übergingen. Ihre Form wurde aber gegenüber den Kopflaschen, wie in Abb. 201 und 202 dargestellt, insofern geändert, als der obere Kopf der Außenlasche auf ganze Länge neben dem Schienenkopf liegt, nicht in diesen eingreift, so daß es nicht notwendig wird, den Schienenkopf auszuarbeiten.

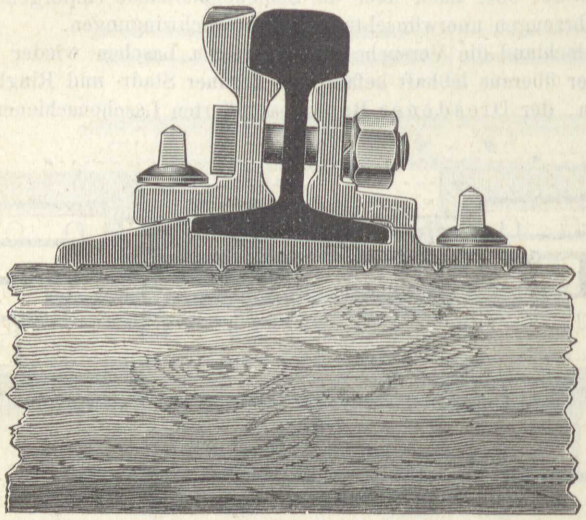


Abb. 201.

Diese Auflauflaschen sind schon in großem Umfang zur Anwendung gelangt und haben sich bisher gut bewährt. Die Stoßverbindung ist vermöge der starken Außenlasche eine sehr kräftige. Ihre rädertragende Eigenschaft wird aber auch diese Lasche mit der Zeit verlieren.

Die bayerischen Staatseisenbahnen haben die nämliche Stoßanordnung gleichfalls zu größerem Versuche eingeführt (Abb. 174b).

3. Stoßausrüstung mit Überblattung der Schienen. — Schon in den

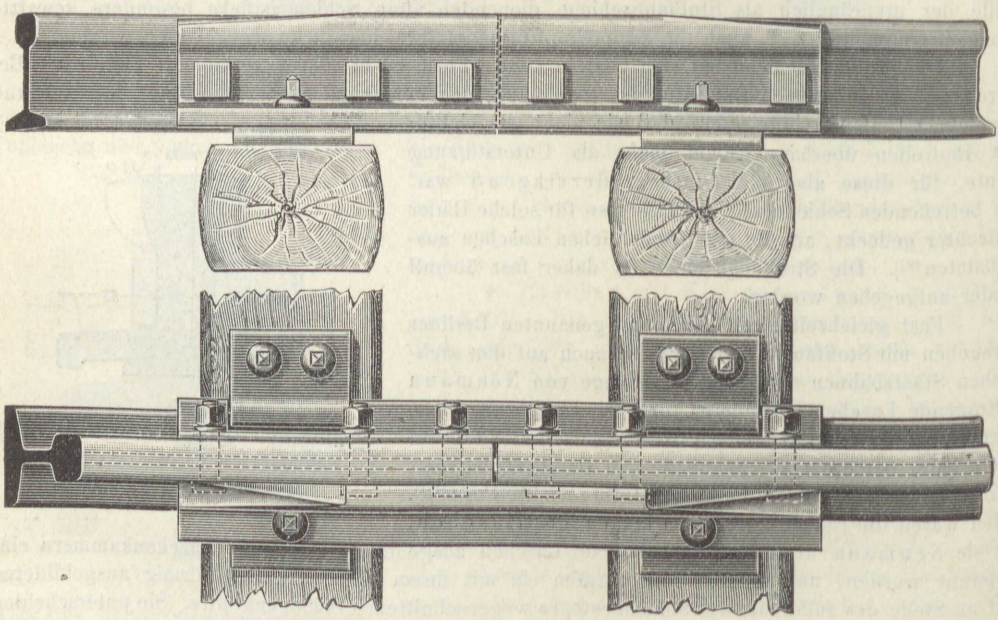
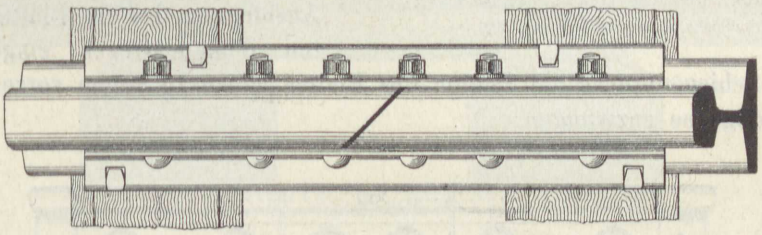


Abb. 202. Sächsische Staatseisenbahnen.

ersten Zeiten des Eisenbahnbaues bemühte man sich die Querfuge am Schienenstoße dadurch unschädlich zu machen, daß man die Schienenenden mit kurzer Überblattung

versah[189]). G. Stephenson führte 1816 auf der Killingworthbahn einen um etwa 65 mm überblatteten Stoß ein, der sich bei Pilz- und Stuhlschienen lange behauptete. Im Jahre 1835 ging man in Belgien zwar nicht zur Überblattung, aber zu schrägabgeschnittenen Schienenenden über, die auch auf der Leipzig-Dresdener Bahn Anwendung fanden.

Die Erwartungen, die auf derartige Schienenstöße gesetzt wurden, erfüllten sich indes nicht, besonders nicht bei ruhender Stoßlage ohne Laschen, denn die für das Verhalten des Stoßes unter den Betriebslasten besonders gefährlichen Höhenüberstände der Schienenenden werden durch kurze Überblattungen oder schräg abgeschnittene Schienen nicht vermindert oder unschädlich gemacht. Sie sind daher, wenigstens in Europa, noch vor Übergang zum verlaschten schwebenden Stoße ziemlich allgemein wieder verlassen worden. In Nordamerika ist der Schrägstoß aber in Verbindung mit einer kräftigen Verlaschung längere Zeit in Anwendung geblieben (Abb. 203)[190]), da er jedoch die Höhenüberstände und ihre schädlichen



1 : 10.

Abb. 203. Nordamerikanische Bahnen (1883).

Folgen nicht beseitigt, so erscheint er nur von geringem Werte. Der schädliche Einfluß der Höhenüberstände kann aber durch eine Überblattung von ausreichender Länge wesentlich gemildert werden, weil sich bei einem verlaschten Stoße bei niedergebogenen Schienenenden wenigstens in der Mitte der Schienenoberfläche eine ziemlich stetige in flachem Winkel eingeschnittene Lauffläche ergibt (Abb. 204). Radreifen, die nicht scharf an der Außen- oder Innenkante der Schiene laufen, werden daher über einen Blattstoß von ausreichender Länge stetig hinübergeführt.

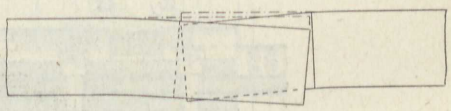
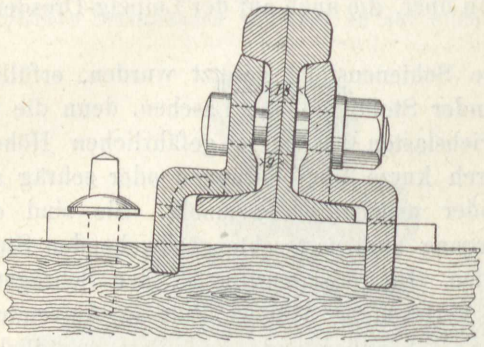


Abb. 204.

Ein derartiger Blattstoß ist von Rüppell und Kohn entworfen und seit 1890 in ausgedehntem Maße auf verschiedenen Strecken der preußischen Staatseisenbahnen zur Anwendung gekommen und hat allmählich die in den Abb. 205 und 206 dargestellte Form erhalten; er hat versuchsweise auch in Österreich-Ungarn und anderwärts Eingang gefunden. Das Blatt hat eine Länge von 220 mm, so daß die zwei mittleren Laschenschrauben der kräftigen, in allen sonstigen Teilen mit der gewöhnlichen Stoßausrüstung der preußischen Staatseisenbahnen übereinstimmenden Laschenverbindung die beiden Blätter durchdringen und zusammenhalten. Der Schienensteg ist

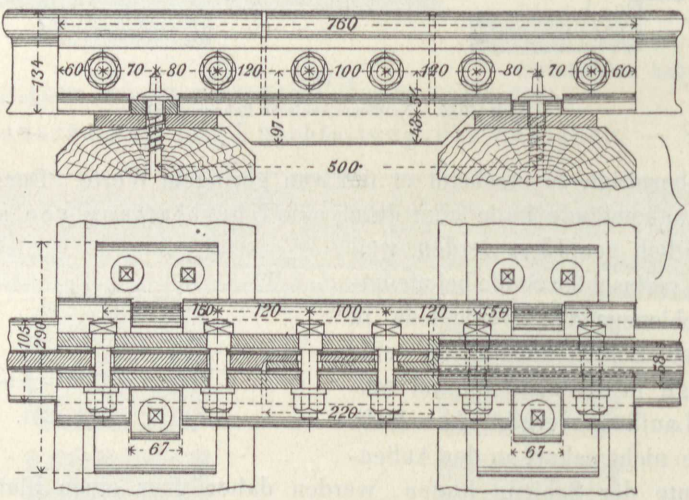
189) Haarmann, Das Eisenbahngleis. Geschichtlicher Teil, S. 313.
190) Railroad Gazette 1883, S. 257, 307; 1886, S. 257; 1887, S. 177.

auf die große Stärke von 18 mm gebracht, damit die im Blatt auf die Hälfte geschwächte Schiene noch ausreichende Steifigkeit besitzt. Der große Materialverbrauch, der in dem starken Steg und in der Ausarbeitung des Blattes liegt, und der mit dieser Ausarbeitung verbundene Arbeitslohn verteuert zwar die betreffende Anordnung; dies wird aber zum Teil wieder dadurch ausgeglichen, daß Schienen von 15 m Länge verwendet werden können, ohne daß man fürchten muß, daß die Größe der Stoßlücke sich unangenehm fühlbar macht. Aber das ursprünglich günstige Verhalten dieser Blattstoßordnung hat nicht lange angehalten. Namentlich ist häufig eine Ausbiegung des im Blatte geschwächten Schienensteges eingetreten und zahlreiche Schienenbrüche am Beginn des Blattes haben zu einem vorzeitigen Ersatz der Blattstoßgleise gezwungen.



1 : 5.

Abb. 205. Blattstoß von Rüppell und Kohn. Preußische Staatseisenbahnen (1899).



1 : 10.

Abb. 206. Blattstoß von Rüppell und Kohn. Preußische Staatseisenbahnen (1899).

Auch die in den Abb. 207 und 208 dargestellte Blattstoßanordnung mit Laschen, die auch den Schienenfuß umfassen, mit der 1899 auf der Berliner Stadtbahn ein Versuch gemacht wurde, hat sich nicht bewährt. Zu dem schon genannten Mangel der Blattanordnung tritt hier noch der Übelstand hinzu, daß die Laschen an drei Stellen anliegen sollen, eine Forderung, die schon nach kurzer Betriebsdauer infolge der eintretenden Abnutzung schlechterdings nicht zu erfüllen ist.

Ziemlich gleichzeitig mit Rüppell und Kohn hat Dr. Vietor in Osnabrück auf Anregung Haarmanns einen Blattstoß unter Verwendung einer Schiene entworfen, deren Steg nicht in der Mitte liegt, sondern um die halbe Stegdicke seitwärts ver-

schoben ist (Wechselstegschiene). Die Herstellung des Blattes kann daher ohne Schwächung des Steges erfolgen und die Stegstärke kann in den gewöhnlichen Grenzen gehalten werden (Abb. 209 und 210). Hierin liegt allerdings eine gewisse Materialersparnis gegenüber dem erstgenannten Blattstoß. Auch ist die große Stärke des Gleises gerade am Stoß, infolge der doppelten Stegstärke daselbst, ein Vorzug. Anderseits erscheint es als ein Übelstand, daß im Gleis auf der Innen- und Außenseite der Schienen regelmäßig entgegengesetzte Walzseiten aneinander stoßen. Bei der Massenfabrikation kommen häufig Abweichungen zwischen den beiden Walzseiten der Schienen in solchem

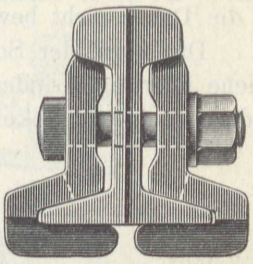


Abb. 207.

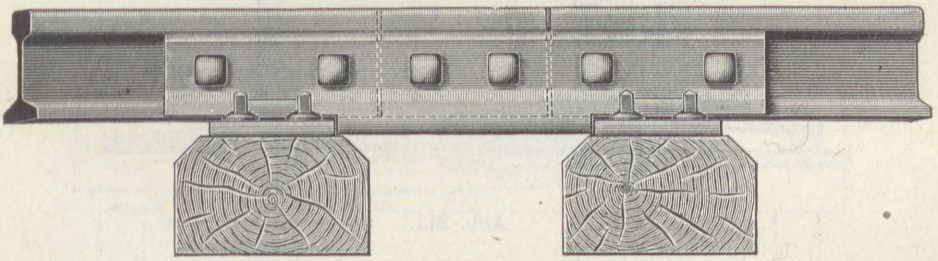
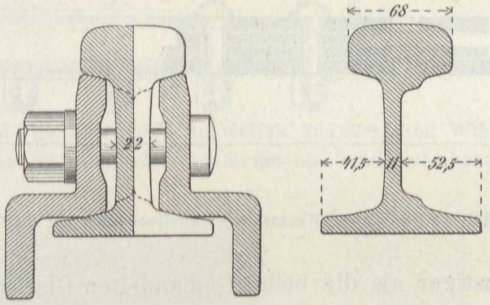
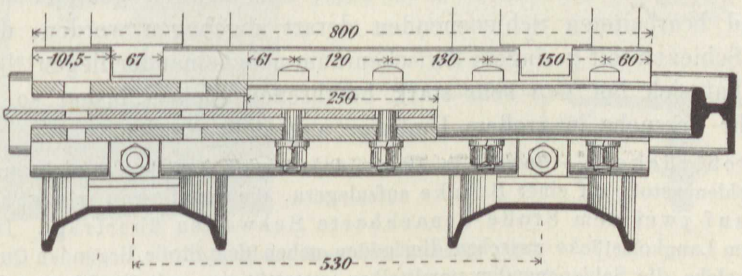


Abb. 208.



1 :5.

Abb. 209.



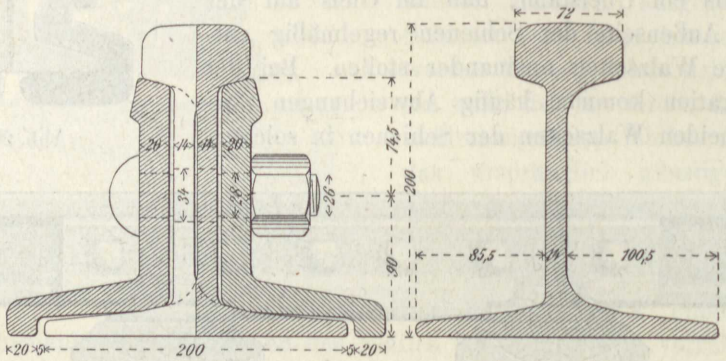
1 : 10.

Abb. 210. Blattstoß von Vietor mit Wechselstegschienen (1890).

Maße vor, daß man im allgemeinen eine gute Verlaschung nur dann erhält, wenn man grundsätzlich im Gleis stets dieselbe Walzseite nach innen bzw. außen legt.

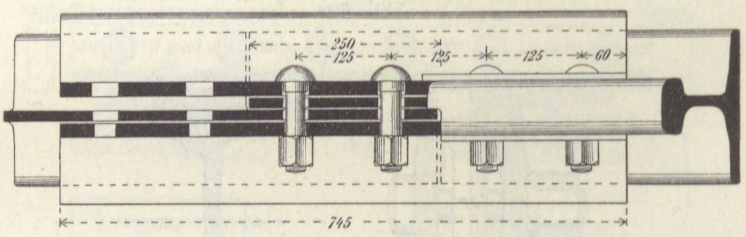
Das ist beim Blattstoß von Vietor unmöglich und daher muß, zur Behebung dieser Schwierigkeit, das Walzen mit ganz besonderer Genauigkeit und Sorgfalt ausgeführt werden. Trotz der größeren Stärke der Blätter hat auch diese Stoßanordnung sich auf die Dauer nicht bewährt.

Die Form der Schiene von Vietor hat Haarmann auch auf seine Schwellenschiene übertragen, indem er diese nicht mehr aus zwei Halbschienen zusammensetzt, sondern in einem Stücke walzt und gleichfalls mit Blattstoß versieht (Abb. 211 und 112).



1 : 5.

Abb. 211.



1 : 10.

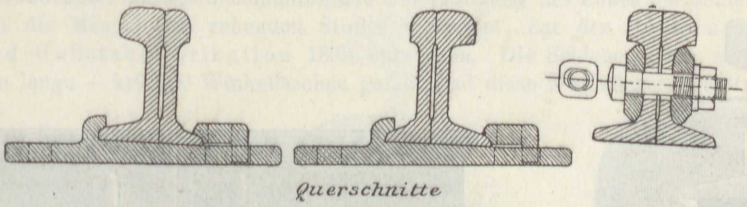
Abb. 212. Haarmann, Wechselsteg-Schwellenschiene mit Blattstoß (1892).

Wesentlich günstiger als die bisher behandelten Blattstoßanordnungen hat sich der Blattstoß von Becherer und Knüttel bewährt, der seit 1894 erst in kleinerem und seit 1899 in größerem Umfang auf Strecken der Berliner Ringbahn benutzt wird. Es ist ein ruhender Halbstoß (Abb. 213), der dadurch gebildet wird, daß die entsprechend bearbeiteten Schienenenden derart abgebogen werden, daß die Stege der beiden Schienen mit geringem Zwischenraum nebeneinander liegen[191]). Diese Stoßanordnung hat sich bei den sehr stark befahrenen Gleisen bisher so gut gehalten, daß nunmehr Versuche in großem Umfange angestellt werden.

4. Stoßbrücken. — Sowohl in älterer wie neuerer Zeit hat es nicht an Versuchen gefehlt, den Schienenstoß auf einer Brücke aufzulagern, die den Druck gleichzeitig und unmittelbar auf zwei dem Stoße benachbarte Schwellen überträgt. In den vierziger Jahren wurden Langholzstücke zwischen die beiden neben dem Stoße liegenden Querschwellen eingeschaltet, welche die Schienenenden unmittelbar unterstützten; mit Einführung der Laschen gab man diese Stoßausrüstung aber wieder auf. In den siebziger Jahren entwickelte sich auf der Pennsylvaniabahn aus einer von Fisher entworfenen Fußverlaschung eine Stoßbrücke, indem die ursprünglich nur zwischen den Schwellen liegenden plattenförmigen Fußlaschen bis auf diese

191) Centralbl. d. Bauverw. 1902, S. 157.

verlängert und hier aufgelagert wurden. Dabei erhält die Stoßbrücke zugleich soviel Wölbung, daß nur der Schienenstoß in der Mitte der Brücke aufruht, während die Enden der Brücke die Schienenfüße nicht unterstützen. In Abb. 214 ist die auf den New-Yorker Hochbahnen ausgeführte Anordnung des Fisher-Stoßes zur Darstellung gebracht. Die zu beiden Seiten der Schienen



Querschnitte

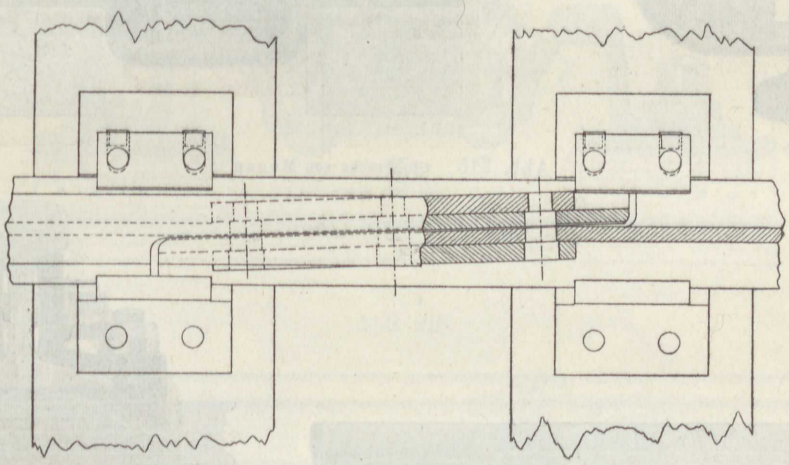
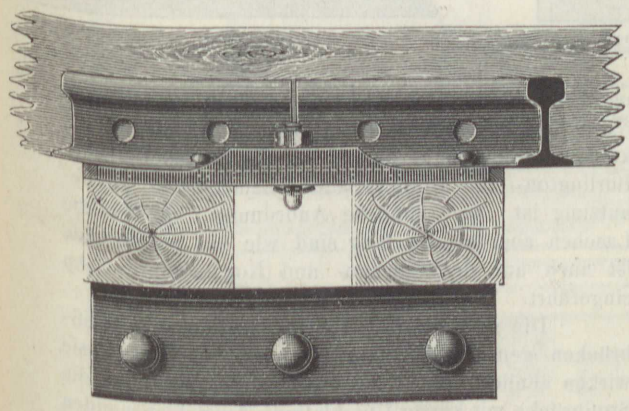
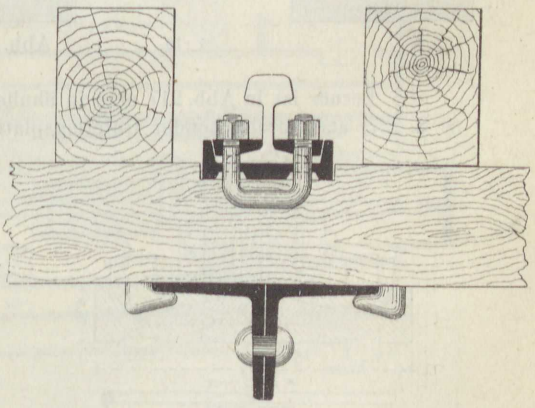


Abb. 213. Blattstoß von Becherer und Knüttel.

liegenden Streichbalken und die unter den Schwellen angebrachten Winkeleisen hängen mit der Bauart der betreffenden Bahn als Hochbahn zusammen und sind nicht besondere Eigentümlichkeiten des Fisher-Stoßes.



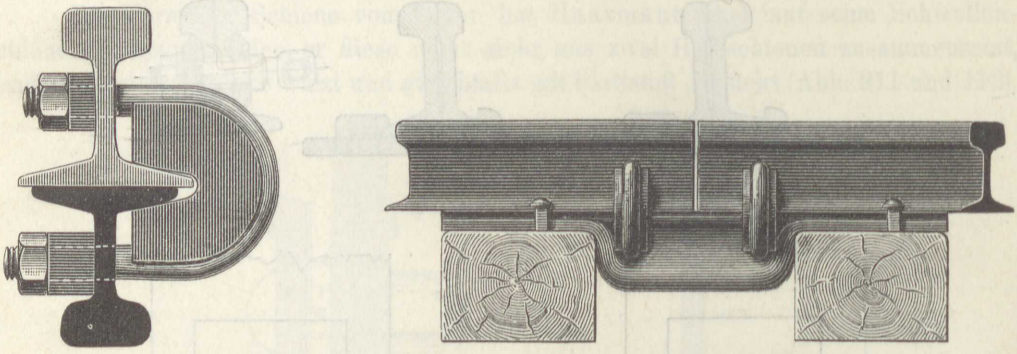


1 : 10.

Abb. 214. New-Yorker Hochbahn (1885).

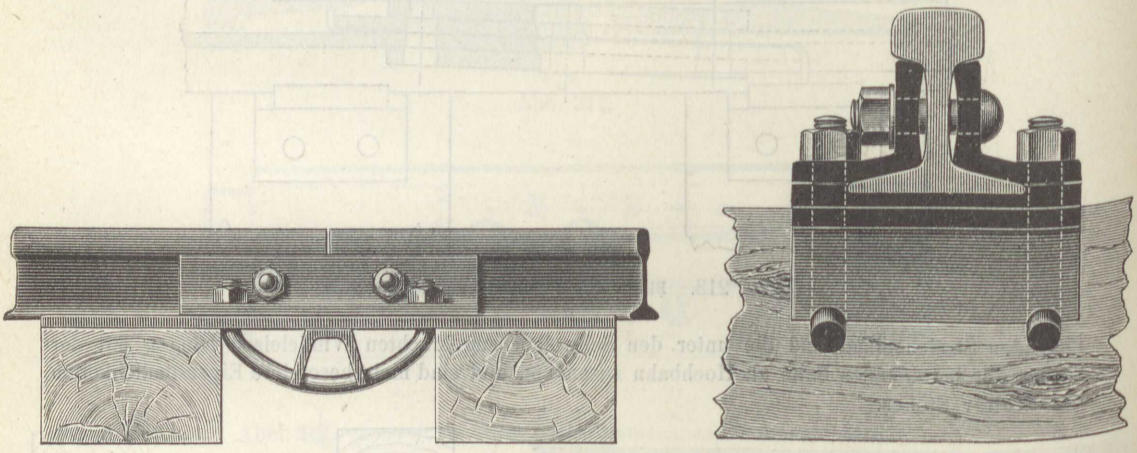
Dem Fisher-Stoß verwandt, aber bedeutend stärker ist eine Stoßbrücke, die 1890, mit einer kurzen Überblattung der Schienenenden, versuchsweise auf einigen Strecken der preußischen Staatsbahnen zur Einführung kam. Abweichend von diesen Stoßbrücken, bei welchen die Schienen auf den Enden der Brücke nicht aufruhen, liegen bei der Stoßbrücke von Mogan und beim Long-Truss-Stoß, welche beide Anordnungen in Amerika versuchsweise Anwendung gefunden

haben (Abb. 215 und 216), die Schienen auf ganze Länge der Brücke auf dieser auf. Bei dem Mogan-Stoß sollen die Fußklammern eine feste Verbindung zwischen Ober- und Unterschiene sichern; beim Long-Truss-Stoß unterstützen die kurzen Laschen den Schienenkopf nicht, sie sollen die seitliche Lage der Schienen sichern und erhöhen außerdem die Tragfähigkeit der Stoßbrücke.



1 : 5. 1 : 10.

Abb. 215 Stoßbrücke von Mogan.



1 : 10. Abb. 216. Long-Truss-Stoß. 1 : 5.

Ferner ist in Abb. 217 eine in ähnlicher Weise wie bei den württembergischen Staatsbahnen (s. S. 227) aus durchgehender Unterlagsplatte gebildete Stoßbrücke in Verbindung mit einer recht kräftigen Verlaschung dargestellt, die auf der Chicago-Burlington- und Quincy-Bahn versuchsweise in Benutzung ist. Eine ähnliche Anordnung, bei der die Laschen aber ebenso lang sind wie die Stoßbrücke, ist auch auf der Chicago- und Northwestern-Bahn eingeführt.

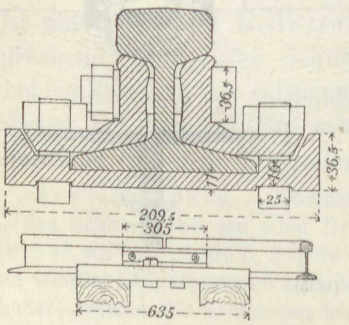


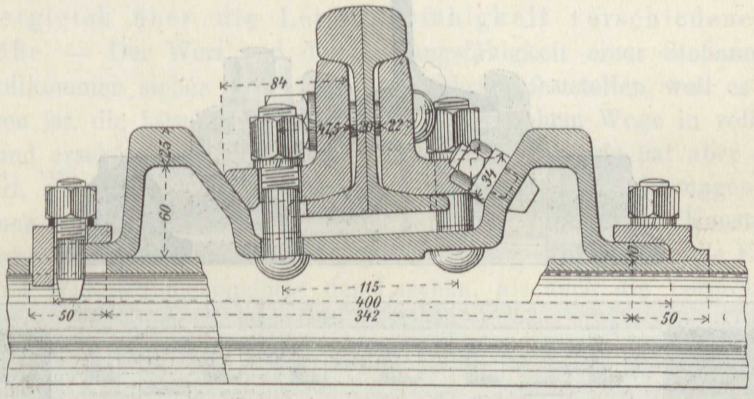
Abb. 217.
Chicago-Burlington and Quincy-Bahn.

Die in Deutschland bisher mit solchen Stoßbrücken gemachten Erfahrungen sind ungünstig; sie wirken ähnlich wie ein ruhender Stoß. Besonders die Stoßbrücke mit kurzer Überblattung der Schienenenden hat sich gar nicht bewährt[192]). Wenn nordamerikanische Urteile über die Stöße von Fisher, Mogan, den Long-Truss-Stoß und andere ähnliche Anordnungen früher günstig lauteten[193]), so mag das viel-

[192]) Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 441.
[193]) Railroad Gazette 1890, S. 468, 662, 663.

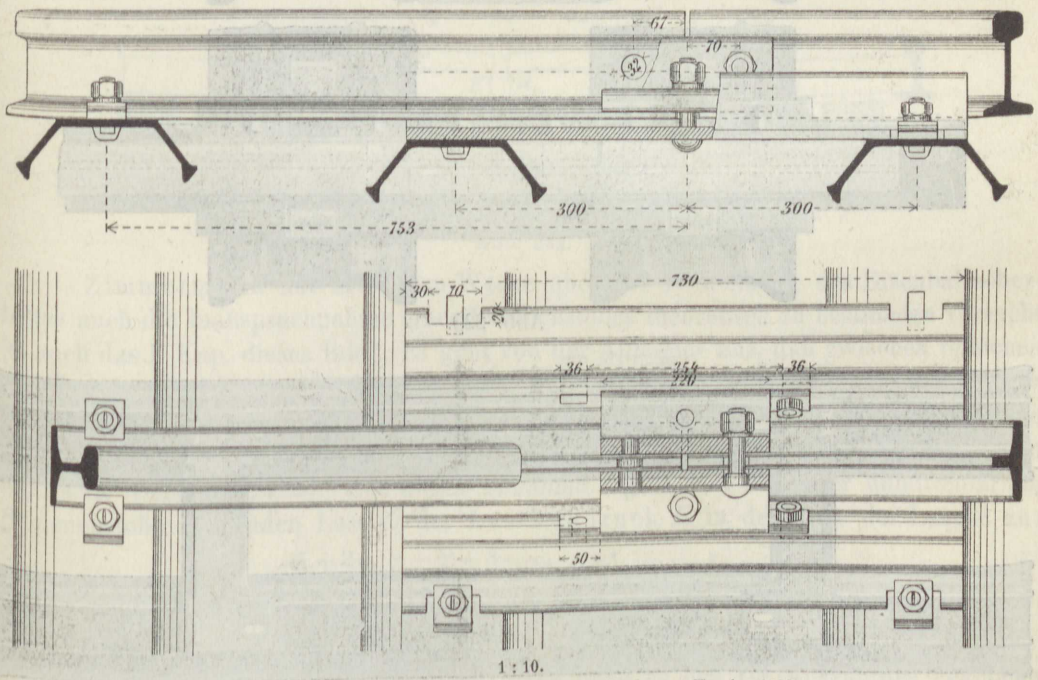
leicht zum Teil an der Kürze der Probezeit gelegen haben. Jedenfalls haben es die betreffenden Stoßausrüstungen zu irgendeiner ausgedehnten Anwendung bisher nicht gebracht[194]), vielmehr überwiegt der gewöhnliche Laschenstoß auch in Nordamerika, und namhafte Fachleute urteilen ungünstig über Stoßbrücken[195]).

Eine Stoßbrücke, welche die unmittelbare Unterstützung des Fußes der Schienenenden, also gewissermaßen die Mängel des ruhenden Stoßes vermeidet, hat der Bochumer Verein für Bergbau und Gußstahlfabrikation 1892 entworfen. Die Schienenenden sind durch kurze — nur 220 mm lange — kräftige Winkellaschen gefaßt und diese Winkellaschen stützen sich gegen



1 : 5.

Abb. 218.



1 : 10.

Abb. 219. Stoßbrücke mit Stützlaschen, Bochumer Verein (1892).

die Stoßbrücke. Die Abb. 218 und 219 stellen die Anordnung in der Gestalt dar, wie sie versuchsweise auf preußischen Staatsbahnstrecken zur Einführung gekommen ist. Die Schienenenden sind

194) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1894, S. 1. Reisebericht von Barkhausen.

195) Railroad Gazette 1900, S. 668, 684; Engineering News 1904, S. 261.

sowohl mit kurzer Überblattung versehen (Abb. 218) als auch stumpf abgeschnitten (Abb. 219). Obgleich aber hier die Schienen nirgends unmittelbar auf der Stoßbrücke aufruhen, die Schienenenden sich daher annähernd wie beim schwebenden Laschenstoß durchbiegen konnten, hat sich doch auch diese Anordnung nicht bewährt. Die Stützlaschen brachen vielfach in den Winkeln, ebenso die

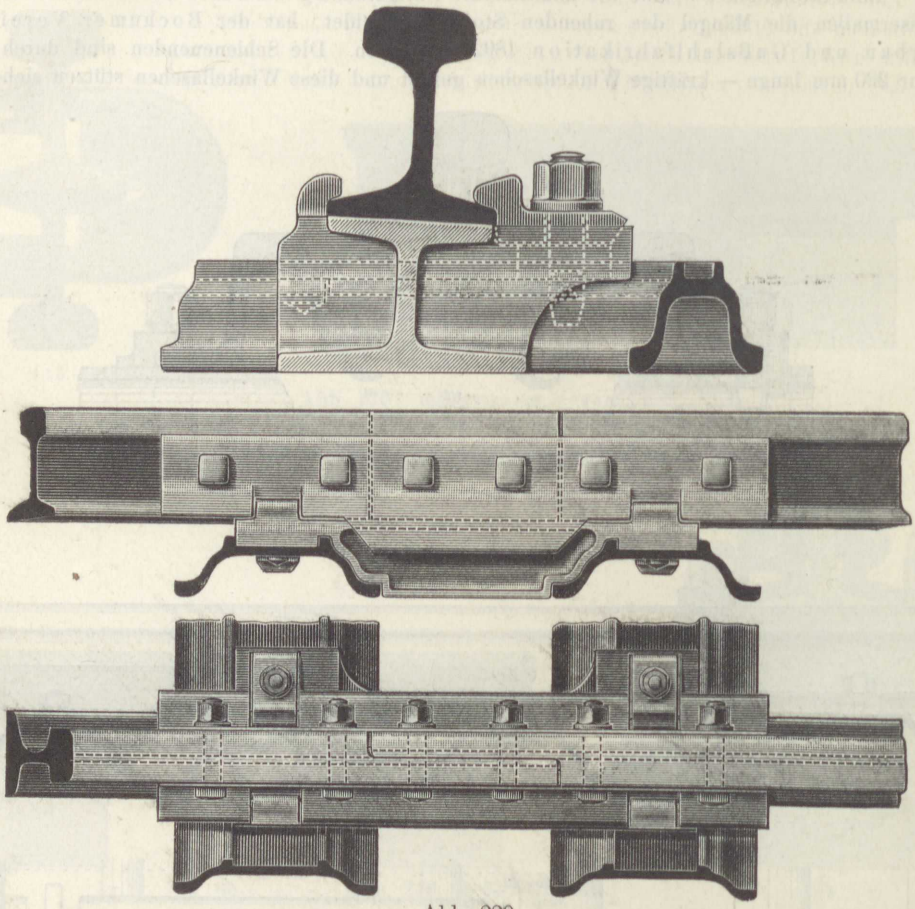


Abb. 220.

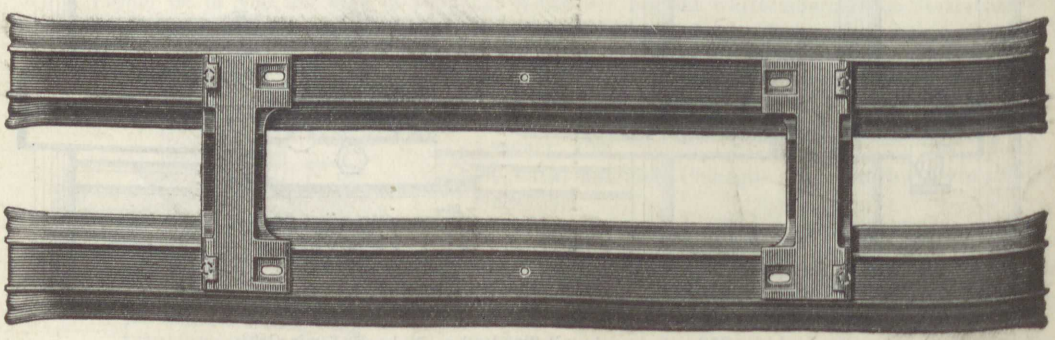


Abb. 221.

Schienen in den Blättern und die Bolzen und Hakenschrauben wurden stark abgerieben und krumm gebogen[196].

Haarmann hat für seinen Starkstoßoberbau die in den Abb. 220 und 221 dargestellte

[196]) Centralbl. d. Bauverw. 1904, S. 68.

Anordnung zur Anwendung gebracht, in der eine Vereinigung von Stoßbrücke und Wechselstoß-überblattung versucht wird. Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse sind nicht ungünstig, aber die Versuchszeit erstreckt sich erst auf wenige Jahre, ist also zu kurz, um ein Urteil zu gestatten. Jedenfalls erscheint es nach den bisherigen sonstigen Erfahrungen mit Stoßbrücken und Überblattungen recht zweifelhaft, ob die Ergebnisse dem wirtschaftlichen Aufwand entsprechen werden, d. h. ob mit einer mit demselben Geldaufwand durchgeführten Verstärkung des gewöhnlichen schwebenden Stoßes oder anderer Anordnungen nicht günstigere Ergebnisse zu erzielen sind. Die preußisch-hessischen Staatsbahnen machen Versuche nach dieser Richtung.

c. Vergleich über die Leistungsfähigkeit verschiedener neueren Laschenstöße. — Der Wert und die Leistungsfähigkeit einer Stoßanordnung läßt sich zwar vollkommen sicher nur durch die Erfahrung feststellen, weil es bisher noch nicht gelungen ist, die Lösung der Frage auf theoretischem Wege in volkommen zuverlässiger und erschöpfender Weise zu erreichen. Die Theorie hat aber doch Ergebnisse geliefert, welche in den wesentlichsten Punkten mit den Erfahrungen im Betriebe übereinstimmen und daher volle Beachtung vom Standpunkte der Konstruktion verdienen. Erfahrung und Theorie stimmen darin überein, daß sowohl die Erhöhung des Trägheits- und Widerstandsmomentes der Laschen, als auch die Vergrößerung ihrer Länge auf die Dauerwirkung einer Stoßausrüstung von günstigem Einflusse sind. Ferner wird diese erhöht durch die Güte der Bettung und durch geringen Abstand der Stoß- sowohl, wie der benachbarten Schwellen[197]). Dagegen ist die Erhöhung der Tragfähigkeit und Steifigkeit der Schiene allein von keinem wesentlichen Erfolge für das gute Verhalten eines Stoßes.

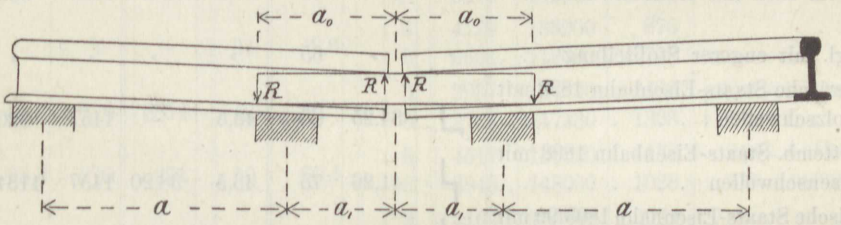


Abb. 222.

Zimmermann hat in seinem Werke über die Berechnung des Eisenbahnoberbaues auch die Inanspruchnahme eines Laschenstoßes theoretisch zu bestimmen versucht (s. auch das I. Kap. dieses Bds.). Er geht von der Annahme aus, daß zwischen Schienen und Laschen Spielräume vorhanden sind, in deren Folge die Laschen den Biegungen der Schienen nicht unmittelbar folgen können. Die Laschendrücke können daher wie Einzelkräfte behandelt werden, welche nahe an den Enden der Schienen und Laschen angreifen (siehe Abb. 222). Bei dieser Annahme ergibt sich bei einer unmittelbar am Schienenstoße wirkenden Last G der Laschendruck R in der Mitte der Lasche zu:

$$R = \frac{\frac{(1+2\alpha_1)\gamma + (2+3\alpha_1)\alpha_1 - \alpha_0^2}{4\alpha_0} \cdot G - \frac{\varepsilon}{2\alpha_0^2} B}{1+\gamma+3\alpha_1-\alpha_0\left(2-\frac{J}{i}\right)}.$$

In diesem Ausdrucke haben γ und B die im § 12 des III. Abschnittes gegebene Bedeutung und es bezeichnen ferner:

ε den Spielraum zwischen Schiene und Lasche, $\alpha_0 = \frac{a_0}{a}$ (siehe Abb. 222),

J das Trägheitsmoment der Schiene,

i das Trägheitsmoment eines Laschenpaares, $\alpha_1 = \frac{a_1}{a}$ (siehe Abb. 222).

197) Centralbl. f. d. Bauverw. 1894, S. 369, Abhandlung von Sarre.

Zusammen-

einiger Werte von neueren Laschenverbindungen und

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nr.	Eisenbahnverwaltung und Oberbauform	Form der Laschen	Querschnitt der Laschen	Länge der Laschen	Gewicht der Schiene f. 1 m	Gewicht eines Laschenpaares	Trägheitsmoment der Schiene J	Trägheitsmoment beider Laschen i	Widerstandsmom. beider Laschen	Verhältnis der Trägheitsmom. J/i
			qcm	cm	kg		cm^4		cm^3	
1	Preuß.-hess. Staats-Eisenbahn, Form 1885/1903 mit Holzschwellen . . .	⌐	31,79	79	33,4	30,66	1036,6	839,6	112,8	1,23
2	Desgl. mit Eisenschwellen	»	»	»	»	»	»	»	»	»
3	Desgl. Form 1890 mit Holzschw. 1903	»	41,03	82	41	41,6	1352	1208,8	154,2	1,12
4	» » » » Eisenschwellen	»	»	»	»	»	»	»	»	»
5	Reichseisenbahn in Elsaß-Lothringen, Form 1893 mit Holzschwellen . .	»	34	88	37,8	36.4	1092	980	153	1,11
6	Desgl. mit engerer Stoßteilung . . .	»	»	65	»	»	»	»	»	»
7	Bayerische Staats-Eisenbahn 1898 mit Holzschwellen	⌐	34,25	85	43,5	—	1457	620	84	2,35
8	Württemb. Staats-Eisenbahn 1898 mit Eisenschwellen	⌐	41,26	75	43,5	38,20	1457	1134	144	1,28
9	Badische Staats-Eisenbahn 1893/99 mit Eisenschwellen	⌐	40,33	80	43,5	35,0	1485	1630,6	180,6	0,91
10	Sächs. Staats-Eisenb. 1890 mit Holzschwellen . . . Innenl. . . . . Außenl.	⌐ ⌐	—	85	45,7	46,17	1700	1150	190	1,48
11	Österr. St.-Eisenb. 1903 mit Holzschw.	⌐	38,3	78	44,15	35,76	1441,5	1090,8	144,4	1,32
12	Kaiser Ferd.-Nordb. 1894 . Innenl. . . . . Außenl.	⌐ ⌐	20,93 / 29,09	73	35,3	25,8	951,4	483	78,9	1,97
13	Schweiz. Bund.-B. 1902 mit Eisenschw.	⌐	—	80	45,9	36	1623	1670	193	0,97
14	Gotthardbahn 1898 desgl.	⌐	45	60	46	27,2	1635	1960	218	0,83
15	Belgische Staats-Eisenbahn 1886 mit Holzschwellen	⌐	—	73	52	43	1707	598	91	2,86
16	Engl. Midlandbahn mit Holzschwellen, ältere Form	⌐	—	45,7	42,2	21	1245	782	106	1,59

stellung

der Inanspruchnahme der Laschen bei 7 *t* Raddruck.

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Neigung der Laschenanlageflächen	Zahl der Laschenschrauben	Untere Breite der Schwellen	Länge der Schwellen	Trägheitsmoment der Schwellen	Schwellenentfernung am Stoß	Schwellenentfernung neben dem Stoß	Bettungsziffer *c*	Laschendruck *R*	Biegungsmoment der Laschen am Stoß *M*	Größte Spannung der Laschen am Stoß σ	Bemerkungen
		cm		cm^4	cm			kg		kg/qcm	
1:4	6	26	270	8874	50	60,0	3	4072	140430	1245	
							8	3386	116820	1036	
»	»	23,2	270	147,9	50	60,0	3	4198	144830	1284	
							8	3616	124750	1106	
»	6	26	270	8874	53	60,0	3	4100	168100	1090	
							8	3520	144320	936	
»	»	23,2	270	147,9	»	»	3	4166	170810	1108	
							8	3724	152680	990	
1:2	6	26	270	8874	60	76	3	4047	177610	1164	
							8	3213	141360	924	
»	4	»	»	»	34	49,8	3	4120	133900	875	
							8	3664	119080	778	
1:3	6	26	270	8874	42	50	3	2937	124820	1486	Auf stark befahrenen Strecken kommen auch Auflauflaschen zur Anwendung.
							8	2763	117430	1398	
1:3	6	25,8	270	271	50	60,4	3	4517	169390	1178	
							8	3948	148050	1028	
1:3	6	24,2	240	302	53	60,8	3	4164	166560	922	
							8	3900	156000	864	
1:4	6	26	270	8874	54	68	3	4240	180200	917 Innenl. / 956 Außenl.	Die Außenl. sind Auflauflaschen.
							8	3510	149175	760 Innenl. / 793 Außenl.	
1:4	6	26	270	8874	50	73,85	3	4027	144972	1004	
							8	3242	106712	739	
1:2,58	6	26	270	8874	47,4	75,5	3	4087	149180	1745 Innenl. / 1957 Außenl.	
							8	3075	112200	1313 Innenl. / 1472 Außenl.	
1:4	6	24	270	256	50	57,5	3	4293	171720	890	
							8	3877	154800	802	
1:3	4	23,4	250	233	35,6	58,3	3	5118	153540	704	
							8	4667	140010	642	
1:5	4	28	260	3482	60	70	3	4770	174100	1913	
							8	3786	138290	1519	Die neuere Stoßanordnung zeigt keine nennenswerte Verstärkung.
1:1,78	4	25,4	272	4336	60	68,6	3	8138	186040	1755	
							8	6919	158170	1492	

Das Biegungsmoment in der Laschenmitte wird dann $M = R \cdot \alpha_0$. Es wächst also mit der Laschenlänge, dagegen nimmt der Laschendruck mit zunehmender Länge ab, ebenso mit wachsendem i, und so wirken lange und kräftige Laschen auch günstig auf die Beanspruchung der Laschen.

Der Laschendruck, also auch das Biegungsmoment und die daraus entspringende Beanspruchung der Laschen werden am größten, wenn $\varepsilon = 0$ ist; anderseits zeigt aber auch Zimmermanns Untersuchung, daß die beabsichtigte Wirkung der Laschen — d. i. sowohl die Verschiebung als die Verdrehung der Schienenenden zu verhüten, damit die Lauffläche eine möglichst stetige Bahn bleibt und kein Absatz oder Knick entsteht — mit zunehmenden Spielräumen rasch abnimmt und bald ganz aufhört, wodurch dann eine für das Gleis wie die Betriebsmittel gleich verderbliche hammer- oder stoßartige Beanspruchung eintritt. Die Untersuchungen lassen erkennen, daß der Grenzwert des unschädlichen Spielraumes und in noch höherem Maße der Grenzwert für gänzliche Unwirksamkeit der Laschen mit der Länge der Laschen zunimmt, daß also lange Laschen bei den unvermeidlichen Abnutzungen überhaupt länger wirksam bleiben.

Der Winkel, welchen die Tangente der gebogenen Schiene am Stoßende mit der Wagerechten bildet, kann als Maß für die Größe der Stetigkeitsunterbrechung betrachtet werden; Zimmermann nennt ihn den schädlichen Winkel. Wollte man die Stoßausrüstung so kräftig gestalten, daß dieser Winkel = Null, also die Bahn eine tatsächlich stetige würde, so müßte bei den meist gebräuchlichen Stoßschwellenabständen von 50 bis 60 cm das Trägheitsmoment eines Laschenpaares bis zu siebenmal so groß sein, wie das der gestoßenen Schiene. Der schädliche Winkel wächst zwar mit der Länge der Laschen so lange der Spielraum $\varepsilon = 0$ ist, sobald der Spielraum aber bis zum Grenzwerte der Unschädlichkeit zugenommen hat, führt umgekehrt eine Verlängerung der Laschen eine Verkleinerung des schädlichen Winkels herbei, so daß lange Laschen auch bezüglich der Unstetigkeit der Bahn von den verderblichen Wirkungen der Spielräume weniger stark betroffen werden, als kurze Laschen.

In der vorstehenden Zusammenstellung sind einige Werte über Gewichte, Abmessungen und Beanspruchungen gewöhnlicher neuerer Laschenstoßverbindungen mehrerer Bahnen unter Benutzung der vorstehend angegebenen Formeln nachgewiesen und berechnet, unter der Annahme, daß der Spielraum $\varepsilon = 0$. Die Zahlen der Spalten 20 und 22 zeigen, wie hoch manche Laschen trotz der im letzten Jahrzehnt vielfach durchgeführten Stoßverstärkung, die sich namentlich aus einem Vergleich mit den Angaben der ersten Auflage ergibt, immer noch gedrückt und auf Biegung beansprucht sind und wie notwendig es ist, den Laschenanlageflächen ausreichende Abmessungen und der ganzen Stoßausrüstung eine größtmögliche Widerstandsfähigkeit und Steifigkeit zu geben. Insbesondere lassen die Zahlen deutlich erkennen, daß die schwächste Stelle des Gleises — der Schienenstoß — durch schwere, kräftige Schienen allein nicht vor rascher Zerstörung geschützt wird, sondern daß die ganze übrige Stoßausrüstung von größerem Einflusse ist und daß auch mit wesentlich leichteren Schienen ein viel höherer Grad von Sicherheit erreicht werden kann. Aus Nr. 6 im Vergleich zu Nr. 5 ist besonders der günstige Einfluß enger Schwellenlage deutlich zu ersehen, der sich auch aus einem Vergleich der nachstehenden mit den Angaben der ersten Auflage ergibt. Auch die Verbesserung der Bettung wirkt auf Verringerung der Laschenbeanspruchung günstig ein.

Eine etwaige konstruktive Verstärkung des Stoßes, und dadurch auch des ganzen Gleises, ist somit vorzugsweise in der Verstärkung und Verlängerung der Laschen, in engerer Schwellenlage und in einer Verbesserung der Bettung zu suchen. Die Verbesserung der Stoßausrüstung eines vorhandenen Gleises sollte ernstlich erwogen werden, sobald sich aus dem Verschleiße an den Stößen erkennen läßt, daß die Stoßausrüstung ihrer Aufgabe nicht mehr entspricht, daß vielmehr schon beträchtliche Bewegungen der Schienenenden unter den Betriebslasten eintreten. Eine Verstärkung alter Stoßausrüstungen ist auf Strecken der preußischen Staatsbahnen in einfacher Weise durch Einziehen neuer, den Abnutzungen der Laschenanlageflächen an den Schienen entsprechend verstärkter Laschen nach Bedarf unter Verwendung kräftigerer Stoßschwellen und engerer Stoßteilung erreicht worden. Die Befürchtungen, derartige verstärkte Laschen möchten sich wegen der Ungleichmäßigkeit der Schienenabnutzungen nicht fest genug an die Schienen anlegen, haben sich in mehrjähriger Erfahrung als unbegründet oder wenigstens übertrieben erwiesen, indem sich die Laschen beim Anziehen der Laschenschrauben der mehr oder minder fortgeschrittenen Abnutzung der Schienen entsprechend verbiegen und so doch einen Laschenschluß erzeugen, der ziemlich vollkommen ist und jedenfalls gegenüber dem früheren Zustande, der einen baldigen Abgang des ganzen Gleises befürchten ließ, als ein wesentlicher Fortschritt und geeignet erscheint, die übrigen Gleismaterialien noch ziemlich lange brauchbar zu erhalten[198]).

VI. Die Bettung und die Entwässerung des Oberbaues.

§ 37. Notwendigkeit und Beschaffenheit der Bettung. — Wenn das Gleis unmittelbar auf dem Erdkörper der Bahn aufliegt, so drücken sich die Schwellen je nach der Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Erdsorten gegen Zusammendrücken und je nach dem von den Witterungseinflüssen und der Aufnahmefähigkeit an Wasser abhängigen Feuchtigkeitsgrade der Bodenart mehr oder minder tief in die Erdoberfläche ein. Bei undurchlässiger Oberfläche liegen sie dann häufig in Wassertümpeln und eintretender Frost bringt erhebliche und ungleichmäßige Erhebungen des Gleises hervor. Es ist daher notwendig, zwischen das Gleis und die Krone des Erdkörpers ein möglichst durchlässiges Zwischenlager einzuschieben, durch das der Druck vom Gleis auf den Erdkörper gleichmäßig übertragen und verteilt wird, und welches schon an sich eine möglichst große Widerstandsfähigkeit gegen Zusammenpressen besitzt, ohne der Elastizität zu entbehren. Dieses Zwischenmittel ist die Bettung. Sie besteht in der Regel aus Fluß- oder Grubenkies, aus Sand (Asche, Schlacken) oder aus zerschlagenen natürlichen oder künstlichen Steinen, sogenanntem Kleinschlag (Steingeschläge, Steinschotter).

Die Bedingung der Wasserdurchlässigkeit läßt lehmige und tonige Beimengungen als zweckwidrig erscheinen, demgemäß ist im allgemeinen Flußkies dem aus Gruben gewonnenen vorzuziehen, weil dieser selten lehmfrei ist. Bei sehr feinkörniger Beschaffenheit wird die Bettung bei trockner Witterung leicht zu starker Staubbildung Veranlassung geben, wodurch nicht nur die Reisenden belästigt, sondern

198) Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 44 und Mitteiluugen aus den amtlichen Berichten der betr. Verwaltungen.

auch die Betriebsmittel beschädigt werden. Auch nimmt solche Bettung das Niederschlagswasser vollkommen in sich auf und hält es länger zurück als eine Bettung mit gröberem Korn, so daß bei Frostwetter Aufblähungen eintreten. Sand und sehr sandiger Kies sind daher zu Bettungszwecken minderwertig. Sie müssen zudem in Gegenden, die sehr heftigen Stürmen ausgesetzt sind, gegen das Wegwehen mit weniger leicht beweglichen Stoffen — Rasen, Steinen usw. — belegt werden, wie das z. B. in Indien, Rußland und anderen Ländern üblich ist. Eine Bettung mit rundem Korn leistet den vom Gleis ausgehenden senkrechten und wagerechten Kräften weniger Widerstand, als eine solche mit scharfkantigem Korn. Ferner ist die Festigkeit der einzelnen Körner gegen das Zerdrücken und Zermalmen unter den Einwirkungen der Betriebslasten und der Stopfhacken von wesentlichem Einfluß auf die Gesamtwiderstandsfähigkeit der Bettung. Kleinschlag aus Hartgestein gilt als der beste Bettungsstoff, aber auch vollkommen lehm- und möglichst sandfreier Kies ist recht brauchbar. Die vollkommene Wasserdurchlässigkeit eines guten Kleinschlages ist ein bei Frostwetter sehr hoch anzuschlagender Vorzug desselben gegenüber allen anderen mit mehr oder minder großem Sandzusatz versehenen Bettungsstoffen.

Je gleichmäßiger die Korngröße der Bettung ist, desto dichter wird sie sich lagern und desto gleichmäßiger den Druck in sich und auf die Krone des Erdkörpers verteilen. Auch für die Gleisunterhaltung, bei der die im Betriebe eintretenden unvermeidlichen Höhenabweichungen in der Gleislage durch Anheben des Gleises und Unterstopfen der Schwellen mit Bettungsstoff wieder beseitigt werden, ist ein gleichmäßiges und nicht zu grobes Korn von großem Vorteil für die Ausführung geringer Hebungen. Die einzelnen Steine sollten daher nicht mehr als höchstens 3 bis 4 cm Seitenlänge haben und höchstens 5 bis 6 cm in der Diagonale messen[199]). Wenn in Österreich Kleinschlag beim eisernen Querschwellenoberbau mit Sand gemischt wird, um eine recht feste und gleichmäßige Unterstopfung der Schwellen zu erreichen, die bei reinem Kleinschlag nicht in solchem Maße gewährleistet sein soll[200]), so mag das nach den in weiten Gebieten Deutschlands seit Jahrzehnten mit unvermischtem Kleinschlag bei eisernen Schwellen gemachten sehr günstigen Erfahrungen wohl daran liegen, daß die Korngröße des verwendeten Kleinschlages zu ungleich und besonders zum Teil zu reichlich genommen worden war. Verfasser hat in vieljähriger Erfahrung auf der Moselbahn festgestellt, daß ein Gleis sofort unruhiger liegt und schwieriger zu unterhalten ist, sobald die vorgenannten Korngrößen überschritten werden.

Auch die chemische Beschaffenheit der Bettungsstoffe ist von Bedeutung; so wirkt ein etwaiger Schwefelgehalt zerstörend auf Schienen und Metallschwellen ein. Demgemäß sind Kohlenschlacke (Asche), Kies aus Bleibergwerken usw. nur mit großer Vorsicht zu verwenden. Auch Hochofenschlacke, die bei geringem Kalkgehalt einen sehr brauchbaren Kleinschlag ergibt, zerfällt bei ungünstiger Zusammensetzung im Laufe der Zeit, wird zermalmt und bildet einen breiigen Schlamm. Ebenso können sehr hart und fest erscheinende Steine wegen zu geringer Wetter- und Frostbeständigkeit sich als ungeeignet erweisen. Im allgemeinen wird ein Hartgestein, das in den zutage stehenden Teilen seine scharfen Kanten bewahrt hat und mit rechteckigen oder spitzwinkligen, aber nicht schiefrigen Kanten und Stücken spaltet, die brauchbarste Bettung ergeben.

---

[199]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 430.

[200]) Heindl, Der Oberbau mit eisernen Querschwellen, Wien 1893.

Beschaffenheit und Verhalten der Bettung einerseits und die Größe und Gestaltung der Auflagerflächen der Schienenunterlagen anderseits beeinflussen sich gegenseitig. Je vollkommener die Bettung ist, desto kleiner kann die Auflagerfläche der Schienenunterlagen gewählt werden und umgekehrt. In Ländern, wo gute Bettung überhaupt nicht zu Gebote steht, oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu beschaffen ist, müssen die Schienenunterlagen möglichst breite Auflagerflächen erhalten oder dicht gelagert werden. Dies trifft z. B. für viele überseeische, besonders tropische Gegenden zu und war mit Veranlassung zur Ausbildung der Einzelunterstützungen mit ihren großen Auflagerflächen.

Auch die Beanspruchung des Gleises durch die Betriebslasten übt einen großen Einfluß auf die Bettung aus. Je stärker ein Gleis belastet ist, desto mehr Aufmerksamkeit muß dem dauernd guten Zustand der Bettung geschenkt werden, denn hierin liegt eines der sichersten und einfachsten Mittel zur möglichsten Erhaltung des Gleises. Tatsächlich widmen auch die Eisenbahnverwaltungen mit zunehmender Verkehrsbelastung ihrer Linien der Beschaffenheit und Erhaltung guter Bettung erhöhte Sorgfalt. Besonders auffallend tritt diese Erscheinung in Nordamerika zutage, wo man auf den meisten westlichen Linien der Bettung nur sehr wenig oder auch gar keine Beachtung schenkt, während die stark belasteten östlichen Strecken in dieser Beziehung neuerdings den europäischen Bahnen kaum noch nachstehen[201]) und schon vielfach Kleinschlagbettung haben.

§ 38. Wert der Bettung, Bettungsdruck, Bettungsziffer. — Die Bettung ist nicht ein starrer, unnachgiebiger Körper, sondern sie erleidet unter den Betriebslasten sowohl elastische wie bleibende Formveränderungen, die sowohl von der Beschaffenheit und Stärke der Bettung wie vom Untergrunde abhängen. Da eine weniger zusammendrückbare, also hochwertige Bettung die Widerstandsfähigkeit und Steifigkeit des Gleises erhöht, so ist der Wert der Bettung von größtem Einfluß auf den Wert und die Dauer des Gleises.

Bettungsdruck nennt man den von der Bettung auf die Flächeneinheit der Schienenunterlagen ausgeübten Gegendruck. Er wird nach Winkler als proportional der Stützensenkung y angenommen und durch die Form ausgedrückt:

$$p = Cy.$$

C ist eine von der Beschaffenheit der Bettung und des Untergrundes abhängige Größe, die Bettungsziffer; sie stellt gewissermaßen den Wert der Bettung dar und ist, da für $y = 1$ cm $p = C$ kg wird, der auf die Flächeneinheit wirkende Druck, der eine Stützsenkung von 1 cm herbeiführt. Die Bettungsziffer ist früher, gestützt auf nicht ganz einwandfreie Versuche Webers[202]), Hoffmanns[203]) u. a. in weiten Schwankungen und vielfach zu groß angenommen worden. Winkler[204]) setzte nach Webers Versuchen $C = 4$ bis 45, Hoffmann und nach ihm Lehwald und Riese[205]) $C =$ 9 bis 16. Kreuter kam auf Grund theoretischer Erörterungen dagegen zu sehr kleinen Werten[206]), die er schließlich nach praktischen Gesichtspunkten auf

201) Zeitschrift f. Bauwesen 1904, Heft 4. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1894, S. 6.
202) Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise, Weimar 1869, S. 163.
203) Der Langschwellenoberbau der Rheinischen Bahn, Berlin 1880, S. 30.
204) Vorträge über Eisenbahnbau, 1. Heft, 3. Aufl., S. 267.
205) Der eiserne Oberbau, Berlin 1881.
206) Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 249.

$C = 2$ für ganz frische Bettung,
$C = 9$ für ältere »
$C = 16$ für sehr feste » erhöhte.

Um dieser Unsicherheit abzuhelfen, führten die Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen unter Leitung von Häntzschel[207]) zahlreiche, sehr sorgfältig veranstaltete Versuche durch. Durch weitgehende Fernhaltung störender Nebeneinflüsse gelang es, eine solche Übereinstimmung der Ergebnisse aus den zahlreichen Versuchsreihen zu erzielen, daß diese auf große Zuverlässigkeit Anspruch machen. Es ergab sich die Bettungsziffer bei trockner Witterung und bei alter Bettung aus:

1.	Kies	ohne Packlage	auf	leichtem Lehmboden	zu 2,6—3,3
2.	»	»	»	hohem Kiesdamm	» 5,3—7,2
3.	»	»	»	schwerem Lehmboden	» 6,8—7,5
4.	»	»	»	Fels	» 7,6—8,9
5.	Kleinschlag	»	»	festem Damm	» 5,4—7,1
6.	Kies	mit Packlage	»	leichtem Lehmboden	» 4,5
7.	»	»	»	festem Damm	» 5,2—8,5
8.	Kleinschlag	»	»	» »	» 15,4

Wasiutynski ist bei ausgedehnten Messungen von Gleisbiegungen unter dem fahrenden Zuge[208]) allerdings für Grubenkies auf Sanddamm zu etwas höheren Zahlen gekommen, da er die Bettungsziffer zu 4,2 bis 5,8, im Mittel also zu 5 fand, es wird aber, um sicher zu gehen, richtiger sein, an den bei den Reichseisenbahnen gefundenen sehr sorgfältig ermittelten Werten festzuhalten.

Aus allen Beobachtungen ergibt sich, daß fester Untergrund den Wert der Bettung wesentlich erhöht; diese Wirkung kann bei nachgiebigem Erdkörper aber auch durch Herstellung einer Packlage, in begrenztem Umfang auch durch eine Schüttung aus scharfem Sand erreicht werden. Dabei muß allerdings vorausgesetzt werden, daß die Packlage aus frost- und druckbeständigen Steinen besteht und gut gesetzt, nicht aber etwa aus schlechten Steinen und unsachgemäß hergestellt wird. Auch kann Packlage allein, wenn die Bettung nicht die erforderliche Stärke erhält, den ungünstigen Einfluß schlechten Untergrundes, besonders Tonbodens, nicht aufheben, sondern höchstens mildern.

Nach vorstehenden Ergebnissen kann man die Bettungsziffer für Kies auf leichtem Lehmboden zu 3, für Kies mit Packlage auf festem Erdkörper zu 8, und für Kleinschlag unter denselben Voraussetzungen zu 15 annehmen. Wo Kleinschlag zu angemessenem Preise zu haben ist, wird man auch Packlagesteine, in der Regel sogar billiger als Kleinschlag, beschaffen können, so daß durch Herstellung einer Packlage, trotz des Arbeitsaufwandes für diese, kaum eine Verteuerung der Bettung eintritt. Man sollte daher, wenn irgend angängig, nie versäumen, eine Packlage herzustellen, darf dabei aber nie den Fehler begehen, die Gesamthöhe der Bettung etwa geringer zu bemessen, als bei einem Bettungskörper ohne Packlage. Der wohltätige Einfluß und daher auch die wirtschaftliche Bedeutung einer guten Bettung ist sowohl aus den in den Abschnitten IV § 27, S. 176, 177 und V § 36, S. 246, 247 gegebenen

---

[207]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 141, 194, 227.

[208]) Verhandlungen d. internat. Eisenbahnkongresses 1898, Nr. 11, S. 1437; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 61 und 293.

Nachweisungen über die Beanspruchungen der einzelnen Gleisteile, wie aus den in Abb. 223 dargestellten Stützsenkungen einer 2,70 m langen Holz- bzw. Eisenquerschwelle zu ersehen und auch neuerdings von Schubert im Wege des Versuches klar nachgewiesen worden[209]). Da sich durch Erhöhung der Bettungsziffer von 3 auf 8 die elastischen Formveränderungen annähernd auf $^3/_8$ ermäßigen, werden auch bleibende Verdrückungen geringer bzw. viel später eintreten, also auch die Häufigkeit und der Kostenaufwand der Gleisunterhaltungskosten abnehmen. Eine gute Bettung ist eines der wirksamsten Mittel für eine lange Dauerleistung des Gleises; in der Bettung liegt gewissermaßen die Grenze für die Leistungsfähigkeit des Oberbaues, sie ist der Regler für die Elastizität des Gleises[210]).

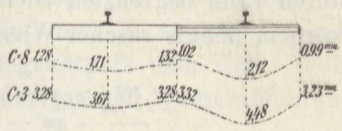
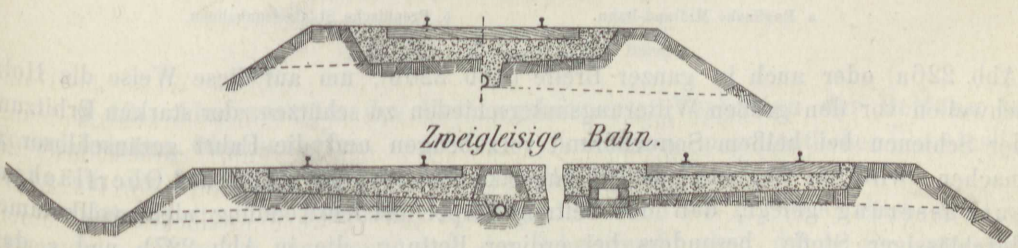


Abb. 223. Schwellensenkung. Holzschwelle 16/26 cm stark, Eisenschwelle Trogform, 58,3 kg schwer. 2,70 m lang.

§ 39. Allgemeine Gestalt des Bettungskörpers. — In der Anfangszeit der Eisenbahnen begnügte man sich, besonders bei Verwendung von Langschwellen oder Steinwürfeln, damit, unter jeder der beiden Schienen einen Graben im Erdkörper herzustellen und diesen mit Kies oder Kleinschlag auszufüllen. Der hierbei ganz ungenügende Wasserabzug hatte aber viele Mißstände zur Folge. G. Stephenson führte zu deren Beseitigung bei der Eisenbahn Liverpool-Manchester die Bettung in ganzer Bahnkronenbreite aus und setzte sie zugleich aus einer regelrecht hergestellten unteren Packlage und einer oberen Kiesschicht zusammen, ein Vorgang, der in England rasch Nachahmung fand. Auf dem europäischen Festlande hielt man dagegen noch lange an den Längsgräben fest und suchte durch einzelne Quergräben für Entwässerung zu sorgen. Auch als man, mit fortschreitendem Übergange zum Querschwellenoberbau, es notwendig fand, die Bettung auf etwas mehr als ganze Schwellenlänge anzuordnen, glaubte man behufs Erzielung größeren Widerstandes des Gleises gegen Seitenkräfte eine seitliche Begrenzung durch den Erdkörper beibehalten zu müssen. So entstand das eingekofferte Gleisbett (Abb. 224), das besonders



1 : 100.

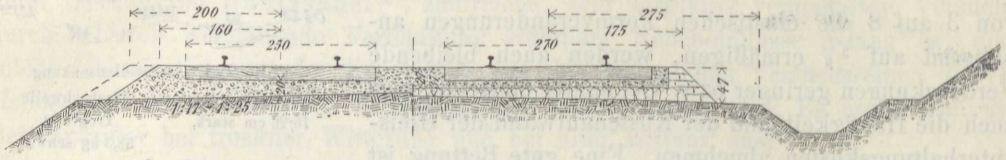
Abb. 224. Eingekofferte Bettung.

in Deutschland und Belgien lange Zeit das herrschende war. Aber trotz der in 3 bis 5 m Abstand angeordneten Entwässerungsquergräben, die zuweilen, besonders bei

[209]) Zeitschrift f. Bauwesen 1896, S. 39; 1888, S. 107; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 118. Schubert glaubt allerdings nach seinen Versuchen die Anwendung von Packlage bei aufgeweichtem Tonboden nicht empfehlen zu sollen.

[210]) Beschluß 1 zu Fraga IX des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900; Generalbericht, 2. Band, Brüssel 1901.

zweigleisiger Bahn, auch mit Längsentwässerungen verbunden waren, war die Wasserabführung eine ungenügende. Man ging daher auch hier zu einem seitlich nicht durch Erde begrenzten Gleisbett über und gab gleichzeitig der Oberfläche des Erdkörpers behufs rascher Wasserabführung Querneigung (Abb. 225). So bestimmen denn

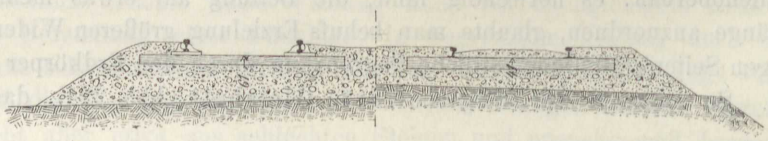


1 : 100.

Abb. 225. Deutsche Hauptbahnen.
a Mindestmaße. b Bettung.

auch die zurzeit geltenden T. V. des V. d. E. V. in § 32 unter 2: »Die Sohle der Bahnbettung soll eine vollständige Entwässerung erhalten«, und unter 3: »Die Bahnbettung soll nicht mit undurchlässiger Einfassung versehen sein und letztere, wenn sie vorhanden ist, beseitigt, bzw. durch durchlässiges Material ersetzt werden.« Bei manchen Bahnverwaltungen wird zurzeit die seitliche Begrenzung der Bettung durch Trockenmauern mit ganz offenen Fugen hergestellt, ein Verfahren, das dem Bettungskörper einen starken seitlichen Halt gibt, ohne die Wasserabführung zu behindern und daher dort, wo geeignete Steine ohne hohe Kosten zu haben sind, ebenso empfohlen werden kann, wie die Herstellung einer guten Packlage (Abb. 225b).

Während in Europa die Gleise vielfach über die Schwellenoberkante hinaus mit dem Bettungsstoffe verfüllt werden, entweder nur außerhalb der Schienen



1 : 100.

Abb. 226. Bettung mit überdeckten Schwellen.
a Englische Midland-Bahn. b Preußische Staatseisenbahnen.

(Abb. 226a) oder auch in ganzer Breite (Abb. 226b), um auf diese Weise die Holzschwellen vor den großen Witterungsunterschieden zu schützen, der starken Erhitzung der Schienen bei heißem Sonnenbrand vorzubeugen und die Fahrt geräuschloser zu machen, wird im Gegenteil in Nordamerika ein so hoher Wert auf Oberflächenentwässerung gelegt, daß der Bettungskörper bei Verwendung nicht vollkommen durchlässiger Stoffe, besonders bei erdiger Bettung, die in Abb. 227b und c dargestellte Form mit freiliegenden Schwellenköpfen erhält. Diese Form war die früher in Nordamerika allgemein übliche; erst seit Übergang zu besserer, durchlässiger Bettung hat sie der in Abb. 227a dargestellten zum Teil Platz gemacht, bei der zwar die Schwellenköpfe bis zur Oberfläche, in der Regel aber nicht auch seitlich verfüllt sind. In Europa wird vielfach gerade die möglichst weitgehende Verfüllung der Schwellenköpfe im Interesse einer ruhigen Gleislage für erwünscht gehalten und neuerdings zeigt sich auch in Nordamerika das Bestreben, den Bettungskörper über die Schwellenköpfe hinaus zu verbreitern (Abb. 228). Auf der Chicago-St. Paul-Minneapolis- und Omahabahn sind sogar Bettungsbreiten von 3,33 m bei Steinschlag

und 3,66 m bei Kies bei eingleisiger Bahn eingeführt[211]). Immerhin kann die ältere amerikanische Anordnung, bei der die Gleise, allerdings bei sehr dichter Schwellenlage, nicht unruhiger liegen sollen, als in Europa, als ein Fingerzeig gelten, daß von einem Verfüllen der Schwellen kein entscheidender Einfluß auf die ruhige Gleislage zu erwarten ist. Die Gestalt des amerikanischen Bettungskörpers mag daher wohl dort berechtigt sein, wo die Beschaffenheit der Bettung der raschen Wasserabführung

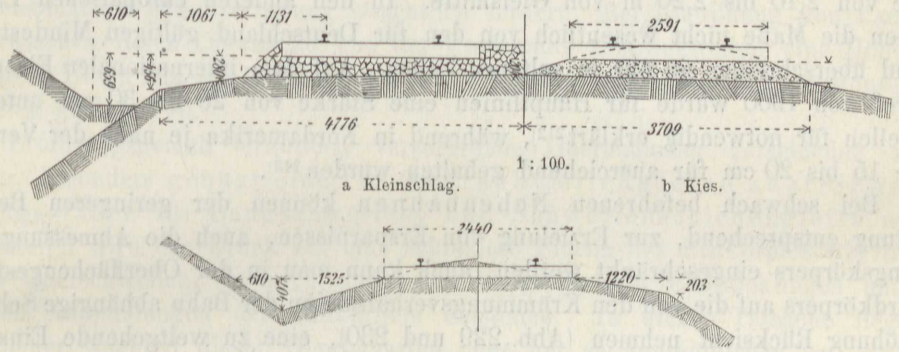


Abb. 227. Nordamerikanische Bettungskörper.

in hohem Maße hinderlich ist, oder auch wo es gilt, die Anlagekosten einer Bahn weit herabzudrücken und aus örtlichen Verhältnissen die Einschränkung der Bettungsmenge hierzu besonders geeignet erscheint. Im allgemeinen aber kann ein Verfüllen der Schwellen, wie es in Abb. 226 dargestellt ist, wegen der sonstigen Vorzüge des Verfahrens, nur empfohlen werden.

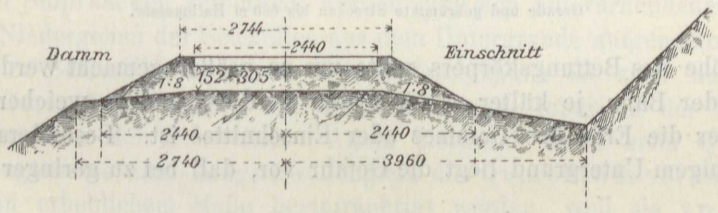


Abb. 228. Nordamerikanische Bahnen.

§ 40. Abmessungen des Bettungskörpers. Verhalten der Bettung bei verschiedenen Oberbauarten. — Die T. V. bestimmen in wesentlicher Übereinstimmung mit der B.-O. über die Abmessungen der Bettung:

»Die Breite des Bahnkörpers auf freier Bahn — in Einschnitten und auf Dämmen — ist so zu bemessen, daß der Schnittpunkt einer durch die Unterkante der Schienen des nächstliegenden Gleises gelegten geraden Linie und der verlängerten Böschungslinie mindestens 2,0 m von der Mitte des Gleises entfernt liegt.

Die Bahnkrone in Höhe der Schienenunterkante muß, außer bei eingedeichten Strecken, mindestens 600 mm über dem höchsten Wasserstande liegen.

Die Bettung soll unter den Schienenunterlagen mindestens 200 mm stark und gehörig entwässert sein.«

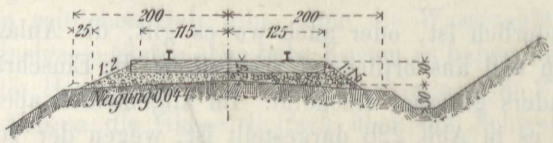
---

211) Bericht zu Frage IX der Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongresses von 1900, Bd. 2, Brüssel 1901, wo zahlreiche Bettungsquerschnitte amerikanischer Bahnen mitgeteilt sind.

In Abb. 225a ist der diesen Mindestforderungen entsprechende Bettungskörper dargestellt, bei den meisten deutschen Hauptbahnen sind aber sowohl Stärke wie Breite der Bettung reichlicher bemessen (siehe Abb. 225b, 226b).

Die große Wichtigkeit einer guten und hohen Bettung ist besonders in England schon sehr früh erkannt. Die Bettungshöhe bis Schwellenoberfläche beträgt dort im allgemeinen 610 mm (Abb. 226a), also unter den Schwellen etwa 480 mm bei einer Breite von 2,10 bis 2,20 m von Gleismitte. In den anderen europäischen Ländern weichen die Maße nicht wesentlich von den für Deutschland gültigen Mindestmaßen ab und überschreiten sie nur in seltenen Fällen. Auf dem internationalen Eisenbahnkongreß von 1900 wurde für Hauptlinien eine Stärke von 25 bis 30 cm unter den Schwellen für notwendig erklärt[212]), während in Nordamerika je nach der Verkehrsdichte 15 bis 20 cm für ausreichend gehalten wurden[213]).

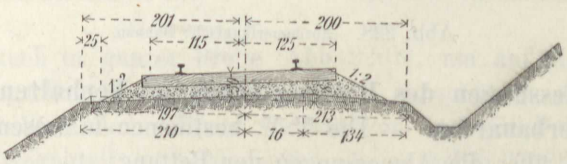
Bei schwach befahrenen Nebenbahnen können der geringeren Betriebsbelastung entsprechend, zur Erzielung von Ersparnissen, auch die Abmessungen des Bettungskörpers eingeschränkt werden; auch kann man in der Oberflächengestaltung des Erdkörpers auf die von den Krümmungsverhältnissen der Bahn abhängige Schienenüberhöhung Rücksicht nehmen (Abb. 229 und 230), eine zu weitgehende Einschränkung der Bettungshöhe ist aber nicht zu empfehlen.



Kies. 1 : 100. Kleinschlag.

Abb. 229. Preußische Staatseisenbahnen. Bettung für Nebenbahnen. Gerade und gekrümmte Strecken bis 600 m Halbmesser.

Die Höhe des Bettungskörpers sollte um so größer gemacht werden, je stärker der Verkehr der Bahn, je kälter es im Winter wird[214]), und je weicher und wasserundurchlässiger die Erde des Dammes oder Einschnittes ist. Besonders bei naß gewordenem tonigem Untergrund liegt die Gefahr vor, daß bei zu geringer Bettungshöhe



1 : 100.

Abb. 230. Preußische Staatseisenbahnen. Bettung für Nebenbahnen. Strecken mit 180 bis 300 m Halbmesser.

die Druckverteilung von den Schienenunterlagen auf den Erdkörper so ungleich wird, daß der Tonbrei zwischen den von den Schwellen ausgehenden Druckstellen bis auf die Bettungsoberfläche aufgetrieben und dadurch die Entwässerung und die davon abhängende ruhige Gleislage ernstlich beeinträchtigt wird. Am besten ist es, dem

---

212) Beschluß 4 zu Frage IX, Generalbericht, 2. Band, Brüssel 1901.

213) Railroad Gazette 1904, S. 231. Bericht über die Versammlung der Bahnunterhaltungsingenieure.

214) Beschluß 4 zu Frage IX, Generalbericht, 2. Band, Brüssel 1901.

Bettungskörper eine diesen Umständen Rechnung tragende wechselnde Höhe zu geben, wobei es immerhin angängig ist, für den untersten Teil einer hohen Bettung einfache Sandschüttung zu verwenden. Wo ein solches Verfahren aber nicht angängig ist, muß man versuchen, durch die Beschaffenheit der Bettung die wechselnde Beschaffenheit des Untergrundes zu berücksichtigen, indem z. B. bei schlechterem Untergrund die Bettung mit gut gesetzter Packlage von 15 bis 20 cm Höhe versehen wird, welche die gleichmäßige Druckverteilung wesentlich fördert. Bei Anordnung von Packlage muß zwischen deren Oberfläche und der Unterkante der Schwellen eine Höhe von mindestens 10 cm feineren Bettungsmaterials vorhanden sein, das zum Unterstopfen der Schwellen geeignet ist.

Erfahrungsgemäß erfordern verschiedene Oberbauarten verschieden starke Bettung, besonders genügt eine für Querschwellengleise ausreichende Bettungsstärke für Langschwellen- und Schwellenschienengleise nicht. Bei letzteren wird der Druck auf eine schmälere Fläche des Erdkörpers übertragen, als bei Querschwellen, wodurch unter den Langschwellen Eindrückungen und dazwischen Aufquellungen des Erdkörpers entstehen. In dieser Tatsache liegt ein wesentlicher Nachteil dieser Oberbauarten, der um so empfindlicher ist, als auch regelmäßig die Bettung unter den Schwellen an Durchlaßfähigkeit verliert[215]). Bei Langschwellengleisen kann aber dann das zwischen den Schienen auffallende Niederschlagswasser überhaupt nicht oder nicht mehr in ausreichendem Maße seitlich abziehen, durchweicht vielmehr den wellig gewordenen Erdkörper und verschärft so in fortschreitendem Maße das Übel.

Das Undurchlässigwerden der Bettung unter den Schwellen hat seinen Grund darin, daß deren weichere Teile unter den Einwirkungen der Witterung, der Betriebslasten und der Stopfhacken zermahlen werden und sich mit vorhandenen oder durch das Auf- und Niedergehen der Schwellen aus dem Untergrunde aufgenommenen erdigen Bestandteilen zu Schlamm verbinden. Diese Erscheinung ist zwar auch bei Querschwellen zu beobachten, ebenso wie Senkungen und Hebungen der Bettungssohle unter bzw. zwischen den Schwellen. Allein hierdurch kann beim Querschwellenoberbau im Gegensatze zum Langschwellengleis die Querentwässerung des Gleisbettes nicht in erheblichem Maße beeinträchtigt werden, weil sie zwischen den Schwellen meistens offen bleibt.

Durch umfassende Erhebungen, die an bestehenden Gleisen auf Strecken der preußischen Staatsbahndirektion Frankfurt a. M.[216]), sowie von Schubert sowohl an vorhandenen Gleisen, wie in besonderen Versuchskästen mit Gleisen verkleinerten Maßstabes vorgenommen wurden, sind diese Tatsachen erhärtet[217]). Bei einem Untergrunde aus bildsamem Ton konnte Schubert erst dann Gleichgewicht erzielen, wenn die Bettungshöhe zwischen den Schwellen gleich deren lichtem Abstand + 20 cm genommen wurde.

Da die Entfernung der Querschwellen viel geringer ist als die der Langschwellen (bei denen besonders der große Abstand der beiden inneren Langschwellen

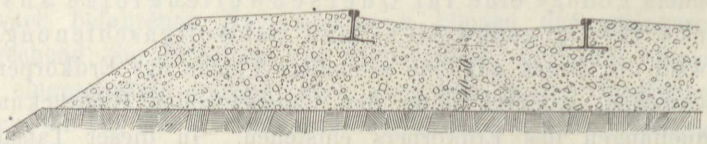
---

215) Schubert fand, daß eine neue aus mittelgutem Stoffe hergestellte Bettung bis zu 30 cm unter dem Langschwellenlager vollständig undurchlässig geworden war. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1891, S. 195.

216) Lehwald und Riese, Der eiserne Oberbau, Berlin 1881.

217) Zeitschrift f. Bauwesen 1889, S. 555; 1891, S. 61; 1896, S. 39; 1897, S. 107. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1891, S. 195; 1899, S. 118.

einer zweigleisigen Bahn berücksichtigt werden muß), so ist der mit dem Schwellenabstand wachsende schädliche Einfluß schlechten Untergrundes beim Querschwellenoberbau niemals so groß, wie bei Langschwellen; er kann zudem durch Vermehrung der Schwellen in fast unbegrenzter Weise verkleinert oder ganz aufgehoben werden. Die Frage der Herstellung eines ausreichenden Gleisbettes ist daher beim Querschwellenoberbau viel leichter und einfacher zu lösen, als beim Langschwellengleis. Oft genügt es schon, den schlechteren Untergrund zwischen den Schwellen auf entsprechende Tiefe auszuheben und durch durchlässige Massen zu ersetzen. Aus den dargelegten Gründen hat man die Bettungshöhen beim Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau ziemlich allgemein reichlicher bemessen, als beim Querschwellenoberbau, wie aus den Abb. 231 und 232 zu ersehen ist. Insbesondere hat sich auch

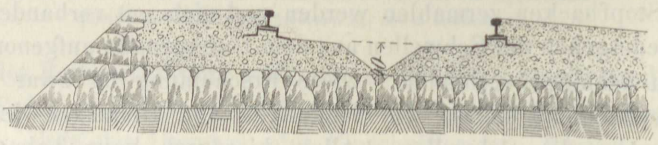


1 : 50.

Abb. 231. Bettung bei Schwellenschienen.

die Technikerversammlung des V. d. E. V. im Jahre 1884 in diesem Sinne ausgesprochen[218]).

Es ist hier noch zu erwähnen, daß sich erfahrungsgemäß die ungünstigen Einflüsse eines mangelhaften Bettungsstoffes bei eisernen Schwellen rascher und in höherem Maße geltend machen, als bei hölzernen Schwellen[219]), was darin seine



1 : 50.

Abb. 232. Bettung bei Langschwellenoberbau.

Ursache haben dürfte, daß Holzschwellen mit ihrem breiten, verhältnismäßig weichen Auflager die einzelnen Bettungsteilchen weniger stark pressen und daher weniger leicht zermahlen, als eiserne Schwellen mit ihren scharfen, harten Fußrändern. Diese Erscheinung war namentlich bei den früher vielfach verwendeten zu schwachen Eisenquerschwellen mit fehlerhaftem Querschnitt wahrzunehmen und hat durch Übergang zu ausreichend langen, breiten und gut geformten Schwellen an Bedeutung verloren[220]). Immerhin empfiehlt es sich bei eisernen Schwellen nur Bettung erster Güte — Kleinschlag aus Hartgestein — zu verwenden oder, in Ermangelung von solchem, die Bettungshöhe etwas reichlicher zu bemessen oder womöglich eine gute Packlage unter dem Kies anzubringen.

Ganz besondere Sorgfalt muß der Herstellung des Gleisbettes überall da gewidmet werden, wo das Gleis in Wegen oder Straßen liegt. Wie schon im V. Ab-

---

218) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX. Ergänz.-Bd. 1884, S. 36.

219) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 299, 430.

220) Glasers Annalen 1893, S. 54; Heindl, Der Oberbau mit Querschwellen, Wien 1893.

schnitt § 33, S. 204, 205 hervorgehoben wurde, ist es notwendig, an solchen Stellen die Schienenunterlagen tiefer zu legen, als auf gewöhnlicher freier Strecke; demgemäß muß auch die Gesamthöhe der Bettung entsprechend reichlicher gewählt werden, damit unter den Schwellen keine geringere Bettungshöhe vorhanden ist, als an anderen Stellen. Außerdem aber sollte man hier besonders feste und wasserdurchlässige Bettungsstoffe wählen, weil die Schienen und besonders die Spurrillen in der Regel die tiefsten Punkte der betreffenden Stelle sind, an die sich alles Niederschlagswasser, einschließlich des von der Wegoberfläche mitgeführten Schlammes, hinzieht.

§ 41. Entwässerung des Gleises und der Bettung. — a. Oberflächenentwässerung. Wo nur mangelhafte Bettung mit geringer Wasserdurchlässigkeit zu Gebote steht, wie in vielen überseeischen Ländern, die zudem noch unter sehr heftigen Regengüssen leiden, muß für eine gründliche Oberflächenentwässerung gesorgt werden. Die Abb. 227b und 227c zeigen solche Bettungsformen. Ferner stellt Abb. 233 eine in Argentinien, wo die Gleise in der Regel in die gewöhnliche Erde



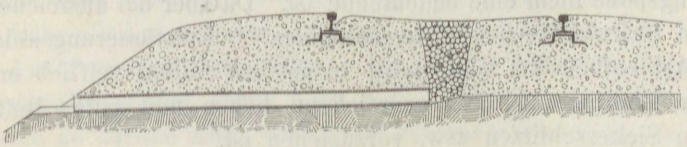
1 : 50.

Abb. 233. Oberflächenentwässerung. Argentinische Eisenbahnen.

gelegt werden, übliche Ausführung dar. Die sowohl der Quer- wie der Längsrichtung nach dachförmig gestaltete Oberfläche wird mit Rasen abgedeckt, um einem Unterspülen der Schienenunterlagen bei heftigen Regengüssen, sowie auch der Staubbildung vorzubeugen.

Auch der in Abb. 224 in der Gleismitte dargestellte Graben, der außerdem noch etwa alle 4,5 m durch Quergräben nach außen entwässert werden kann, falls das Niederschlagswasser in der Packlage nicht rasch und vollkommen genug abziehen sollte, gehört zur Oberflächenentwässerung. Diese ist überhaupt bei Schwellenschienen und Langschwellengleisen vielfach zur Anwendung gekommen, um den Übelständen, die mit diesen Bauarten für die Verschlammung der Bettung verbunden sind, nach Möglichkeit vorzubeugen[221]).

b. Besondere Entwässerungsanlagen. Namentlich beim Langschwellenoberbau sind vielerorts besondere Entwässerungsanlagen notwendig geworden, um das Niederschlagswasser aus der Mitte des Gleises oder der beiden Gleise nach außen abzuführen. Man hat dabei mit grobkörnigem Material ausgefüllte oder aus Trockenmauerwerk hergestellte Längssickerschlitze angelegt und diese in Abständen von



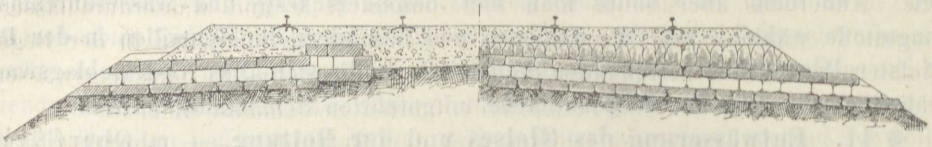
1 : 50.

Abb. 234. Bettung mit Sickerröhren.

einer halben oder ganzen Schienenlänge nach außen entwässert (Abb. 234 bis 237), oder sich auch nur mit Querentwässerung begnügt (Abb. 235b). Wenn solche Ent-

[221]) Haarmann, Das Eisenbahngleis, S. 813.

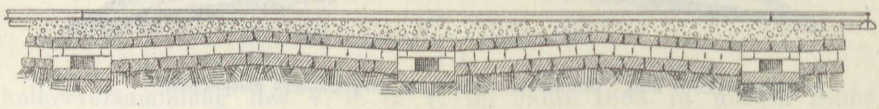
wässerungsanlagen auch einen günstigen Einfluß auf die Lage der Langschwellengleise und die Erhaltung einer brauchbaren Bettung ausgeübt haben, so steht ihr Erfolg doch nicht im Verhältnis zu ihren Kosten, weil auch mit ihnen eine dauernde Wirkung nicht zu erzielen ist. Die X. Technikerversammlung des V. d. E. V. erklärte



a Ohne Packlage. 1 : 100. b Mit Packlage.

Abb. 235. Bettung mit Sickerkanälen.

daher neben der Herstellung einer unter der Schwellendruckfläche durchschnittlich 40 cm starken Unterbettung aus durchlässigem Stoffe zwar eine möglichst vollkommene Entwässerungsanlage für notwendig, betonte zugleich aber, daß erfahrungsgemäß alle Sickeranlagen mit der Zeit unwirksam würden[222]).

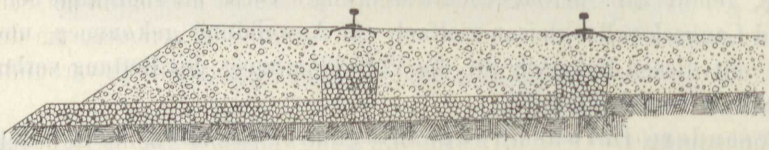


1 : 100.

Abb. 236. Sickerkanäle ohne Packlage.

Beim Querschwellenoberbau sind besondere Entwässerungsanlagen nur bei ausnahmsweise ungünstigem Untergrunde nötig, man kann sie in ähnlicher Weise wie bei Langschwellengleisen als Längs- und Quergräben ausführen.

Bei allen Entwässerungsanlagen sollte man die Oberfläche des Erdkörpers mit angemessener Neigung nach den Sickergräben abdachen. Doch pflegt die dauernde



1 : 50.

Abb. 237. Bettung mit Sickerschlitzen.

Erhaltung dieser Oberflächenneigung bei tonigem Untergrunde recht schwierig zu sein, wenn die Bettungshöhe nicht eine bedeutende ist. Da aber bei ausreichender Bettungshöhe nach den Schubertschen Untersuchungen[223]) Entwässerungsanlagen der eben besprochenen Art entbehrlich sind, wird in solchen Fällen reiflich erwogen werden müssen, ob die Einbringung einer ausreichend hohen und guten Bettung nicht der Herstellung von Sickerschlitzen usw. vorzuziehen ist.

---

[222]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1884, S. 36 und 46.

[223]) Zeitschrift f. Bauwesen 1889, S. 555; 1891, S. 61; 1896, S. 39; 1897, S. 207.

VII. Der Oberbau als Ganzes.

§ 42. Einleitung. — Betrachtet man das Gleis als ein konstruktives Ganzes, so muß man je nach der Bauart unterscheiden zwischen Gleisen, bei denen die Schienen nur in gewissen Abständen unterstützt sind — Querschwellengleise und solche mit Einzelunterstützungen — und solchen, bei welchen die Unterstützung eine fortlaufende ist — Langschwellengleise —, sowie endlich solchen, bei denen die Fahrschienen überhaupt ohne besondere Unterstützung unmittelbar in der Bettung lagern — Schwellenschienengleise.

Da Gleise auf Einzelunterstützungen für europäische und besonders deutsche Verhältnisse nur ein untergeordnetes Interesse bieten, so sollen hier unter Hinweis auf die im Abschnitt IV gebrachten Mitteilungen weitere Erörterungen über diese Bauart unterbleiben.

§ 43. Querschwellengleise. Vergleich zwischen Gleisen mit Stuhlschienen und Breitfußschienen. — Die Querschwellengleise sind konstruktiv entweder nach dem Stoffe der Schwellen in Holzschwellen- oder Eisenschwellengleise zu unterscheiden, oder nach der Form der Schienen in Breitfußschienen- und Stuhlschienengleise; diese abweichenden Grundlagen bedingen wesentlich verschiedene Befestigungsmittel. Außerdem ist bei Querschwellengleisen noch das Verhältnis zwischen der Masse der Schienen und der der Unterschwellung in Betracht zu ziehen, ferner inwieweit die Unterschwellung auch bei Auswechslungen der Schienen unverändert liegen bleiben kann, endlich wie tief die Unterschwellung in der Bettung gelagert ist.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß ein Gleis mit tief liegenden Schwellen, die unabhängig von Schienenauswechslungen unverändert liegen bleiben können, unter sonst gleichen Verhältnissen ruhiger liegt und daher auch angenehmer und ruhiger zu befahren ist, als ein Gleis, dessen Schwellen mehr auf der Oberfläche der Bettung liegen und in Anbetracht der verwendeten Befestigungsmittel bei Schienenauswechslungen in mehr oder minder ausgedehntem Maße in ihrer Lage verändert werden können oder müssen. Die feste Lagerung der Schwellen in der Bettung wird zwar durch das Unterstopfen der Schwellen, d. h. durch Herstellung eines möglichst gleichmäßig dichten, der Unterfläche der Schwellen angeschmiegten Bettungskörpers vorbereitet, aber ein festes, nur noch elastisch nachgiebiges Bettungslager wird erst durch das Befahren, durch das Niederdrücken der Schwellen unter den Betriebslasten fertiggestellt[224]) und ein solches gut gefestigtes Lager sollte nicht ohne Not wieder gelockert oder verändert werden. Bei einer sehr starren Verbindung der Schienen und Schwellen werden letztere aber den wellenförmigen Nieder- und besonders auch Aufbiegungen der Schienen im ganzen Umfange folgen und dadurch ihr Lager regelmäßig wieder etwas lockern[225]). Es mag in dieser Tatsache wohl einer der Gründe zu suchen sein, warum bei eisernen Schwellen, bei denen die Verbindung der Schienen in der Regel eine unnachgiebigere ist, als bei Holzschwellengleisen, das Bedürfnis nach guter Bettung größer ist, als bei diesen; denn je schlechter die Bettung ist, desto leichter und rascher wird sich das Schwellenlager lockern.

[224]) Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 381. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 141.

[225]) Siehe hierüber die Abhandlung von Zimmermann im Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 233.

Beim Stuhlschienenoberbau ist nun diesen Tatsachen in hohem Maße Rechnung getragen, denn die Schwellen liegen um 30 bis 40 mm tiefer in der Bettung, als beim Breitfußschienengleis, sie können einschließlich der fest mit ihnen verbundenen Schienenstühle bei allen Schienenauswechslungen unverrückt liegen bleiben und die Holzkeilbefestigung der Schiene im Stuhl bietet mehr Elastizität, als die Befestigung der Breitfußschienen, so daß die sich aufbiegende Schiene die Schwelle in geringerem Maße von ihrem Lager abheben wird als bei diesen. Diesem empfehlenswerten Konstruktionsgedanken dürfte wohl in erster Linie das gute Verhalten des Stuhlschienenoberbaues im Betriebe, das so vielfach bestätigt wird, zuzuschreiben sein, weniger der zulässigen größeren Härte des Schienenstahles (siehe III, S. 108) und dem breiten Auflager der Schienenstühle; denn erstere kann höchstens auf die Schienendauer, nicht aber auf das Verhalten des Gleises unter den Betriebslasten einwirken, und letzteres wird wohl aufgewogen durch die infolge der Beweglichkeit der Keilbefestigung eintretende schlag- und stoßweise Belastung der Schwellen durch die unter den Betriebslasten sich niederbiegenden Schienen.

Allein diesen Vorzügen des Stuhlschienenoberbaues stehen sehr erhebliche Mängel gegenüber, sowohl konstruktive wie wirtschaftliche. Die Befestigung der Schienen in den Stühlen vermittels der Holzkeile ist, wenigstens in Ländern mit stark schwankenden Wärme- und Feuchtigkeitsgraden der Luft, ein äußerst schwacher Punkt, und eine zuverlässigere Befestigungsweise ist bisher noch nicht gefunden. Bei gelockerter Keilbefestigung muß die Schiene im Stuhl starke Bewegungen machen, die für deren langen Bestand um so bedenklicher sind, als das Auflager des Unterkopfes im Stuhl nur ein schmales ist, also zu hohen Pressungen Veranlassung gibt. Ferner sind die Keile, wenn man nicht besondere Stoßstühle anwenden will, ein Hinderungsgrund, den Stoßschwellen einen möglichst geringen, lediglich durch die Möglichkeit des Unterstopfens bedingten Abstand zu geben und die Laschen in solche feste Verbindung mit den Stoßschwellen zu bringen, daß deren Abstand und Lage zum Schienenstoße ein unveränderlicher bleibt (siehe V, S. 219 und 231). Zudem haben die Stuhlschienen bei gleichem Trägheitsmoment ein größeres Gewicht, als die Breitfußschienen (siehe III, S. 134) und bedürfen zu ihrer Befestigung auf den Schwellen der besonderen Stühle, die, ohne der Tragfähigkeit des Gleises unmittelbar zu dienen, einen sehr erheblichen Anteil des Gesamtgewichtes, also auch der Gesamtkosten des Gleises, beanspruchen (siehe Zusammenstellung auf S. 266, 267). Der Stuhlschienenoberbau ist daher auch erheblich teurer, als der Breitfußschienenoberbau. Von mancher Seite wird zwar das größere Gewicht als ein Vorzug angesehen, der die höheren Anlagekosten wohl rechtfertigen könne und voraussichtlich zu geringeren Unterhaltungskosten führe[226]). Allein die Bevorzugung des hohen Gewichtes beruht auf einer Überschätzung dieses gegenüber der Tragfähigkeit und Steifigkeit des Gleises[227]). Auch ist die Annahme niedrigerer Unterhaltungskosten nicht erwiesen, wird im Gegenteil von namhaften Fachmännern auf Grund der konstruktiven Mängel der Stuhlschienengleise bestritten[228]). Tatsächlich haben sich auch bei einem Versuch, der auf den preußischen Staatsbahnen mit der älteren Form des Oberbaues der englischen Midlandbahn (Abb. 53, S. 132) auf einer

---

226) Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 157.

227) Ebenda 1892, S. 72, 86, 97, 117, 125.

228) Ebenda 1891, S. 24. Zeitschr. d. Ver. d. Eisenbahnverw. 1891, S. 959.

stark befahrenen Hauptbahnstrecke von 1 km Länge von 1893 bis 1902 gemacht worden ist[229]), in der Bewährung und Unterhaltung des Gleises keinerlei Vorzüge gegenüber dem preußischen Oberbau 6e geschweige denn 8b ergeben (siehe Zusammenstellungen auf S. 126 und 127). Dabei stellt sich aber der Midlandoberbau in den Anlagekosten um etwa 30 v. H. und 50 v. H. höher als der preußische Oberbau 8b und 6e. Auch die auf den badischen Staatsbahnen gemachten Versuche haben kein gutes Ergebnis geliefert; dort hat sich namentlich gezeigt, daß die Keile bei anhaltend trockner Witterung einschrumpfen und locker werden. Die wirtschaftliche Überlegenheit des Breitfußschienenoberbaues gegenüber dem Stuhlschienenoberbau ist nach obigen Angaben eine sehr bedeutende und es ist daher nicht zu verwundern, daß, abgesehen von einzelnen Versuchen, die europäischen und nordamerikanischen Eisenbahnen, die seinerzeit das Breitfußschienengleis bei sich eingeführt und weitergebildet haben, daran festhalten.

Allerdings ist dieser Standpunkt nur unter der Voraussetzung berechtigt, daß das Breitfußschienengleis mit allen den Vervollkommnungen ausgerüstet ist, die sich nach und nach als notwendig ergeben haben, und die zum Teil bei dem Stuhlschienenoberbau schon längere Zeit bestanden. Hierher gehören: das Tränken der Holzschwellen mit fäulniswidrigen Stoffen oder die Verwendung eiserner Schwellen und der Schutz der Schwellen gegen die Angriffe des Schienenfußes und der Befestigungsmittel durch Unterlagsplatten, ferner wirkungsvolle Mittel gegen das Wandern der Schienen und eine möglichst feste Einspannung der letzteren, besonders auf den Stoßschwellen, um Verdrehungen der Schienenenden vorzubeugen, sowie endlich vor allen Dingen die Herstellung eines ebenso steifen und tragfähigen Gleises wie beim Stuhlschienenoberbau. Aber auf allen diesen Gebieten ist von den meisten Bahnen mit Breitfußschienen sehr lange durch Unterlassungssünden gefehlt worden und wird zum Teil noch gefehlt, z. B. durch Weglassung von Unterlagsplatten. Man glaubte vielfach zur Erzielung niedriger Anlagekosten mit so schwachen Gleisen auskommen zu können, wie sie im Gebiete des Stuhlschienenoberbaues nie bestanden haben. Dieser Tatsache mag der Umstand zuzuschreiben sein, daß manche Fachleute, welche die Unzulänglichkeit der alten Breitfußschienengleise den neueren Betriebsanforderungen gegenüber erkannt haben, den Übergang zum Stuhlschienenoberbau forderten[230]). Unterstützt wurde diese Forderung wohl auch durch die Tatsache, daß manche Verstärkungen der Breitfußschienengleise in unzureichender oder einseitiger Weise durchgeführt worden sind und daher unmöglich von dem Erfolge begleitet sein konnten, der dem Kostenaufwande hätte entsprechen sollen. Es ist z. B. sehr beachtenswert, daß die Anhänger des Überganges zum Stuhlschienenoberbau besonders in Frankreich zu finden sind, wo sehr große Bahngebiete bis zu den Jahren 1888 und 1889 einen viel zu schwachen, in jeder Hinsicht minderwertigen Oberbau mit breitfüßigen Schienen in Benutzung hatten, der dann unter Vernachlässigung der Notwendigkeit der Unterlagsplatten in recht einseitiger Weise durch Verstärkung der Schiene verbessert wurde. Anderseits hat die Paris-Lyon-Mittelmeer-Eisenbahn, die schon seit 1868 einen in allen Teilen ziemlich kräftigen Oberbau besaß und diesen nach und nach noch gleichmäßig weiter verstärkte, sich 1889 in Paris auf dem internationalen Eisenbahnkongreß, gestützt

---

229) Haarmann, Das Eisenbahngleis. Kritischer Teil, S. 148.

230) Verhandlungen d. internat. Eisenbahnkongresses in Paris 1889. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 138. Staně, Theorie und Praxis des Eisenbahngleises, Wien 1892, S. 128, 164.

auf eigene Erfahrung mit beiden Oberbauarten, gegen den Stuhlschienenoberbau ausgesprochen.

Als Mittel, den Breitfußschienenoberbau in ausreichender Dauerleistung herzustellen, kommen neben der allgemeinen Anwendung von Unterlagsplatten vorzugsweise eine Verstärkung der Bettung, der Unterschwellung und der Schiene in Frage. Die Tatsache, daß die englischen Stuhlschienengleise mit ihren schweren Schienen sich trotz weiter Schwellenlage als gut und den meisten ältern Gleisen mit Breitfußschienen überlegen erwiesen, hat in weiten Kreisen die Ansicht aufkommen lassen, daß auch eine Verbesserung der Breitfußschienengleise vorzugsweise oder sogar ausschließlich in der Einführung schwerer Schienen zu suchen sei[231]). Diese Auffassung übersieht aber, daß die guten englischen Gleise von jeher in einer um 20 bis 25 cm höheren Bettung ruhten als festländische Gleise (siehe VI, S. 256), daß ferner in England seit langen Zeiten Schwellen von 2,72 m Länge üblich sind, während auf dem Festlande fast durchweg bis vor nicht langer Zeit eine Länge von höchstens 2,50 m für ausreichend erachtet wurde, ja vielfach noch heute für genügend gehalten wird, und daß alle Schwellen jenseits des Kanals den Schutz der Schienenstühle genießen: alles Tatsachen, von der größten konstruktiven, das gute Verhalten eines Gleises nachhaltig beeinflussenden Bedeutung. Theorie und Praxis lehren, daß eine Verbesserung und Verstärkung der Bettung und Unterschwellung zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Gleises, besonders auch gegenüber den Stoßwirkungen der Betriebsmittel, mindestens so wirkungsvoll, wenn nicht wirkungsvoller ist, als die Erhöhung der Tragfähigkeit der Schiene[232]). Die Verstärkung der Bettung und der Unterschwellung wird aber meistens mit viel geringeren Kosten durchführbar sein, als die Verstärkung der Schienen, und vor allen Dingen kann erstere in einfachster und leichtester Weise von Fall zu Fall nach den örtlichen Bedürfnissen bewirkt werden, ohne daß man zu so einschneidenden konstruktiven Maßregeln schreiten muß, wie sie mit dem Übergange zu stärkeren Schienen in der Regel verbunden sind. In sehr vielen Bahngebieten, die im ganzen noch keinen übermäßigen Verkehr besitzen, kommen kürzere, sehr stark belastete Strecken vor; in solchen Fällen ist eine entsprechende Verstärkung der Unterschwellung ein sehr wirksames Mittel zur Verstärkung des ganzen Gleises. So hat z. B. Sigle ein altes Gleis, das bei einer Unterstützung der 6,59 m langen Schienen durch je acht Schwellen sehr unruhig lag, auf je elf Schwellen für die Schienenlänge verstärkt und dadurch die vordem fast ununterbrochen notwendigen Nacharbeiten infolge erreichter guter Dauerlage des Gleises entbehrlich gemacht[233]). Gewiß ist bei stark belasteten, besonders von schweren und schnellfahrenden Zügen besetzten Gleisen auch eine Verstärkung der Schienen notwendig; es wäre aber falsch, eine solche Verstärkung ohne gleichzeitige Verstärkung der übrigen Oberbauteile durchzuführen, denn damit setzte man den wertvollsten Teil des Gleises unnötig hohen Beanspruchungen aus, man beginge eine wirtschaftliche Vergeudung an den kostspieligsten Oberbauteilen zugunsten der Ersparnis an weniger wertvollen.

---

231) Internationaler Eisenbahnkongreß in Paris 1889, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890, S. 138. Deutsche Bauzeitung 1892, S. 230.

232) Dr. Zimmermann, Berechnung des Eisenbahnoberbaues, Berlin 1888. Ast, Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material, Wien 1892. Derselbe, Über die Oberbaufrage, Wien 1893. Blum, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1896, S. 133.

233) Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 310.

Namentlich in Deutschland ist man in den letzten Jahren ziemlich allgemein nach diesen Grundsätzen verfahren, indem neben einer nicht übermäßigen Erhöhung der Tragfähigkeit der Schienen eine wesentliche Vermehrung und Verstärkung der Schwellen und eine weitgehende Verbesserung der Befestigungsmittel, sowie vielerorts auch eine Verbesserung der Bettung zur Einführung gelangt sind[234]). Man verwendet im allgemeinen auf eine Schienenlänge von 12 m mindestens 16 Schwellen, geht aber nach Bedarf bis zu 18 und 19 Schwellen und zwar bemißt man die Zahl der Schwellen nach der Stärke der Schienen, der Betriebsbelastung der Gleise sowie nach der Beschaffenheit des Untergrundes und der Bettung. Je ungünstiger diese und je größer die Betriebsbelastung sind, desto notwendiger ist es die Schwellenzahl zu vermehren. In Nordamerika hat man von jeher die Schwellenlage sehr dicht gewählt, man geht bei Schienen von 9,14 m Länge sogar bis zu 18 Schwellen und in dieser dichten Schwellenlage dürfte die Hauptursache des von den amerikanischen Bahnen gerühmten ruhigen Fahrens zu suchen sein[235]). In den Abb. 238 bis 243 sind die Schwellenteilungen einiger neuerer Gleise dargestellt.

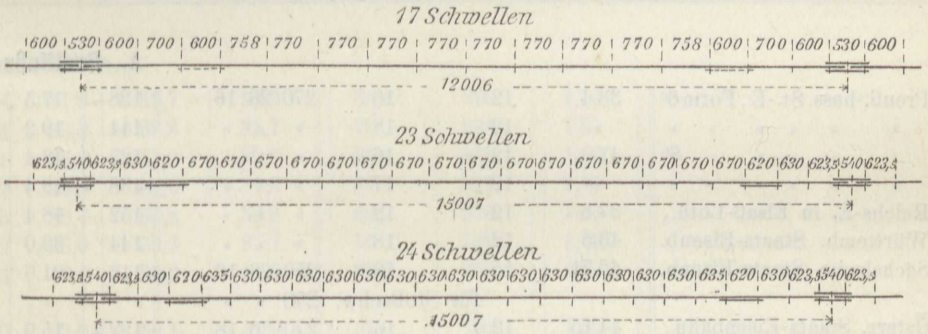


Abb. 238. Preußisch-hessische Staatseisenbahnen.

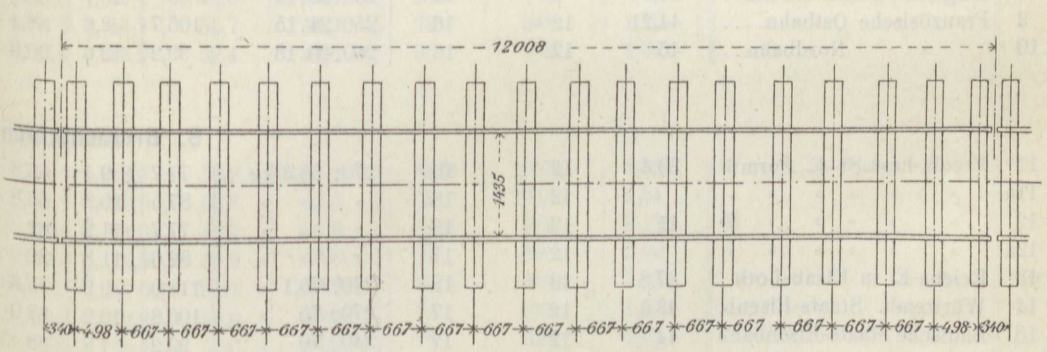


Abb. 239. Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen.

Aus der nachfolgenden Zusammenstellung, S. 266, 267, in der für verschiedene Querschwellengleise Länge und Gewicht der Schienen, Zahl und Abmessungen der Schwellen, das Gleisgewicht und dessen Verteilung auf Unterschwellung, Befestigungsmittel und Schienen, sowie Beanspruchung und Senkung der Schiene im Lastpunkt nachgewiesen sind, ist zu ersehen, wie außerordentlich verschieden in den verschiedenen Ländern die Grundsätze für die Massenverteilung im Gleis sind, und wie groß der Anteil der Befestigungsmittel am Gesamtgewichte beim Stuhl-

234) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. Ergänz.-Bd. 1894, S. 17, 58, 61, 63.

235) Railroad Gazette 1901, S. 614. Die Schwellen sind dann allerdings nur höchstens 20 cm breit.

Zusammen-

der Gewichte der verschiedenen Gleisteile, sowie der Beanspruchung
Raddruck 7000 kg;

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nr.	Verwaltung und Gleisbezeichnung	einem Schienengewicht für 1 m	einer Schienenlänge von m	einer Schwellenzahl Stück	Schwellenabmessungen (und Gewicht bei Eisenschwellen) cm	Es entfallen auf 1 m Gleis: auf die Unterschwellung kg	auf die Befestigungsmittel ohne Stoßausrüstung kg	auf die Schiene kg	im ganzen kg
	A. Breitfußschienen auf								
1	Preuß.-hess. St.-E., Form 6e	33,4	12	16	270.26.16	128	17,5	66,8	212,3
1a	» » » » » »	»	12	18	» » »	144	19,2	66,8	230,0
2	» » » » » 8b	41	12	16	» » »	123	18,4	82	228,4
2a	» » » » » »	»	12	17	» » »	136	19,4	82	237,4
3	Reichs-E. in Elsaß-Loth..	37,8	12	19	» » »	152	18,4	75,6	246,0
4	Württemb. Staats-Eisenb.	43,5	12	18	» » »	144	32,0	87	263
5	Sächsische Staats-Eisenb.	45,71	15	19	250.26.16	113	21,6	91,4	226
				für Stoßschw.	270 » »				
6	Österr. Staats-Eisenbahn.	44,15	12,5	16	270.26.16	122,4	15,9	88,3	226,6
7	Kaiser Ferd.-Nordbahn...	35,34	9	12	» » »	128	14,5	70,7	213,2
8	Belgische Staats-Eisenb..	52,0	9	12	260.28.14	96	10,7	104	210,7
9	Französische Ostbahn....	44,21	12	16	250.24.15	106,7	2,6	88,4	197,7
10	» Nordbahn..	45	12	16	260.26.13	99,2	2,6	90,0	191,8
	B. Breitfußschienen auf								
11	Preuß.-hess. St.-E., Form 6e	33,4	12	16	270; 58,3 kg	77,7	9,4	66,8	153,9
11a	» » » » » »	»	12	18	» » »	87,5	10,3	66,8	164,6
12	» » » » » 8b	41	12	16	» » »	77,7	11,2	82	170,9
12a	» » » » » »	»	12	17	» » »	82,6	11,8	82	176,4
13	Reichs-E. in Elsaß-Loth..	37,8	12	19	270; 75,1 »	118,9	9,9	75,6	204,4
14	Württemb. Staats-Eisenb.	43,5	12	17	270; 75 »	106,3	10,2	87,0	203,5
15	Badische Staats-Eisenbahn	44	12	17	240; 70 »	99,2	7,8	88	195
16	Schweizer Bundesbahn...	45,9	12	17	270; 72,5 »	102,7	5,5	91,8	200
17	Gotthardbahn	46	12	17	270; 73,6 »	104,3	4,9	92	201,2
	C. Stuhlschienen auf								
18	Französische Westbahn..	44,0	12	18	265.22,5.14	112,5	48,6	88	249,1
19	Englische Midlandbahn ..	49,8	10,97	14	272.25,4.12,7	95,0	69,3	99,6	263,9
20	» Great Western.	48,4	13,56	18	274.25,4.12,7	99,7	76,5	96,8	273,0

stellung

und Senkung der Schiene bei verschiedenen Querschwellengleisen; Bettungsziffer 8.

11	12	13	14	15	16	17	18	19
fällt bei					dem entspricht			
an Gewicht								
und in Hundertteilen					bei einem größten Schwellenabstand von	eine Beanspruchung	eine Senkung	Bemerkungen
auf die Unterschwellung	auf die Befestigungsmittel ohne Stoßausrüstung	auf die Schiene	auf die Schwellen	auf die Schienen		der Schiene im Lastpunkt von		
			wenn nur deren Gewichte gerechnet werden		cm	kg/qcm	mm	
Eichenholzschwellen.								
60,3	7,8	31,9	65,7	34,3	85,8	990	1,82	
62,6	8,4	29,0	68,3	31,7	70	936	1,51	
56,0	8,1	35,9	61,0	39,0	85,3	838	1,60	
57,3	8,2	34,5	62,4	37,6	77	817	1,52	
61,8	7,5	30,7	66,8	33,2	66,7	876	1,44	
54,8	12,2	33,0	62,3	37,7	75	792	1,46	
50,0	9,6	40,4	55,3	44,7	82,5	757	1,67	
54,0	7,0	39,0	58,1	41,9	81	791	1,55	
60,1	6,8	33,1	64,4	35,6	73,1	968	1,60	
45,6	5,0	49,4	48,0	52,0	80	748	1,67	
54,0	1,3	44,7	54,7	45,3	78	842	1,76	
51,7	1,4	46,9	52,4	47,6	80	799	1,62	
Eisenschwellen.								
50,5	6,1	43,4	53,8	46,2	85,8	1063	2,33	
53,2	6,2	40,6	56,7	43,3	70	1019	1,81	
45,4	6,6	48,0	48,7	51,3	85,3	912	2,17	
46,8	7,7	46,5	50,2	49,8	77	886	2,00	
58,2	4,8	37,0	61,1	38,9	66,7	887	1,57	
52,2	5,6	42,2	55,0	45,0	75	810	1,63	
50,9	4,0	45,1	53,0	47,0	78	847	1,94	
51,4	2,7	45,9	52,8	47,2	75	798	1,67	
51,8	2,5	45,7	53,1	46,9	75	765	1,66	
Eichenholzschwellen.								
45,2	19,5	35,3	56,1	43,9	74,8	989	1,80	
36,0	26,3	37,7	48,8	51,2	80,8	869	1,68	
36,5	28,0	35,5	50,7	49,3	77,5	768	1,63	

schienenoberbau ist. Ferner ist zu entnehmen, daß man auch mit leichten Schienen durch reichliche Unterschwellung ein Gleis schaffen kann, das bezüglich der (für den schädlichen Einfluß der Stoßwirkungen der Fahrzeuge in erster Linie in Betracht kommenden) Steifigkeit den Gleisen mit den schwersten Schienen, besonders solchen mit Stuhlschienen, ebenbürtig oder sogar über-

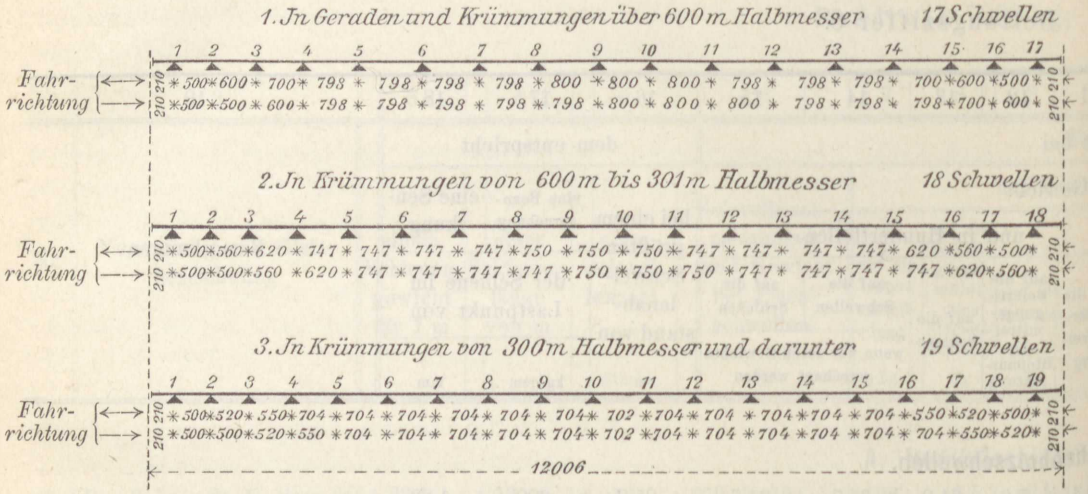


Abb. 240. Bayerische Staatseisenbahnen.

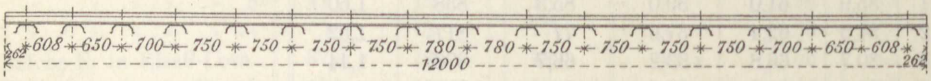


Abb. 241. Badische Staatseisenbahnen.

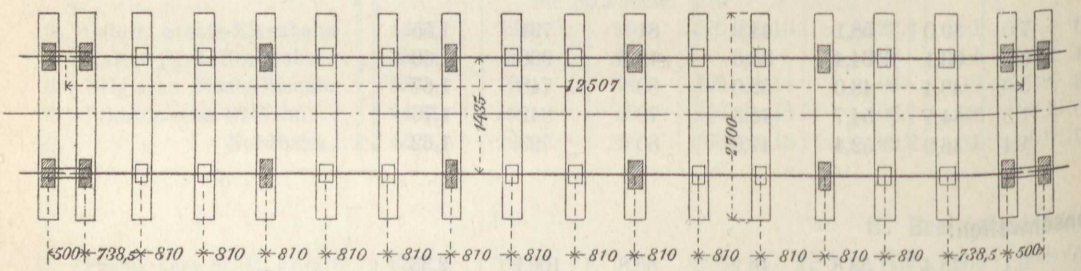


Abb. 242. Österreichische Staatseisenbahnen.

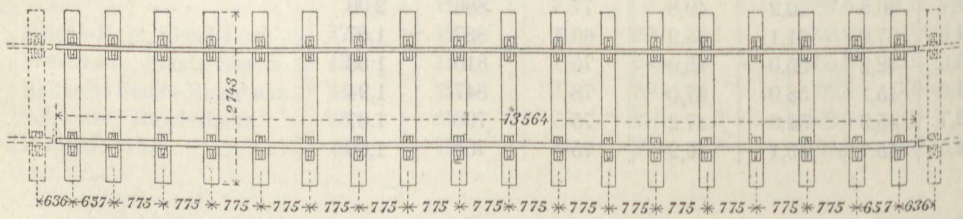


Abb. 243. Englische Great Western-Bahn.

legen ist und auch im Gesamtgewicht gleichartigen Gleisen mit sehr schweren Schienen nicht nachsteht. Die Nr. 1 bis 4 aufgeführten Gleise haben nicht allein ein größeres Gesamtgewicht als die unter Nr. 8 bis 10 nachgewiesenen Gleise mit ihren erheblich schwereren Schienen, sondern die nach der Schienensenkung im Lastpunkte beurteilte Steifigkeit (Spalte 18) ist bei Nr. 1a bis 3 auch größer als die der Gleise unter Nr. 8 bis 10 und 18 bis 20. Und selbst mit der leichten

preußischen Schiene 6d kann durch Anordnung zweier weiteren Schwellen (Nr. 1a) ein steiferes Gleis hergestellt werden, als mit den schweren Schienen der sächsischen und der belgischen Staatseisenbahnen (Nr. 5 und 8). Allerdings ist die Schienenbeanspruchung bei den Gleisen mit diesen schweren Schienen geringer als bei den anderen, sie bleibt aber auch bei letzteren in mäßigen Grenzen, es muß aber immer beachtet werden, daß die aus den Stoßwirkungen der Fahrzeuge entspringenden zusätzlichen Spannungen mit wachsender Steifigkeit abnehmen, so daß das Maß der Steifigkeit wichtiger erscheint, als das der Beanspruchung bei ruhender Last. Allerdings würden sich diese nach den theoretischen Formeln ermittelten Ergebnisse etwas zugunsten der schweren Schienen verschieben, wenn man die bei den Versuchen von Wasiutynski festgestellten Messungsergebnisse zugrunde legen wollte (siehe § 12, S. 135), aber sehr erheblich würde diese Verschiebung doch nicht.

Nimmt man an, daß die Kosten des Einheitsgewichtes der Unterschwellung aus Eichenholz unter Berücksichtigung der Befestigungsmittel sich zu den Kosten des Schieneneinheitsgewichtes verhalten wie 1 : 1,5, so sind die Anlagekosten eines Gleises nach Nr. 1a der Zusammenstellung um 5 v. H. bzw. 7 v. H. niedriger, als die der Gleise Nr. 5 und Nr. 8; bei Verwendung von Kiefernschwellen beträgt die Ersparnis rund 12 v. H.

Aus der Zusammenstellung ist ferner zu ersehen, daß bei Verwendung eiserner Schwellen im Interesse einer großen Steifigkeit des Gleises und geringer Beanspruchung der Schienen Schwellen großer Widerstandsfähigkeit genommen werden müssen, wie das von den Reichseisenbahnen und der Gotthardbahn allgemein, von anderen Verwaltungen aber erst versuchsweise geschieht. Allerdings ist hierbei in Betracht zu ziehen, daß die Verwaltungen, die zu allgemeiner Verwendung eiserner Schwellen übergegangen sind, wie die wesentlichen preußischen und die badischen Staatsbahnen, ihren Gleisen auch bei weniger kräftigen Schwellen durch die Sorgfalt, die sie auf die Herstellung der Bettung verwenden, eine große Steifigkeit zu geben vermögen.

Der günstige Einfluß einer starken Unterschwellung kommt auch dem schwächsten Punkte des Gleises, dem Schienenstoße, zu gute (siehe Abschnitt V S. 245 u. ff.)[236]. Es wäre daher wohl berechtigt, die Stoß- und die unmittelbar anstoßenden Schwellen nicht allein mit geringerem Abstand zu verlegen, als die anderen Schwellen, sondern auch bei schwebendem Stoße zu dessen Unterstützung kräftigere Schwellen als im übrigen Gleis zu verwenden, wie dies früher beim ruhenden Stoße tatsächlich allgemein geschah. Tatsächlich benutzt die sächsische Staatsbahn an den Stößen längere Schwellen, als im sonstigen Gleis. Wenn nun auch solch ein Verfahren bei neuen Gleisen vielleicht unbequem ist, so kann es doch namentlich bei vorhandenen Gleisen mit Nutzen angewendet werden. Tatsächlich ist man auch auf verschiedenen Strecken der preußischen Staatseisenbahnen seit mehreren Jahren bei älteren Gleisen, die sich in der Stoßverbindung zu schwach zeigten, sonst aber den Betriebsbeanspruchungen noch genügten, mit bestem Erfolge in diesem Sinne vorgegangen. Die Stoßschwellen der älteren schwächeren Formen wurden durch neue Schwellen von 2,70 m Länge ersetzt; zugleich wurde der Schwellenabstand im allgemeinen, besonders aber am Stoße bis auf 360 mm ermäßigt. Diese Maßnahmen waren im Vereine mit der Anbringung neuer stärkerer Laschen von durchschlagendem Erfolge, so daß die Gleise, die an den Stößen stark zu verschleißen begannen, und ohne diese Verstärkung hätten ausgewechselt werden müssen, noch mehrere Jahre erhalten werden konnten.

Bei gleichmäßiger Verwendung von Schwellen derselben Stärke kann man sowohl beim Bau neuer Gleise, wie bei der Verstärkung vorhandener dem Verschleiß und der Unwirksamkeit der Laschen dadurch einigermaßen Rechnung tragen, daß man die Schwellenteilung so bemißt, daß der Druck der Stoßschwellen auf die Bettung auch bei unwirksamer Stoßverbindung keinenfalls größer wird, als derjenige der Mittelschwellen. Nach Sarre[237] wird dieser Forderung genügt,

[236] Eine eingehendere Untersuchung über diese Fragen vom Verfasser findet sich im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1896, S. 133.

[237] Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 369.

wenn man den Abstand der Stoß- und der benachbarten Schwellen gleich $^2/_3$ des Abstandes der Mittelschwellen nimmt. Er ermittelt für diese Schwellenteilung für den Oberbau der preußischen Staatsbahnen und der Reichseisenbahnen mit 33,4 kg/m und 37,8 kg/m schweren Schienen bei 12 Schwellen auf 9 m folgende Druckverteilung.

	Druck der Mittelschwelle			Druck der Stoßschwelle			Der Druck der Stoßschwelle ist geringer		
Bettungsziffer C =	3	5	8	3	5	8	3	5	8
							v. H.	v. H.	v. H.
Preuß. Staats-Eisenbahnen.	0,437	0,482	0,565	0,417	0,432	0,445	4,6	10,5	21,3
Reichs-Eisenbahnen.....	0,449	0,503	0,560	0,415	0,432	0,444	7,7	14,4	20,8
	des Raddruckes.								

Die von ihm vorgeschlagene Maßnahme ist um so wirksamer, je besser die Bettung ist; bei guter Bettung braucht man also zur Erzielung desselben Erfolges die Schwellenlage am Stoß nicht so dicht zu nehmen, wie bei weniger guter Bettung; oder man kann den gewünschten Erfolg ganz oder zum Teil auch durch Einbau besserer Bettung an den Stößen erreichen, ohne zugleich die Schwellenentfernung überhaupt oder in so weitgehendem Maße zu verringern.

Erfahrungsgemäß werden übrigens bei zweigleisigen Bahnen, also nur in einer Richtung befahrenen Gleisen, die in der Fahrrichtung dem Stoß folgenden Schwellen im Betriebe stärker beansprucht, als die vor dem Stoß liegenden Schwellen. Es erscheint also berechtigt, die Schwellenteilung am Anlaufende der Schiene enger zu wählen, als am Ablaufende und diesem Gesichtspunkte hat man auf der bayerischen Staatsbahn Rechnung getragen. (Siehe Abb. 240.)

§ 44. Langschwellen- und Schwellenschienengleise; Vergleich mit Querschwellengleisen. — Der Einführung der Langschwellengleise lag der Gedanke zugrunde, die Fahrschiene mit ununterbrochener Unterstützung durch Schwellen und Bettung zu versehen und sie als den schneller vergänglichen Teil möglichst leicht zu machen, so daß bei den durch die Abnutzung im Betriebe erforderlichen Auswechslungen möglichst wenig Verlust eintrete. Bei Gleisen mit solchen leichten, meistens niedrigen Schienen war aber eine ausreichende Verlaschung des Schienenstoßes schwierig; es wurde deshalb eine Deckung des Schwellenstoßes um so notwendiger. Ferner erwies sich die Voraussetzung fortlaufender Unterstützung der Schienen, wegen der Schwierigkeit gleichmäßigen Unterstopfens, nicht immer als zutreffend und daher auch die Schiene nicht als widerstandsfähig genug. Man mußte deshalb auch bei Langschwellengleisen zu stärkeren Schienen übergehen und damit einen Teil des erstrebten Vorteils aufgeben. Auch die Annahme, daß die Fahrschiene schnellerer Abnutzung unterworfen sei, als die Schwelle, war falsch. Vielmehr schliffen sich die Fahrschienen infolge ihrer Längsbewegungen in kurzer Zeit so tief in die aus Eisen hergestellten Schwellen ein, daß diese in der Regel eine kürzere Dauer zeigten, als die Schienen. Wollte man aber auch die Schwellen aus Stahl machen, so würden die Anlagekosten nicht unbeträchtlich steigen.

Der Konstruktionsgedanke einer ununterbrochenen Unterstützung der Fahrschiene durch die Bettung liegt auch den Schwellenschienengleisen zugrunde; dagegen wird bei diesen von einer Teilung in Fahrschiene und Schwelle abgesehen und der ganze tragende Teil eines jeden Gleisstranges als ein Glied behandelt. Hierin liegt trotz der großen konstruktiven Verwandtschaft der zwei Bauarten ein sehr scharfer Gegensatz; beim Langschwellengleis wird vorausgesetzt, daß nach Bedarf nur ein möglichst kleiner Teil — die verhältnismäßig leichte Fahrschiene —

zur Auswechslung kommen soll, das Schwellenschienengleis muß jeweilig vollständig ausgewechselt werden.

Alle Gleise müssen zur Erhaltung der Spur und der Schienenneigung mit besonderen Querverbindungen ausgerüstet werden. Bei den Querschwellengleisen dienen die tragenden Querschwellen zugleich diesen Zwecken; beim Langschwellen- und Schwellenschienengleis sind dagegen hierfür besondere Gleisteile nötig, die weder der Tragfähigkeit noch der Steifigkeit des Gleises zugute kommen. Trotzdem sind weder Spur noch Schienenneigung so gesichert, wie bei Querschwellengleisen, da beide, wenn nicht sehr zahlreiche und kräftige Querverbindungen zur Anwendung kommen, nur von der festen Lage der Schwellen in der Bettung abhängen, die um so schwieriger zu erreichen ist, als (wie unter VI, S. 257 näher dargelegt wurde) der Bettungskörper unter allen Langschwellen rasch undurchlässig und infolge der gestörten Entwässerung, je nach den Witterungsverhältnissen, entweder weich und nachgiebig oder hart und starr wird. In dieser Tatsache liegt wohl der größte Mangel aller auf fortlaufender Schienenunterstützung beruhenden Gleisbauarten, ein Mangel, der ohne Anwendung sehr hoher Bettung oder künstlicher Entwässerung nicht behoben werden kann.

Am Schienenstoß ist behufs Vermeidung der dort möglichen Verdrehungen der Schienenenden und der daraus entstehenden schädlichen Höhenüberstände der Enden, eine recht feste Einspannung der Schienen nötig, auch eine recht genaue Sicherung der Spur und Schienenneigung um deswillen besonders erwünscht, damit die unvermeidlichen Stöße der Fahrzeuge nicht noch durch Ungenauigkeiten in der Gleislage verschärft werden. Diese genaue Gleislage und feste Schieneneinspannung läßt sich aber bei Querschwellengleisen stets leichter und auch sicherer erreichen, als bei Langschwellen. Gerade in der einfachen und leicht zu erreichenden Verstärkung der Stoßverbindung durch Verminderung des Schwellenabstandes und durch feste Verbindung zwischen Laschen und Schwellen unter Beibehaltung des schwebenden Stoßes liegt ein wesentlicher Vorzug der Querschwellen- gegenüber den Langschwellengleisen.

Eine den wechselnden örtlichen Verhältnissen und Betriebsbelastungen verschiedener Strecken derselben Bahn Rechnung tragende Gleisverstärkung, wie sie beim Querschwellenoberbau in der einfachen Vermehrung der Schwellenzahl in einfachster und wirksamster Weise erreicht werden kann, ohne an den Grundlagen und den Einzelteilen des Gleisbaues irgend etwas zu ändern, ist beim Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau, bei dem eine Verstärkung der ganzen Gleises nur durch Verstärkung der wesentlichsten Gleisteile selbst möglich ist, ganz ausgeschlossen. In dieser Tatsache liegt ein weiterer, ja konstruktiv wohl der wesentlichste Mangel der Langschwellensysteme.

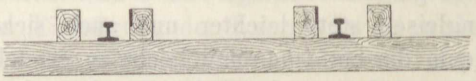
Aus allen diesen Gründen haben sich die Langschwellengleise in Haupt- und Nebenbahnen, wie schon in § 4 dargelegt, nicht bewährt, müssen für solche vielmehr als überwunden bezeichnet werden[238]), und kommen höchstens für Lokal- und Kleinbahnen in Betracht.

Ähnlich steht es mit den Schwellenschienengleisen, die nur noch bei den in Straßen liegenden Gleisen, für die sie allerdings besonders geeignet sind, Verwendung finden.

[238]) Siehe Erklärung der Techniker-Versammlung des V. d. E. V. von 1893, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. Ergänz.-Bd. 1893, S. 69.

§ 45. Schutzmittel gegen Entgleisungen in besonderen Fällen. — Ein gut gebautes Gleis soll für sich so stark und widerstandsfähig sein, daß es allen im regelmäßigen Betriebe vorkommenden Beanspruchungen mit einem gewissen Überschuß an Festigkeit genügt und der Gefahr von Entgleisungen der Fahrzeuge wirksam vorbeugt. Trotzdem wird es aber nach mehreren schweren Eisenbahnunfällen für notwendig gehalten, an Stellen, wo eine Entgleisung besonders schlimme Folgen haben könnte, oder wo jede Betriebsstörung die schwersten Nachteile für einen sehr hoch entwickelten Verkehr mit sich brächte, das Gleis noch mit besonderen Schutzmitteln gegen Entgleisungen auszurüsten. Als solche Stellen kommen vorzugsweise in Frage: längere eiserne und gewölbte Brücken und Viadukte, besonders wenn sie in scharfen Krümmungen liegen, sowie Bahnen mit sehr dichter Zugfolge, also besonders Stadtbahnen. Da letztere häufig als Hochbahnen auf Viadukten liegen und sehr scharfe Krümmungen aufweisen, so vereinigen sich bei ihnen alle maßgebenden Gesichtspunkte, für die Anbringung besonderer Schutzmittel gegen Entgleisungen sprechen.

In Nordamerika hat man von jeher bei den Stadthochbahnen in der Regel beide Schienen eines Gleises beiderseits mit Schutzbalken eingefaßt, obgleich der Schutzbalken auf der Außenseite entbehrlich ist, wenn er auf der Innenseite in richtigem Abstande angebracht wird. Dieser Abstand ist aber allerdings vielfach recht groß, er schwankt bei den New Yorker Hochbahnen zwischen 57 und 108 mm und steigt bei den Bahnen Chicagos bis zu 152 mm[239]). Die auf den amerikanischen Hochbahnen übliche Anordnung ist aus Abb. 244 zu ersehen. Der innere Schutz-



1 : 50.

Abb. 244. Schutzbalken auf nordamerikanischen Hochbahnen.

balken pflegt zuweilen mit aufgelegten oder eingelassenen Flacheisen ausgerüstet zu werden.

In Europa, besonders in Deutschland und Österreich, hat man der Anbringung von Schutzschienen auf eisernen Brücken erst nach dem schweren Eisenbahnunfall bei Mönchenstein in der Schweiz allgemeine Aufmerksamkeit geschenkt, wendet sie aber gegenwärtig in ausgedehntem Maße an. An beiden Innenseiten der Schienen werden Schutzbalken oder Schutzschienen angebracht, die auch noch um mehrere Schienenlängen über die Widerlager hinweg auf der Strecke verlegt werden, damit etwa schon vor der Brücke entgleiste Fahrzeuge durch sie ihre Führung erhalten; hölzerne Schutzbalken werden mit kräftigen Winkeleisen ausgerüstet (Abb. 245).

Zu denjenigen Schutzmitteln, die sowohl mit Rücksicht auf die Lage der Bahn als Hochbahn, wie auf den sehr dichten Fahrverkehr für notwenig befunden wurden, gehört auch die in der Abb. 246 dargestellte Schutzschiene, die seit längerer Zeit in allen schärferen Krümmungen der Berliner Stadt- und Ringbahn neben der Innenschiene angeordnet wird und durch besondere Stühle in sehr fester Weise mit der Fahrschiene verbunden ist. Da die Schutzschiene nicht über Schienenoberkante hervorsteht, so kann die Spurrille zwischen beiden Schienen, die bei den in Abb. 245

[239]) Railroad Gazette 1894, 9. Nov.

dargestellten Anordnungen nach der Umgrenzungslinie des lichten Raumes mindestens 67 mm breit sein muß, schmaler gehalten werden, was nicht nur die Sicherheit erhöht, sondern auch der starken Abnutzung der Außenschiene durch die scharfen seitlichen Angriffe der Spurkränze entgegenwirkt.

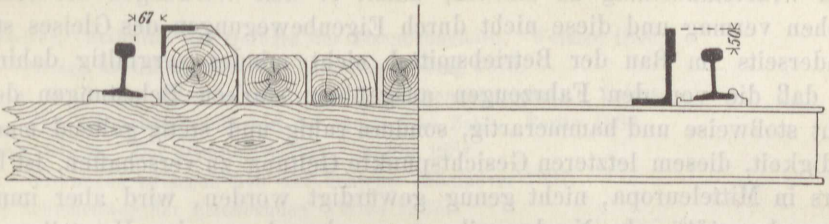


Abb. 245. Schutzbalken auf eisernen Brücken.

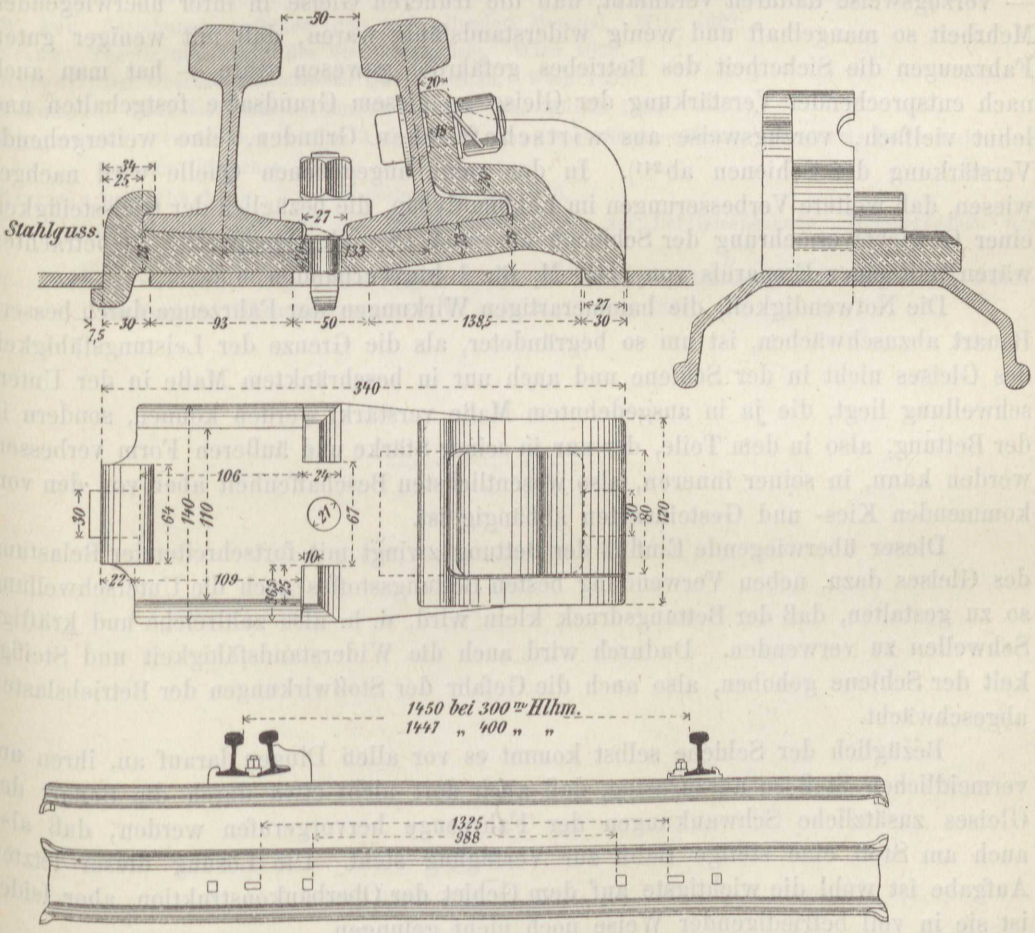


Abb. 246. Preußische Staatseisenbahnen, Direktion Berlin.
Berliner Stadt- und Ringbahn, Schutzschiene in Gleisbogen (1893).

Auch in England sind solche Schutzschienen neben der Innenschiene stark gekrümmter Gleise weit verbreitet und um so mehr berechtigt, als dort in der Regel mit der Schienenüberhöhung nicht so weit gegangen wird, wie in Deutschland.

§ 48. Schlußbetrachtungen. — Häufig werden der Oberbau und die Betriebsmittel in ihrer gegenseitigen Wirkung und Beeinflussung mit Amboß und Hammer verglichen. Eine gewisse Berechtigung kann man diesem Vergleiche nicht absprechen, aber wie der Oberbautechniker dahin streben muß, den Oberbau möglichst steif und widerstandsfähig zu machen, damit er den Wirkungen des Hammers zu widerstehen vermag und diese nicht durch Eigenbewegungen des Gleises steigert, so muß anderseits im Bau der Betriebsmittel nicht minder sorgfältig dahin gewirkt werden, daß die von den Fahrzeugen ausgeübten starken Belastungen des Gleises sich nicht stoßweise und hammerartig, sondern ruhig und stetig geltend machen. Die Notwendigkeit, diesem letzteren Gesichtspunkte Geltung zu verschaffen, ist lange Zeit, besonders in Mitteleuropa, nicht genug gewürdigt worden, wird aber immer allgemeiner anerkannt[240]). In Nordamerika, wo schon lange der Herstellung gut ausbalancierter Lokomotiven und Wagen die größte Aufmerksamkeit geschenkt wurde, — vorzugsweise dadurch veranlaßt, daß die früheren Gleise in ihrer überwiegenden Mehrheit so mangelhaft und wenig widerstandsfähig waren, daß mit weniger guten Fahrzeugen die Sicherheit des Betriebes gefährdet gewesen wäre — hat man auch nach entsprechender Verstärkung der Gleise an diesem Grundsatze festgehalten und lehnt vielfach, vorzugsweise aus wirtschaftlichen Gründen, eine weitergehende Verstärkung der Schienen ab[241]). In der unten angegebenen Quelle wird nachgewiesen, daß weitere Verbesserungen im Lokomotivbau, die bezüglich der Gleissteifigkeit einer Gewichtsvermehrung der Schienen um rund 18 v. H. gleichwertig zu betrachten wären, mit einer Ersparnis von 1500 M. für 1 km verbunden sind.

Die Notwendigkeit, die hammerartigen Wirkungen der Fahrzeuge durch bessere Bauart abzuschwächen, ist um so begründeter, als die Grenze der Leistungsfähigkeit des Gleises nicht in der Schiene und auch nur in beschränktem Maße in der Unterschwellung liegt, die ja in ausgedehntem Maße verstärkt werden können, sondern in der Bettung, also in dem Teile, der nur in seiner Stärke und äußeren Form verbessert werden kann, in seiner inneren, also wesentlichsten Beschaffenheit aber von den vorkommenden Kies- und Gesteinsarten abhängig ist.

Dieser überwiegende Einfluß der Bettung zwingt mit fortschreitender Belastung des Gleises dazu, neben Verwendung besten Bettungsstoffes auch die Unterschwellung so zu gestalten, daß der Bettungsdruck klein wird, d. h. also zahlreiche und kräftige Schwellen zu verwenden. Dadurch wird auch die Widerstandsfähigkeit und Steifigkeit der Schiene gehoben, also auch die Gefahr der Stoßwirkungen der Betriebslasten abgeschwächt.

Bezüglich der Schiene selbst kommt es vor allen Dingen darauf an, ihren unvermeidlichen Stoß so auszurüsten, daß auch dort nicht etwa durch die Bauart des Gleises zusätzliche Schwankungen der Fahrzeuge hervorgerufen werden, daß also auch am Stoß eine stetige Bahn zur Verfügung steht. Die Lösung dieser letzten Aufgabe ist wohl die wichtigste auf dem Gebiet der Oberbaukonstruktion, aber leider ist sie in voll befriedigender Weise noch nicht gelungen.

---

240) Ast, Über die Oberbaufrage, Wien 1892.

241) Railroad Gazette 1894, November 9 und 23.

Literatur.

Außer den in den Fußnoten genannten Zeitschriften:

M. M. v. Weber. Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise. Weimar 1869.
Winkler. Vorträge über Eisenbahnbau. 3. Auflage. Prag 1875.
Heusinger v. Waldegg. Handbuch für spezielle Eisenbahntechnik. Leipzig.
Hoffmann. Der Langschwellenoberbau der rheinischen Bahn. Berlin 1880.
Lehwald und Riese. Der eiserne Oberbau. Berlin 1881.
Rödecker. Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887.
Löwe. Der Schienenweg der Eisenbahnen. Wien 1887.
Zimmermann. Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues. Berlin 1888.
V. Röll. Encyklopädie des gesamten Eisenbahnwesens. Wien 1890 bis 1896.
Haarmann. Das Eisenbahngleis, geschichtlicher Teil. Leipzig 1891; kritischer Teil. Leipzig 1902.
W. Ast. Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Material. Wien 1892.
Staně. Theorie und Praxis des Eisenbahngleises. Wien 1892.
Heindl. Der Oberbau mit eisernen Querschwellen. Wien 1893.
Tetmajer. Über das Verhalten der Thomasschienen. Zürich 1894.
Ebermayer. Bericht über eine im Auftrage der bayerischen Staatsregierung ausgeführte Reise nach Nordamerika. München 1896.
Sarrazin und Oberbeck. Kurventabellen. Berlin 1896.
Grundzüge für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Lokaleisenbahnen. Herausgegeben vom V. d. E. V. Berlin 1897.
Technische Vereinbarungen über den Bau und die Betriebseinrichtungen der Haupt- und Nebeneisenbahnen. Herausgegeben vom V. d. E. V. Berlin 1897.

III. Kapitel.

Ausführung und Unterhaltung des Oberbaues.

Bearbeitet von **Hermann Rosche**, Generaldirektor der Aussig-Teplitzer Eisenbahn in Teplitz-Schönau.

(Hierzu Tafel I bis III und 21 Textfiguren.)

§ 1. Einleitung. — Mit der Ausführung des Oberbaues beginnen im Eisenbahnbaue jene Arbeiten, welche das Besondere desselben ausmachen. Der Eisenbahnunterbau hat seine Vorbilder im Straßenbau, der Eisenbahnhochbau benützt anderwärts bewährte Konstruktionen und Architekturformen für die besonderen Erfordernisse des Eisenbahnbetriebes, im Eisenbahnoberbau aber gilt es einen ganz eigenartigen Bau herzustellen, der, angepaßt der eigentümlichen Bau- und Gangart der Eisenbahnfahrzeuge, diese sicher trägt und leitet.

In den vorhergehenden Kapiteln sind jene theoretischen Grundlagen und konstruktiven Elemente dargelegt, welche die Erfordernisse eines guten Oberbaues bilden. Die Voraussetzungen und Absichten des rechnenden und entwerfenden Ingenieurs werden jedoch nur dann zutreffen und sich verwirklichen, wenn auch die Ausführung und Unterhaltung des Oberbaues mit einer, der Wichtigkeit und wirtschaftlichen Tragweite dieses Teiles des Eisenbahnbaues entsprechenden Sachkenntnis und Sorgfalt erfolgt.

Die Bedeutung dieser Arbeiten erhellt, wenn man erwägt, daß die Sicherheit des Eisenbahnbetriebes im wesentlichen auf einer guten Gleislage beruht, und ihre wirtschaftliche Tragweite drückt sich in den großen Beträgen aus, mit welchen die Kosten der Anlage und Unterhaltung des Oberbaues an den Gesamtkosten des Eisenbahnbaues, bzw. des Eisenbahnbetriebes beteiligt sind. Es betragen die Anlagekosten des Oberbaues

bei Hauptbahnen etwa 20 bis 25 v. H.
bei vollspurigen Nebenbahnen etwa 45 » 50 »

der gesamten Baukosten und es machen die Kosten der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues etwa 40 bis 45 v. H. der gesamten Bahnerhaltungskosten und etwa 10 bis 15 v. H. der gesamten Betriebskosten aus. Die Unterhaltungskosten aber wachsen unverhältnismäßig, wenn die erste Herstellung des Oberbaues eine mangelhafte war, oder wenn die Unterhaltung desselben zeitweise eine nachlässige und unverständige ist; denn jede Unregelmäßigkeit in der Gleislage stört den ruhigen Gang der Fahrzeuge und ruft dadurch neue Kräfte hervor, deren verderbliche Wirkungen sich am Gleis um so mehr fühlbar machen, je weniger Widerstand ein in

seinem Gefüge gelockertes, in seinen Teilen abgenutztes Gleis denselben entgegenzusetzen vermag. Eine rasche Zunahme des Gleisverderbes mit seinen schädlichen Rückwirkungen auf die Fahrbetriebsmittel ist dann nicht aufzuhalten.

Hierzu kommt nun aber noch, daß die Anforderungen an ein Gleis im Verlaufe der Zeit beträchtlich wachsen können und zwar derart, daß mit der zunehmenden Verkehrsgröße und wachsenden Fahrgeschwindigkeit nicht nur die Häufigkeit der Inanspruchnahme des Gleises sich steigert, sondern auch die Bauart der Fahrbetriebsmittel Veränderungen erfährt, welche von wesentlichem Einflusse auf die Größe dieser Inanspruchnahme werden, die Lebensdauer des Gleises verkürzen, ja dessen Verkehrssicherheit in Frage stellen können. Dadurch werden in der Oberbauunterhaltung Maßnahmen erforderlich, welche — wenn rechtzeitig getroffen — ein Gleis für den Betrieb auch dann noch brauchbar erhalten sollen, wenn es vermöge seiner ursprünglichen Bauart den erhöhten Anforderungen des Betriebes nicht mehr entsprechend erachtet werden müßte.

Ist hiernach schon in der ersten Anlage des Gleises auf die Möglichkeit und Notwendigkeit einer späteren Verstärkung Bedacht zu nehmen[1]), so ist es Aufgabe einer sachkundigen Bahnerhaltung, den richtigen Zeitpunkt für die Ausführung einer derartigen Oberbauverstärkung wahrzunehmen, sowie die richtigen Mittel anzuwenden, um die Widerstandskraft des Gleises dauernd auf der erforderlichen Höhe zu erhalten. Indem aber die getroffenen Maßnahmen im Zusammenhalte mit den Wirkungen neuartiger Betriebsmittel wieder neue Erscheinungen am Gleise selbst hervorrufen, wird der Bahnerhaltungs-Ingenieur veranlaßt, den Ursachen dieser Erscheinungen nachzuforschen und die wechselseitigen Beziehungen zwischen Gleis, Fahrbetriebsmittel und örtlichen Umständen klar zu stellen. Es erlangt dadurch der Bahnerhaltungsdienst auch eine Bedeutung für die Fortbildung des Eisenbahnbaues, welche daran mahnt, diesen Zweig der speziellen Eisenbahntechnik nicht lediglich Handwerkern des Eisenbahndienstes zu überlassen, sondern durch fachmännische Führung und Überwachung desselben für seine Ausbildung — auf wissenschaftlicher Grundlage — zu sorgen.

Dies erscheint um so notwendiger, als verläßliche Anhalte für eine zweckentsprechende Ausführung und Unterhaltung des Oberbaues großenteils nur aus der Erfahrung, durch unmittelbare Beobachtung des Verhaltens der Gleise im Betriebe, durch vergleichende Gegenüberstellung der angewandten Arbeitsmethoden und ihrer wirtschaftlichen Erfolge abgeleitet werden können. Bei der Mannigfaltigkeit der örtlichen, der Anlage- und Betriebsverhältnisse der Bahnen und bei dem Einflusse, welchen die Bauart des Oberbaues und der Fahrbetriebsmittel, die Güte der Materialien und die persönliche Verläßlichkeit des Beobachters auf den Wert jeder Beobachtung ausüben, können Einzelbeobachtungen eine allgemeine Gültigkeit nur selten beanspruchen; sie sind deshalb nur mit Vorsicht zu verwerten. Hingegen verdienen die im Vereine deutscher Eisenbahnverwaltungen und auf dem internationalen Eisenbahnkongresse auf breiter Erfahrungsgrundlage erfolgenden Erörterungen der wichtigsten Fragen der Gleisunterhaltung besondere Beachtung.

Als ein wesentliches Hülfsmittel für die Klarstellung dieser Fragen bieten sich die statistischen Aufzeichnungen über das Verhalten des Oberbaues im Betriebe und über die wirtschaftliche Handhabung des Bahnerhaltungsdienstes dar, wie dieselben

[1]) S. das II. Kapitel dieses Bandes, § 43 und 44.

nach den vom V. d. E. V. geschaffenen Grundlagen, von den großen Eisenbahnverwaltungen geführt und von dem genannten Vereine bearbeitet und mitgeteilt werden. Auf diese Mitteilungen ist im folgenden insbesondere Bezug genommen. Die Anlage und allmähliche Ausgestaltung dieser statistischen Aufzeichnungen lehrt am besten, wie schwierig es ist, verläßliche Grundlagen für die Beantwortung der wichtigsten Fragen der Unterhaltung des Oberbaues zu gewinnen.

Für den Gegenstand dieses Kapitels ergibt sich die nachfolgende Gliederung des Stoffes:

I. Die Ausführung des Oberbaues. Diese umfaßt: die Festlegung der Richtung und Höhenlage des Gleises (Absteckungsarbeiten) (§ 2); die Gewinnung und Verteilung des Bettungsstoffes und die Herstellung des Bettungskörpers (§ 3); die Verteilung des Oberbau-Eisen- und Holzmaterials (§ 4); das Verlegen des Oberbaues (§ 5). Hieran schließt sich eine Darstellung der Werkzeuge und Geräte, welche bei den Oberbauarbeiten verwendet werden (§ 6).

II. Die Unterhaltung des Oberbaues. Diese begreift in sich alle Arbeiten, welche erforderlich sind, um den Oberbau dauernd in einem den Forderungen der Verkehrssicherheit und der Wirtschaftlichkeit entsprechenden Zustande zu erhalten. Wir besprechen demnach: das Verhalten des Oberbaues während des Betriebes (§ 7); die Abnutzung und Dauer der Schwellen (§ 8); die Abnutzung und Dauer der Schienen und Befestigungsmittel (§ 9); die Ermittelung der Schienendauer (§ 10); die Unterhaltung des Oberbaues (§ 11); die einzelnen Arbeiten der Oberbau-Unterhaltung (§ 12); die Kosten der Herstellung (§ 13) und der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues (§ 14).

Da derzeit der Querschwellenoberbau mit breitfüßigen Schienen in weitaus überwiegender Anwendung steht, werden sich alle folgenden Erörterungen vorwiegend auf diese Oberbauart beziehen. Jedoch sollen auch Langschwellen- und Schwellenschienenoberbau in die Besprechung einbezogen werden.

I. Die Ausführung des Oberbaues.

§ 2. Absteckungsarbeiten. — Eine sorgfältige Absteckung der Richtung und eine genaue Festlegung der Höhe der Bahnlinie ist eine Grundbedingung für die ordnungsmäßige Verlegung und wirtschaftliche Unterhaltung der Gleise. Den bezüglichen Arbeiten ist deshalb eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Neu-, Erweiterungs- und Umbauten.

Beim Bau neuer Bahnlinien ist schon bei der Herstellung des Unterbaues darauf Bedacht zu nehmen, daß möglichst viele Punkte der ausgesteckten Bahnachse derart verpflockt und erhalten werden, daß dieselben für die genaue Absteckung des Gleises als Anhaltspunkte benutzt werden können. Erfolgt die Einbringung der ersten Bettungslage nicht mittels Zügen, so genügt zunächst die beiläufige Bezeichnung der Richtung und Höhenlage des Gleises. Wird hingegen schon die erste Bettungslage mit Benutzung eines Arbeitsgleises eingebracht, so muß vor allem die regelrechte Absteckung vorgenommen werden. Hierbei wird die Mittellinie des Gleises mit Hilfe eines Winkelinstrumentes in der aus der Vermessungslehre bekannten Weise festgestellt und durch Eichenholzpflöcke von etwa 10 cm Stärke und 1 m bis 1,3 m Länge bezeichnet, welche in den geebneten Unterbaukörper so eingetrieben werden, daß sie noch etwas über Schienenoberkante ragen.

Diese Pfähle werden in der Geraden in Abständen von 100 m, in Krümmungen je nach der Größe des Krümmungshalbmessers in Entfernungen von 50 m bis 10 m und überdies in allen Neigungswechselpunkten, an den Bogenanfängen und bei längeren Bogen auch in der Bogenmitte eingeschlagen. Auf dem Kopfe der Pfähle wird die Gleismitte durch einen Drahtstift, ein eingebohrtes Loch oder einen Sägeschnitt bezeichnet und die Höhe der Schienenoberkante entweder durch wagerecht angebrachte Brettchen oder durch Abspalten eines Pfahlstückes angezeigt. Das Brettchen, bzw. der am Pflocke hergestellte Absatz dienen sodann zum Auflegen des Richtscheites beim Einwiegen der Schienenhöhe mit der Wasserwage.

Die Höhenangabe erfolgt auf Grund eines genauen Nivellements, in welches auch Punkte einzubeziehen sind, die vermöge ihres dauernd unveränderlichen Standes später als Festpunkte betrachtet werden können, von welchen aus die richtige Höhenlage des Gleises im Betriebe geprüft und berichtigt werden kann. Hierzu eignen sich insbesondere die Deckplatten von Brücken, Stütz- und Futtermauern, Gebäudesockel, unverwitterbare Felsen usw. Über diese Festpunkte ist ein Verzeichnis anzulegen, das deren Bezeichnung, Lage und Höhe aufweist. Eine öftere Nachprüfung der Höhe und Lage der Pflöcke ist während des Oberbaulegens insbesondere auf hohen Dämmen erforderlich, da die unvermeidlichen Setzungen daselbst leicht Verschiebungen der Pflöcke herbeiführen.

Eine besondere Beachtung bei den Absteckungsarbeiten erheischen die Neigungswechsel und die Übergänge aus den Geraden in die Krümmungen. Wie schon im II. Kapitel d. I. Bandes dieses Handbuches dargelegt ist, muß an den Neigungswechselpunkten eine Ausrundung des beim Anschlusse verschiedener Neigungen entstehenden Winkels erfolgen, um die daselbst auftretenden Stoßwirkungen der Fahrzeuge abzumindern und schädliche und unter Umständen gefährliche Entlastungen der Mittelachse dreiachsiger Fahrzeuge, insbesondere der Triebräder dreiachsiger Lokomotiven zu verhüten.

Die Technischen Vereinbarungen vom Jahre 1897 schreiben für die Ausrundung der Neigungswechsel einen Kreisbogen von mindestens 5000 m Halbmesser vor, welches Maß nur für Strecken unmittelbar vor Stationen auf 2000 m herabgesetzt werden kann. Diese Bestimmungen stehen im Einklange mit den bezüglichen Vorschriften der Normen für den Bau und die Ausrüstung der Haupteisenbahnen Deutschlands. Für Lokaleisenbahnen werden nach § 23 der »Grundzüge« des V. d. E. V. Halbmesser von in der Regel nicht unter 1000 m empfohlen, welches Maß nur ausnahmsweise bis auf 500 m eingeschränkt werden soll. Bei gegebenem Halbmesser sind die Entfernungen der Anfangs- und Endpunkte der Ausrundung vom Bruchpunkte und die Höhen der Zwischenpunkte leicht zu berechnen und hiernach auszupflocken, bzw. zu bezeichnen[2]). Mehrfach sind die Bahnen in ihren Vorschriften auch der von Nördling bei der Orléansbahn getroffenen Anordnung gefolgt, wonach Zwischenstrecken eingeschaltet wurden, in welchen das Neigungsverhältnis von 10 m zu 10 m um je 1 mm, also um 1 : 10000 zunimmt. Verzeichnet man die durch die Gleichung $y = \frac{x^2}{2 \cdot 10000}$ gegebene Parabel, so lassen sich die Längen der Vermittlungsstrecken und die Hebung, bezw. Senkung der Zwischenpunkte aus der Zeichnung in allen Fällen unmittelbar entnehmen. Sind Neigungen zu vermitteln, deren

[2]) Siehe Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbögen von O. Sarrazin u. H. Oberbeck u. a.

Unterschied gleich oder kleiner als 2 v. T. ist, so entfällt die Notwendigkeit einer Ausrundung des Neigungswechsels[3]).

Die Notwendigkeit der Ausrundung der Neigungswechsel ist auf dem VI. internationalen Eisenbahnkongresse in Paris im Jahre 1900 Gegenstand eingehender Darlegungen durch die Berichterstatter zur Frage VII gewesen[4]). Sabouret erachtet die Einschaltung von Kreisbogen von 2000 m Halbmesser selbst für die größten Gefällsunterschiede ausreichend. Hohenegger stellte durch Umfrage bei den Eisenbahnverwaltungen fest, daß Entgleisungen eintraten, wenn der Übergang aus einem starken Gefälle in eine steile Rampe ohne Ausrundung erfolgte, und tritt für die Vorschriften des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen ein. Amadeo erachtet die Entgleisungsgefahr infolge Abhebens des mittleren Rades als maßgebend und empfiehlt 3000 m als kleinsten Halbmesser für den Ausrundungsbogen. Auf den französischen Staatsbahnen und der Orléansbahn hat Henri Salin eine Absteckungsart eingeführt, nach der die Verbindung durch eine Reihe von geneigten Ebenen erfolgt, welche praktisch genommen Kreisbogen von 12000 bis 2000 m Halbmesser gleichwertig sind. Bogaert empfiehlt zur Erzielung einer gleichmäßigen Spannung der Kuppelungen im ganzen Zuge auf Grund einer von Ramaeckers entwickelten — allerdings nicht einwandfreien — Formel einen Ausrundungsmesser von 5000 m als reichlich genügend.

Der Kongreß einigte sich in den Schlußfolgerungen dahin, daß die Ausrundung durch einen Kreisbogen vom Halbmesser 2000 m noch ausreichend sei, wenn die Fahrgeschwindigkeit 50 km in der Stunde nicht überschreitet und hält auch auf Linien mit starken Neigungen größere Halbmesser als 5000 m nicht für erforderlich. Für die Absteckung genügt die Bestimmung des Anfangs- und Endpunktes, sowie der Bogenmitte. Sobald die Neigungen 10 v. T. erreichen oder überschreiten, ist es angezeigt, schon bei der Herstellung der Erdarbeiten und Kunstbauten auf die Neigungsausrundungen Rücksicht zu nehmen. Vor allem wird empfohlen, das Zusammentreffen eines starken Neigungswechsels mit einem Krümmungsanfang zu vermeiden.

Um beim Anschlusse von Geraden und Krümmungen einen sanften Übergang der Fahrzeuge und die allmähliche Ausführung der in der Krümmung erforderlichen Überhöhung des äußeren Schienenstranges sowie der Spurerweiterung zu ermöglichen, ist die Herstellung von Übergangsbogen notwendig. Hierzu eignet sich die kubische Parabel, welche mit dem Krümmungshalbmesser ∞ beginnend allmählich in den vorgeschriebenen Halbmesser übergeht, wobei das Gleis in jedem Punkte die dem betreffenden Halbmesser entsprechende Schienenüberhöhung und Spurerweiterung erhält. Die theoretische Entwicklung der Gleichung der Übergangskurven ist im II. Kapitel d. I. Bandes dieses Handbuches gegeben[5]). Die Zweckmäßigkeit ihrer Anwendung ist

---

[3]) Vgl. Ernst u. Gottsleben, »Handbuch für Gleise-Anlagen«, Wien 1871; Annales des ponts et chaussées 1867, Note sur le raccordement des déclivités par Nördling.

[4]) Internationaler Eisenbahnkongreß Paris 1900. Allgemeiner Bericht Brüssel 1901.

[5]) Vgl. Wilh. Pressel 1854 (Eisenb.-Zeitg., Stuttgart Nr. 44); Nördling (Ann. des ponts et chaussées 1867), Anwendung b. d. Brennerbahn 1868; Michel (Revue générale, Nov. 1879); O. Sarrazin und H. Oberbeck, Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbögen mit und ohne Übergangskurven, Berlin; M. Pernt, Tafeln zum Abstecken von Kreis- und Übergangsbögen durch Polarkoordinaten, Wien und Leipzig 1903. Siehe auch A. Birk, Zur Konstruktion der Übergangsbögen bei Eisenbahngleisen, Österr. Monatsschrift f. d. öffentl. Baudienst, Wien 1897; C. Ruch, Übergangsbögen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903. Über Absteckung des Übergangsbogens und des anschließenden Kreisbogens mittels Polarkoordinaten vom Anfangspunkte des Übergangsbogens aus siehe O. Elb, Taschenbuch usw., Wilhelmshaven.

neuerlich vom internationalen Eisenbahnkongresse in St. Petersburg (1892) in der Schlußfolgerung zur Frage IX/B anerkannt worden. Ihre Anwendung begegnet beim Baue neuer Bahnlinien auch keinen Schwierigkeiten. Da sie jedoch bedingt, daß entweder der Bogen in der Richtung zum Mittelpunkte, oder die verbindenden Geraden verschoben werden, ist schon bei der Anlage des Unterbaues auf die Ausführung Bedacht zu nehmen, insbesondere dann, wenn dadurch Kunstbauten berührt werden.

Die Art der Absteckung parabolischer Übergangsbogen ist durch nachstehende Abbildung veranschaulicht. Bei Festhaltung der Haupttangenten ist der Tangentenwinkel β zu messen, der Zentriwinkel α, die Länge des Übergangsbogens $l = \frac{P}{r}$, das Maß der seitlichen Abweichung der Hilfstangente von der Haupttangente $m = \frac{l^2}{24r}$ und die Entfernung des Anfangspunktes A des Übergangsbogens vom Winkelpunkte W aus

$$AW = (r+m)\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + u$$

zu berechnen, wobei P einen vom Neigungsverhältnis der Ansteigung des äußeren Schienenstranges abhängigen Festwert bedeutet, dessen Größe zwischen 5000 und 15000 schwankt und für dessen Wahl die größte Fahrgeschwindigkeit in der bezüglichen Strecke maßgebend ist[6]).

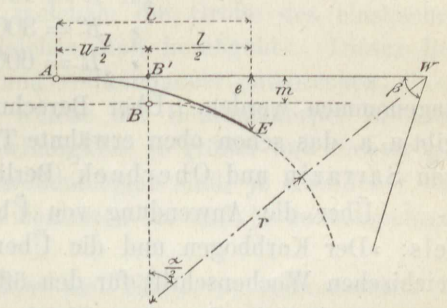


Abb. 1.

Die Absteckung des Übergangsbogens AE erfolgt zumeist vom Punkte A aus mittels Abszissen und Ordinaten, die nach der Formel $y = \frac{x^3}{6P}$ zu berechnen sind. Der in E anschließende Kreisbogen kann sodann entweder vom Punkte B bzw. von Bogenmitte durch Polarkoordinaten mit dem Winkelinstrumente, oder vom Punkte B' mittels rechtwinkeliger Koordinaten ausgesteckt werden, wobei zu jeder für die Berührungslinie an B berechneten Ordinate die Größe m zuzuzählen ist[6]).

Bei Erweiterungs- und Umbauten von Gleisen ist die Richtung und Höhe des neuen Gleises durch die Lage bestehender Gleise gegeben; die Absteckung kann deshalb beim Doppelgleisbau vom Nachbargleise durch Seitenmaße, beim Gleisumbau durch die vor Abtrag des alten Gleises durchzuführende Verpflockung der Lage desselben, erfolgen. Doch wird auch hierbei dort, wo das Gleis während des Betriebes größere Veränderungen in Höhe und Richtung erlitt, eine neue genaue

---

6) Die genaueren Formeln für die bezeichneten Werte lauten: $l = \frac{P}{r}\left(1 + \frac{l^4}{4P^2}\right)^{3/2}$, wobei in der rechten Seite der Gleichung für l der genäherte Wert $l = \frac{P}{r}$ einzuführen ist;

$$m = \frac{P}{l}\left(1 + \frac{5l^4}{12P^2}\right) - r = e - r(1 - \cos\varphi) = r\sin\varphi\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2};\quad \operatorname{tg}\varphi = \frac{l^2}{2P};$$

$$e = \frac{l^3}{6P};\quad \overline{AE} = l\left(1 + \frac{1}{40}\frac{l^4}{P^2} - \cdots\right);\quad u = \frac{l}{2}\left(1 - \frac{l^4}{4P^2}\right);\quad \overline{AW} = (r+m)\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} + u.$$

Näheres siehe: Die Übergangskurven von Max Edler von Leber, Verordnungsblatt des österr. k. k. Handels-Minister. für Eisenbahnen u. Schiffahrt 1890 und die Verhandlungen des internat. Eisenb.-Kongr. 1892, Frage IX/B.

Auspflockung nach Maßgabe des Längenschnittes und unter Benutzung der vorhandenen Festpunkte erfolgen müssen.

Da die Ausführung von Übergangsbogen der vorbezeichneten Form Verschiebungen des ursprünglichen Linienzuges erfordert, so ist deren spätere Einlegung auf bestehenden Bahnen nicht immer tunlich. In solchen Fällen werden Übergangsbogen mit innerem Anschlusse angewendet, wobei für einen Teil des vorhandenen Kreisbogens ein kurzes Bogenstück mit etwas kleinerem Halbmesser eingeschaltet wird, an welches sodann der Übergangsbogen in der früher entwickelten Form angeschlossen werden kann. Die Verminderung des Halbmessers kann

für $R = 150$ bis 300 m zu 10 m,
» $R = 300$ » 600 m » 25 m,
» $R = 600$ » 1200 m » 50 m

angenommen werden. Über Berechnung und Absteckung solcher Übergangsbogen gibt u. a. das schon oben erwähnte Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbögen usw. von Sarrazin und Oberbeck (Berlin) nähere Auskunft.

Über die Anwendung von Übergangskurven bei Korbbogen siehe Lichtenfels: »Der Korbbogen und die Übergangskurve im Eisenbahngleise« in der österreichischen Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, Wien 1903.

Nach Vollendung von Gleisbauten ist insbesondere in der freien Strecke ein dauerndes Festlegen und Bezeichnen der Richtungsverhältnisse und der Höhenlage der Bahn erforderlich, um Anhalte für die ordnungsmäßige Unterhaltung des Gleises zu besitzen. Die Bezeichnung der Richtungsverhältnisse erfolgt zweckentsprechend durch etwa 10 cm breite und 5 cm starke Pfähle, welche an den Anfangs- und Endpunkten der Krümmungen — dort wo Übergangsbogen ausgeführt sind, an den Endpunkten dieser — am Rande des Bahnkörpers eingeschlagen werden. Auf diesen Pfählen ist zu vermerken: der Krümmungshalbmesser, die Länge des Bogens, beziehungsweise die Länge des Übergangsbogens, das Maß der vorgeschriebenen Überhöhung des äußeren Schienenstranges und der Spurerweiterung.

Für die Festlegung der Bahnhöhe sind Festpunkte in der bereits erwähnten Art herzustellen. Die Anbringung von Höhenmarken ist insbesondere auch an jenen untergeordneten Gefällbruchpunkten erforderlich, welche dort entstehen, wo die durchlaufende Bahnneigung zur Erzielung eines gleichen Zugwiderstandes in den Krümmungen ermäßigt, in den Geraden aber erhöht wird. Damit diese Neigungsverhältnisse bei den Bahnerhaltungsarbeiten nicht verloren gehen, oder nicht etwa im Sinne der nur in den Hauptgefällbruchpunkten an den Neigungszeigern angeschriebenen Gefälle ausgeglichen werden, ist in diesen Punkten die Bahnhöhe durch Festpunkte zu bezeichnen, wozu auf festem Unterbau Steine eingesetzt, auf Anschüttungen, welche noch Setzungen unterliegen, zunächst Eichenholzpflöcke von etwa 10 cm Stärke und 1,5 m Länge eingerammt werden, deren obere Fläche die Höhe der Schwellenoberkante oder die Schienenhöhe angibt. Selbstverständlich muß deren Höhenlage durch Nachmessung öfter geprüft und erforderlichen Falles berichtigt werden.

§ 3. Gewinnung und Verteilung des Bettungsstoffes. Herstellung des Bettungskörpers. — Die Bedeutung, welche der Bettung im Gleisbau als eigenartiges elastisches Fundament der Fahrbahn zukommt, ist bereits im I. u. II. Kap. des II. Bds. dieses Handbuches auf theoretischer Grundlage erörtert worden. Hier soll nur

daran erinnert werden, daß der große Einfluß, welchen die Nachgiebigkeit und Veränderlichkeit der Bettung auf die Größe der Inanspruchnahme aller Bestandteile des Oberbaues, wie auf die gute Lage des Gleises und die Möglichkeit seiner Erhaltung ausübt, es erfordert, daß bei Wahl eines Bettungsstoffes, bei Festsetzung der Abmessungen und bei Herstellung des Bettungskörpers die Verhältnisse wohl beachtet werden, unter welchen das betreffende Gleis zu verlegen, zu betreiben und zu erhalten ist.

Die Forderungen, die wir an ein gutes Bettungsmaterial zu stellen haben, kennzeichnet W. Ast in dem Berichte zur Frage V/A der IV. Sitzung des internationalen Eisenbahnkongresses in zutreffender Weise dahin, daß »für die Bettung jenes Material das geeignetste sein wird, bei welchem die Größe des elastischen Nachgebens nach und nach auf ein tunlichst gleiches Maß herabgeht«. Dieser Bedingung wird der Bettungsstoff um so leichter und vollkommener entsprechen:

1. Je geringer die Inanspruchnahme ist, welche der Bettungskörper erleidet, also je kleiner die Verkehrslast und Fahrgeschwindigkeit, je größer und dichter gereiht die den Schienendruck übertragenden Schwellenflächen sind, je reichlicher der Bettungsquerschnitt, insbesondere dessen Stärke bemessen ist und je unnachgiebiger der Untergrund sich erweist, und

2. je härter, widerstandsfähiger gegen Frost und Nässe, je vollkommener in der Abführung der Niederschläge und je besser stopfbar der für die Bettung verwendete Stoff ist.

Zur Herstellung der Bettung eignen sich: Steinschlag (Schlägelschotter, Steinknack) aus natürlichen Steinen, Hochofenschlacke, Flußkies (Flußschotter), Grubenkies (Grubenschotter) und Sand. Auch ist künstliches Bettungsmaterial aus gebrannten Tonstücken in Verwendung genommen worden. Die Wahl unter diesen, an Wert in der genannten Reihenfolge abnehmenden Stoffen, wird einerseits bedingt durch die unter 1 genannten, und mit der Größe des Verkehrs, der Anlage der Bahn und der gewählten Oberbauart gegebenen Verhältnisse derart, daß je ungünstiger diese sind, ein desto vorzüglicheres Material für die Bettung geboten ist. Anderseits wird diese Wahl eingeschränkt durch die Rücksicht auf die mehr oder minder großen Schwierigkeiten der Gewinnung eines geeigneten Stoffes und deren Kosten. Je weniger dieses Material den unter 2 gestellten Bedingungen entspricht, um so mehr wird durch die Bauart des Oberbaues dafür gesorgt werden müssen, daß die zulässigen Grenzen der Inanspruchnahme der Bettung nicht überschritten werden. Der vollkommenste Oberbau wird der sein, bei welchem der Widerstand der Bettung mit deren Inanspruchnahme und mit jener der übrigen Teile des Gleises in gutem Einklang steht.

Die Eigenschaften einer guten Bettung und die mit Rücksichtnahme auf die Art und Dichte des Verkehres, der Selbstkosten usw. zu treffende Wahl zwischen Bettungsstoff verschiedener Güte, dann der Einfluß der Bettung auf den Bestand des Gleises, haben eine sehr eingehende Erörterung auch auf dem VI. internationalen Eisenbahnkongresse in Paris im Jahre 1900 in den von Bauchel, Feldpauche und A. Wasiutynski zur Frage IX (Ballast) erstatteten Bericht erfahren[7]).

In den vom Kongresse festgestellten Schlußfolgerungen wird die Bettung als

[7]) Verhandlungen d. internat. Eisenbahnkongr., Juni 1900; dann Allgemeiner Bericht über den internat. Kongreß Paris 1900, Brüssel 1901.

»der wahrhafte Regler der Elastizität des Gleises« bezeichnet. Als beste Bettungsstoffe für Hauptbahnen werden harter, nicht verwitterbarer Steinschlag, verkleinerte Hochofenschlacke und eckiger Kies empfohlen.

Wir beschränken uns hier auf diese allgemeinen Gesichtspunkte, die wir als für die Wahl des Bettungsmateriales maßgebend erachten, und verweisen im übrigen auf die einschlägigen Ausführungen im I. und II. Kapitel des II. Bandes dieses Handbuches.

Eine Prüfung und Beurteilung der Eignung der natürlichen Gesteine als Bettungsstoff kann zwar durch Ermittelung der Druckfestigkeit, der Abnutzbarkeit, des spezifischen Gewichtes, des Raumgewichtes, des Dichtigkeitsgrades, des Wasseraufnahmevermögens und der Frostbeständigkeit erfolgen, doch sind die erforderlichen Untersuchungen insbesondere an Kies wegen dessen Form schwer auszuführen; auch geben solche Untersuchungen über die mehr oder weniger gute Stopfbarkeit des Bettungsstoffes keinen verläßlichen Aufschluß. Besondere Beachtung verdient daher, das von Rudeloff[8]) in der kgl. mech.-techn. Versuchsanstalt durchgeführte Verfahren für die Prüfung von Kies und Steinschlag, welches die unmittelbare Nachahmung der Beanspruchungen durch den Betrieb und dessen Einwirkungen auf den Bettungsstoff bezweckt. In einem starkwandigen hölzernen Kasten werden abgewogene Mengen des Bettungsstoffes, dessen Korngröße vorher durch Absieben festgestellt wurde, einer bestimmten Zahl von Schlägen durch ein mechanisch betriebenes Fallwerk ausgesetzt. Die sodann vorhandenen Gewichtsmengen und Korngrößen werden festgestellt. Die Prüfung erstreckt sich auch auf Abschleifen und Zertrümmern durch wiederholte stoßweise Druckbelastung, sowie auf die Widerstandsfähigkeit des Kieses oder Steinschlages gegen stetig wachsenden Druck und auf Ermittelung des Verhaltens gegen Nässe und Frost.

Gleichfalls von dem Gedanken ausgehend, daß bei der versuchsweisen Erprobung des Bettungsstoffes die Vorgänge des Betriebes möglichst der Wirklichkeit entsprechend nachzuahmen sind, hat Schubert[9]) den Wert verschiedener Arten von Bettungsstoffen als Stopfmittel durch Versuche festzustellen versucht, bei welchen Schwellenstücke nebst Bettung und Planum in festen Kästen eingeschlossen, belastet und gestopft wurden, wie es im Gleis auf der Strecke geschieht.

Aus Schuberts Versuchen ergab sich, daß Steinschlag aus gutem Hartgestein durchschnittlich dreimal so widerstandsfähig ist, als der gesiebte Kies, und daß ein Gleis mit Kiesbettung siebenmal so viel Bettungsstoff und dreimal so viel Arbeitslohn erfordert, als dasselbe Gleis mit Bettung aus Basaltkleinschlag.

Die Gewinnung des Bettungsstoffes erfolgt je nach dessen Art und Vorkommen entweder

a) durch Zerkleinern der in Steinbrüchen oder beim Bahnbaue aus Felseneinschnitten gewonnenen größeren Steine, sowie der beim Hochofenbetriebe abfallenden Schlacken, oder

b) durch Aushub von Kies und Sand aus Flüssen und Gruben.

Steinschlag (Schlägelschotter) gibt ein vorzügliches Bettungsmaterial, wenn er aus hartem, frostbeständigem Gestein, in einer Korngröße von 3 höchstens 6 cm

8) Mitteilungen der kgl. mech.-technischen Versuchsanstalten 1897, auch Zentralblatt der Bauverwaltung 1898.

9) Planum, Bettung und Schwellenform, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897. Über die Vorgänge unter der Schwelle eines Eisenbahngleises, ebenda 1899; Zentralblatt der Bauverwaltung 1903.

erzeugt wird. Für Holzschwellenoberbau ist erwünscht, daß die Kanten der einzelnen Teile nicht allzu scharf sind, für Eisenschwellen ist feineres Korn erforderlich. Es eignen sich hiernach von den natürlichen Steinen: Basalt, Dolerit, Granit, Quarz, Gneis, Porphyr, Syenit, Grauwacke, harte Sandsteine usw.; hingegen sind Kalksteine weniger geeignet, da die härteren sehr scharfkantig brechen, die weicheren aber im Gleise rasch zermalmt werden und dort breiige Massen bilden, welche den Wasserabzug behindern. Toniges, Letten- und Schiefer-Gestein ist ungeeignet.

Die Herstellung des Steinschlages erfolgt durch Handarbeit oder mittels eigener Maschinen. Bei der Handarbeit werden die größeren Steine mit schweren Hämmern (Steinhammer, Tafel I, Abb. 8) zertrümmert und dann mit kleineren Hämmern (Schotterschlägel, Tafel I, Abb. 9) in die geforderte Korngröße zerschlagen. Die Würfelform ist die beste. Der Steinschlag wird sodann in regelmäßige Haufen aufgehäuft, gemessen und nach Raummaß bezahlt. 1 cbm Stein gibt etwa 1,2 bis 1,3 cbm Steinschlag.

Die Leistung der Arbeiter ist abhängig von ihrer Gewandtheit, insbesondere ihrer Vertrautheit mit den Eigenschaften der betreffenden Steinsorte und von deren Härte; sie ist bei Abschlüssen im Verding am besten durch Versuche festzustellen. Die Angaben über die tägliche Leistung eines geübten Handarbeiters schwanken zwischen 1 und 2 cbm und können mit etwa 1,25 bis 1,5 cbm angenommen werden.

Die verhältnismäßige Kostspieligkeit und geringe Leistungsfähigkeit dieser Herstellungsart hat schon vor mehr als 30 Jahren dazu geführt, mechanische Vorrichtungen, sogenannte Steinbrechmaschinen, zur Erzeugung von Steinschlag in Verwendung zu nehmen. Bei den Steinbrechmaschinen werden die Steine entweder zwischen schräg gegeneinander gestellten, gezahnten Brechbacken zerdrückt oder zerschlagen (Backenbrechmaschinen), wobei der eine Backen durch seine schwingenden Bewegungen das Brechgut gegen den andern festen Backen preßt und das Brechmaul eine wechselnde Erweiterung und Verengung erfährt; oder die Steine werden zwischen kegelförmigen Scheiben und Walzen durch langsame Drehung dieser zermalmt (Walzenbrechmaschinen). Zur Verwendung gelangen meist Backenbrechmaschinen, insbesondere jene der Bauart Blake in den verbesserten Formen von Marsdon, dann jene von Fraser und Chalmers, Hope, Baxter und Comp. in Leeds, Dyckhoff u. a., die Doppelsteinbrechmaschinen von George Simson, von Brink und Hübner in Mannheim, Mason und Comp. in Leicester u. a. Von den weniger angewandten Walzenbrechmaschinen seien jene von Drake und Reid und von Camrone genannt. Eine Verbindung von Backen- und Walzenbrechern ist Archers Steinbrecher. Beschreibungen, Abbildungen und nähere Mitteilungen finden sich in den unten angegebenen Literaturnachweisen[10]).

---

[10]) Caspar, Über Herstellung von Bettungsmaterial durch Maschinenbetrieb, Deutsche Bauz. 1877; Voiges, Über Herstellung von Steinschlag durch Maschinenbetrieb, Deutsche Bauz. 1867; G. Osthoff, Die Materialien der Bettung und Gleise, Oldenburg 1880; Steinbrechmaschine von Baxter & Comp. in Leeds, Iron 1881, Dinglers polytechn. Journal 1881; N. Fischer, Über Zerkleinerungsmaschinen, Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1886; Polak, Gewinnung und Bearbeitung von Bausteinen, Handbuch der Ingenieurwissenschaften IV. Band, 3. Abteilung: Die Baumaschienen, Leipzig 1890; Lego, Steinbrecher, Génie civil 1838, Paris; Leibbrand, Das staatliche Basaltwerk Urach in Württemberg, Zeitschrift f. Bauwesen 1889; Mühlen, Anlagen zur Herstellung von Bettungsschotter (Kleinschlag) mit Steinbrechmaschinen, Zeitschr. f. Bauwesen 1894, Heft VII bis IX; Archers Steinbrecher, Zeitschr. f. Transportwesen und Straßenbau 1887; Masons Zwillingssteinbrecher, ebenda 1889; Der Steinbrecher von Brenan, ebenda 1891; Brink und Hübner, Doppelsteinbrecher, ebenda 1892; Fahrbare Steinbrecher, Engineering

Der Antrieb der Steinbrechmaschinen erfolgt meist mittels Wasser- oder Dampfkraft, die Sichtung des Steinschlags nach Korngröße geschieht in Trommeln mit Drahtgeflechten von 10 bis 60 mm Maschenweite, mittels Sortierrättern (Rüttelsieben) und Wurfgittern.

Die durchschnittliche Leistung dieser Maschinen schwankt zwischen 1,5 bis 7 cbm und mehr in der Stunde, d. i. bei zehnstündiger Arbeitszeit 15 bis 70 cbm und mehr im Tage, wobei 70 cbm Grobgut etwa 50 cbm Steinschlag und 20 cbm Abfall ergeben. Nach Voiges Mitteilungen wäre unter Berücksichtigung aller Kosten für Nebenarbeiten und Tilgung der Anlagekosten das Kubikmeter Maschinensteinschlag etwa 30 bis 40 v. H. billiger als Handsteinschlag. Nach Mühlens neueren Mitteilungen ergaben die Brechanlagen bei Neunkirchen eine Ersparnis von 50 v. H. gegenüber Handkleinschlag.

Trotz dieser Überlegenheit der Maschinenarbeit in Leistung und Kosten gegenüber Handarbeit ist die Verwendung der Steinbrechmaschinen für die Gewinnung von Oberbaubettungsmaterial bisher im ganzen noch gering. Die Bewährung dieser Maschinen und die Brauchbarkeit ihrer Erzeugnisse hängt zunächst wesentlich von der verwendeten Gesteinsart ab. Steine von schieferigem Gefüge zersplittern zu sehr und geben viel Abfall. Bei der im Jahre 1884 auf der Technikerversammlung zu Berlin erfolgten Erörterung der mit Steinbrechmaschinen gemachten Erfahrungen gelangte diese zu der Schlußfolgerung, daß »derzeit ausreichende Erfahrungen im Vereinsgebiete noch nicht vorliegen«, indem damals lediglich die elsaß-lothringischen Eisenbahnen über zufriedenstellende Ergebnisse berichteten, welche sie mit einer Backenbrechmaschine bei Erzeugung von ungefähr 15000 cbm Kleinschlag aus Muschelkalk für den Bau des Bahnhofes Avricourt erzielten, während drei andere Bahnen bei maschinenmäßiger Kleinschlagerzeugung aus Basalt, Porphyr und Kalksteinen ganz ungenügende Ergebnisse erzielten. Hingegen lauten die neueren Mitteilungen über Steinbrechmaschinenbetrieb der französischen Westbahn in Chailloné (Departement Orne)[11] und jene von Mühlen über Anlagen zur Herstellung von Bettungsschotter (Kleinschlag) mit Steinbrechmaschinen[12] sowie über die Steinbrechanlage der österreichischen Staatsbahnen bei Villach[13] wesentlich günstiger. Der Steinbruch in Chailloné wurde zum Zwecke der Gewinnung von Bettungsstoff für den Bau des zweiten Gleises der Linie von Paris nach Granville im Jahre 1887 eröffnet. Zwei Steinbrechmaschinen erzeugten zusammen 500 cbm Kleinschlag im Tage. Die hierzu erforderliche Kraft lieferten zwei Lokomotiven von 20 PS. — Mühlen berichtet über die Erfahrungen, welche bei Herstellung von etwa 150000 cbm Kleinschlag — für den Umbau der Bahnhöfe Saarbrücken und Neunkirchen — gemacht wurden. Nachstehende Abbildung 2 zeigt die dabei verwendete Backenbrechmaschine. Die Zeichnung bedarf nach dem Vorangeschickten kaum einer Erklärung.

Über die mit diesen — von Dampfmaschinen angetriebenen — Steinbrechmaschinen in den Anlagen an der Zweigbahn von Neunkirchen nach Grube König und zwischen den Stationen St. Wendel und Ottweiler erzielten Ergebnisse berichtet Mühlen: »Das Erzeugnis an Schottter ist, soweit dessen Verwendung zu Bettungszwecken in Frage kommt, bei geeignetem Brechgut dem

News 1885; Feldpauche, Bericht zur Frage IX (Ballast) auf dem internationalen Eisenbahnkongreß zu Paris 1900. Allgemeiner Bericht, Brüssel 1901.

11) Siehe Génie civil, Paris 1888.

12) Siehe Zeitschrift für Bauwesen, Berlin 1894.

13) Zeitschrift des österr. Ingen.- und Archit.-Vereins 1897.

Handkleinschlag vollkommen gleichwertig, die einzelnen Stücke sind scharfkantig, fest und gesund; es kommen zwar Stücke vor, welche mehr von der Würfelform abweichen als bei der Zerkleinerung desselben Gesteins mit Handhämmern, die einen mehr rhombischen Querschnitt aufweisen, jedoch wird die Brauchbarkeit des Schotters als Stopfmaterial hierdurch in keiner Weise gemindert, auch sind die vorkommenden kleineren Stücke von 1,5 bis 3 cm Größe derselben nur förderlich. Der entfallende Feingries, der durch ein Siebwerk von dem Schotter getrennt werden muß, ist als Befestigungsstoff für Bahnsteige und als Deckmaterial für Wegebefestigungen vorzüglich verwendbar, und bei der Zerkleinerung von Hochofenschlacken kann durch Aussieben der feineren Teile des Grieses oder durch nochmalige Zerkleinerung desselben in einem Kollergang oder einer Schleudermühle ein sehr guter Mauersand gewonnen werden. Bei der Anlage von Steinbrechern ist besonders auf die tunlichste Beschränkung aller Handarbeit Wert zu legen und darauf zu achten, daß das Erzeugnis ohne weitere Hebung durch Menschenkraft in die Bahnwagen geschafft werden könne.«

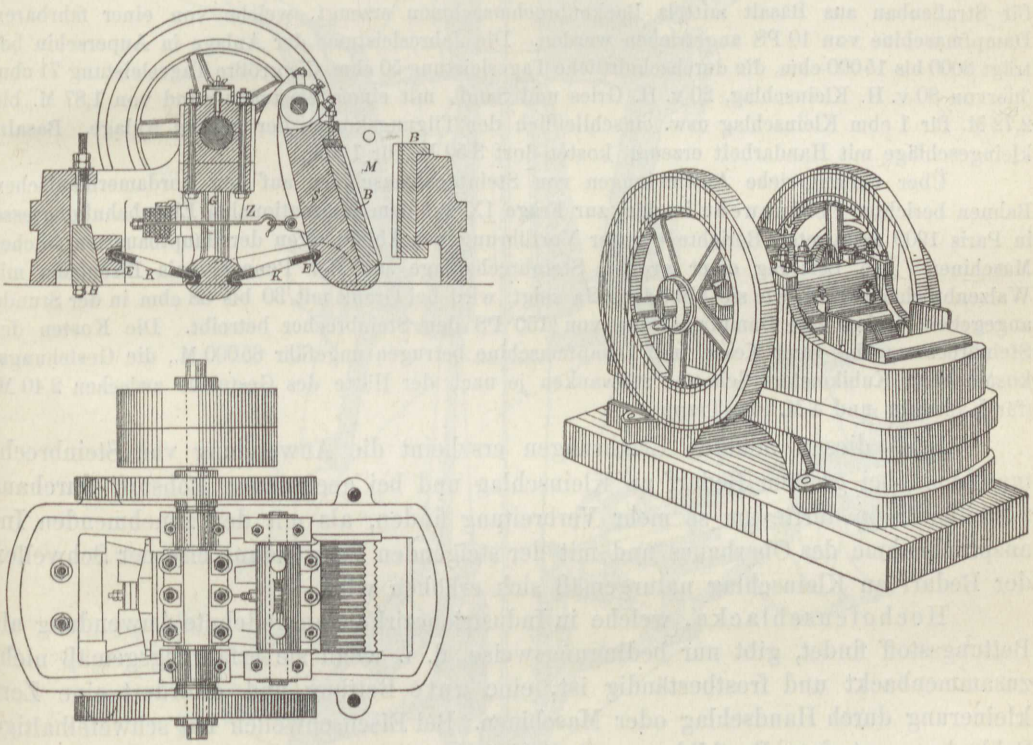


Abb. 2.

Die Anlage bei Neunkirchen dient vorwiegend zur Zerkleinerung der von einem in der Nähe gelegenen Eisenwerke gelieferten Hochofenschlacken. Zwei Brechmaschinen lieferten bei 250 Umdrehungen in der Minute in zehnstündiger Arbeitszeit 140 bis 160 cbm. Auf 140 cbm entfielen etwa 122 bis 125 cbm Kleinschlag und 15 bis 18 cbm Gries. Der Kleinschlag hatte 4 bis 5 cm Korngröße und enthielt 10 bis 12 v. H. kleinere Stücke von 1,5 bis 3 cm Größe. Die Gesamtleistung in 262 Betriebstagen betrug 33600 cbm Kleinschlag und 6470 cbm Gries. Die Gesamtkosten für 1 cbm Kleinschlag aus Hochofenschlacken stellten sich hierbei auf 1,63 Mark, wobei die Gestehungskosten der Schlacke, die Vorzerkleinerung und Beförderung des Brechgutes vom Lagerplatz zur Anlage mit 0,92 M., die Gesamtzerkleinerungs- und Verladekosten mit 0,71 M. in Rechnung stehen. Handkleinschlag aus demselben Material kostete frei Bahnwagen Versandort 3,25 M., somit ein Mehrerfordernis von 100 v. H. Die zweite der genannten Anlagen befindet sich in einem Dioritsteinbruch und ist für eine Leistungsfähigkeit von 90 cbm in zehn Arbeitsstunden berechnet, bei Betrieb einer Maschine. Tatsächlich lieferte dieser Steinbrecher in zehnstündiger Arbeitszeit

65 cbm Kleinschlag von 4 bis 6 cm Korngröße
20 » » » 2,5 » 4 » »
15 » » » 1,5 » 2,5 » »

insgesamt 100 cbm Bettungsstoff, mit einem Kostenaufwand von etwa 2,1 M. für 1 cbm, während Dioritkleinschlag dort bei Handbetrieb auf 4 M. zu stehen kommt.

Mühlen beziffert die durch den Betrieb beider Anlagen für die Dauer des großen Bedarfs an Bettungsstoffen zu erwartende jährliche Ersparnis auf 90000 bis 100000 M.

Die Steinbrechanlage der österreichischen Staatsbahnen bei Villach liefert 1 cbm Bettungsmaterial um etwa 1,5 M., während bei Handbetrieb das cbm auf 2,5 M. zu stehen kommt. Für 1 cbm Bettungsstoff ist 1,3 cbm Bruchstein erforderlich; als Nebenerzeugnis wird feiner Gries und Sand gewonnen und mit 2 M. für das cbm verwertet.

Diese günstigen Erfahrungen wurden auch bestätigt durch die seit dem Jahre 1898 auf der Außig-Teplitzer Eisenbahn in Betrieb stehenden Steinbrechanlagen bei Auperschin und bei Eicht. In beiden Anlagen wird Kleinschlag in Korngrößen von etwa 6 cm für Oberbau und von 3 bis 4 cm für Straßenbau aus Basalt mittels Backenbrechmaschinen erzeugt, welche von einer fahrbaren Dampfmaschine von 10 PS angetrieben werden. Die Jahresleistung der Anlage in Auperschin beträgt 8000 bis 15000 cbm, die durchschnittliche Tagesleistung 50 cbm, die größte Tagesleistung 71 cbm (hiervon 80 v. H. Kleinschlag, 20 v. H. Gries und Sand), mit einem Kostenaufwand von 1,87 M. bis 2,72 M. für 1 cbm Kleinschlag usw. einschließlich der Tilgungskosten der ganzen Anlage. Basaltkleingeschläge mit Handarbeit erzeugt, kostet dort 3,50 M. für 1 cbm.

Über umfangreiche Anwendungen von Steinbrechmaschinen auf den nordamerikanischen Bahnen berichtet Feldpauche in dem zur Frage IX auf dem internationalen Eisenbahnkongresse in Paris 1900 erstatteten Berichte[14]) unter Vorführung von Abbildungen der Hauptbauarten solcher Maschinen. Die Leistung einer großen Steinbrechanlage auf der Pennsylvania-Eisenbahn mit Walzenbrechmaschine, wie sie Abbildung 2a zeigt, wird bei Granit mit 30 bis 38 cbm in der Stunde angegeben, wobei eine Dampfmaschine von 150 PS den Steinbrecher betreibt. Die Kosten der Steinbrechmaschine samt Kessel und Dampfmaschine betrugen ungefähr 65000 M., die Gestehungskosten eines Kubikmeters Schotter schwanken je nach der Härte des Gesteines zwischen 2,40 M. (für Kalkstein) und 4 M. (für Trapp).

Nach diesen neueren Erfahrungen erscheint die Anwendung von Steinbrechmaschinen bei großem Bedarf an Kleinschlag und bei geeignetem Rohstoff durchaus vorteilhaft; sie dürfte um so mehr Verbreitung finden, als mit der zunehmenden Inanspruchnahme des Oberbaues und mit der steigenden Verwendung eiserner Schwellen der Bedarf an Kleinschlag naturgemäß sich erhöhen wird.

Hochofenschlacke, welche in Industriebezirken ausgedehnte Anwendung als Bettungsstoff findet, gibt nur bedingungsweise, d. i. wenn sie erfahrungsgemäß nicht zusammenbackt und frostbeständig ist, eine gute Bettung und erfordert eine Zerkleinerung durch Handschlag oder Maschinen. Bei Eisenschwellen hat schwefelhaltige Schlacke zu starken Rostbildungen Anlaß gegeben.

Kies entspricht den Forderungen, die wir an einen guten Bettungsstoff stellen müssen, in wesentlich geringerem Maße als Kleingeschläge. Die rundliche, abgeschliffene Form der Kiesstücke erleichtert zwar die Arbeit des Stopfens, vermindert aber den Reibungswiderstand; es bedarf deshalb ein Gleis mit solchem Bettungsmaterial eines viel häufigeren Nachstopfens, als bei Kleingeschläge. Kleine Beimengungen harten, grobkörnigen Sandes — etwa 10 bis 20 v. H. — sind geeignet die Festigkeit der Kiesbettung zu erhöhen, größere Mengen aber behindern den guten Wasserabfluß. Erdige, insbesondere lehmige und tonige Beimengungen, wie sie der aus Gruben gewonnene Kies meist enthält, machen denselben ganz ungeeignet für eine gute Gleisunterhaltung. Hiernach ist reiner, harter Flußkies von nicht über 6 cm Korngröße dem Grubenkies vorzuziehen.

---

[14]) Allgemeiner Bericht, Brüssel 1901.

Die Gewinnung von Kies aus Flüssen erfolgt von Hand mit der Schaufel oder mit Handbagger, bei großem Betriebe am vorteilhaftesten mittels Baggermaschinen [15]).

Bei der Gewinnung von Kies aus Gruben hat man sich zunächst durch Herstellung von Probegruben über die Mächtigkeit des Schotterlagers, die Güte des zu gewinnenden Kieses und die Menge des Abraumes Aufschluß zu verschaffen. Der Abraum — d. i. die aus Erde, oder aus mit Erde stark verunreinigtem Kies

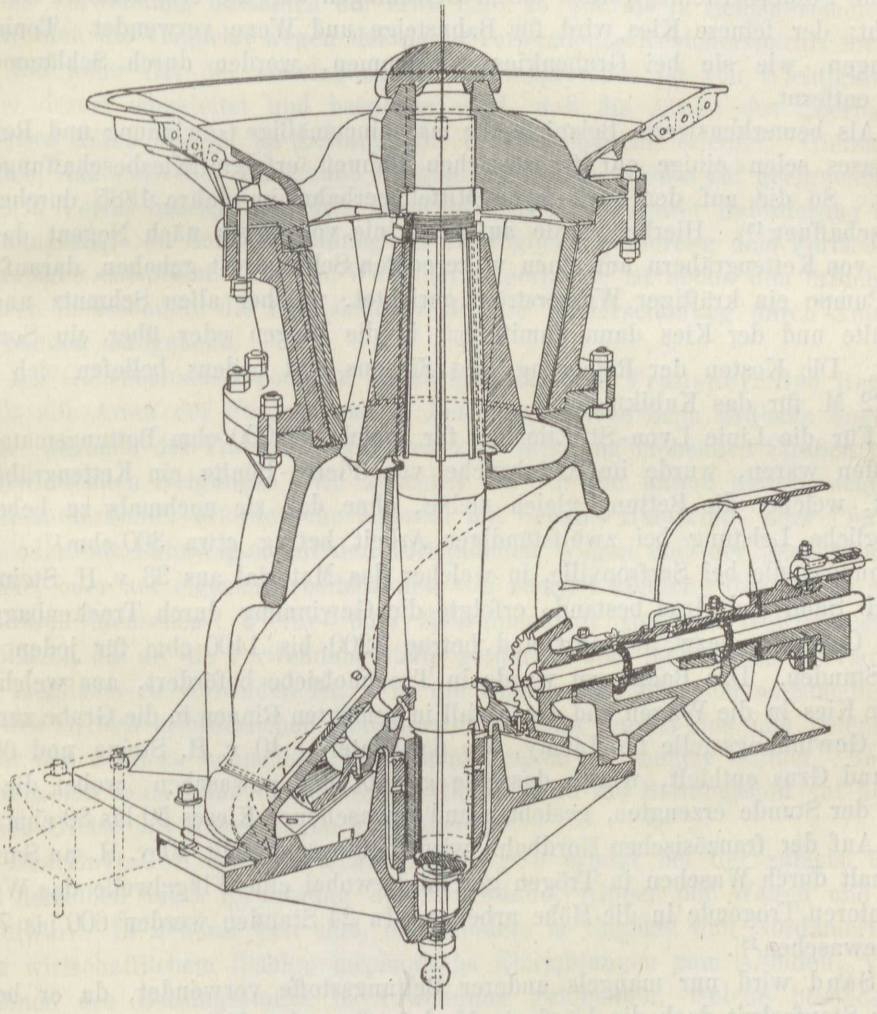


Abb. 2a.

bestehende obere Schicht — ist beim Aushub so zu lagern, daß er bei der Kiesgewinnung sich mit dem Kies nicht mengt. Der Aushub des Kieses erfolgt meist von Hand mit Spitzhaue und Schaufel. Bei großem Bedarfe und dort, wo menschliche Arbeitskraft teuer und schwer zu erlangen ist, werden Trockenbagger mit Vorteil angewendet. Bei hartem Boden wird die Arbeit dieser durch besondere

[15]) Wir verweisen hinsichtlich der Einzelheiten auf den IV. Band des Handb. d. Ing.-Wiss., 1. Abt. (2. Aufl.), Leipzig 1898 und auf Salomon und Forchheimer, Neue Bagger- und Erdgrabemaschinen.

Vorkehrungen für die Auflockerung des Bodens — wie Pflüge, Kratzer, Bespülung usw. — unterstützt.

Der aus Flüssen und Gruben gewonnene Kies bedarf zur Erzielung eines gleichmäßigen Kornes und der Reinigung noch des Siebens. Man bedient sich hierzu eiserner Draht- oder Blechsiebe — Wurfgitter — von etwa 8 bis 10 mm Maschenweite, über welche der Kies geworfen wird. Die Neigung, unter der das Wurfgitter aufzustellen ist, richtet sich nach dem Grade der erdigen Beimengungen. Zurückbleibende größere Steine werden durch Zerschlagen auf die erforderliche Korngröße gebracht; der feinere Kies wird für Bahnsteige und Wege verwendet. Tonige Beimengungen, wie sie bei Grubenkies vorkommen, werden durch Schlämmen des Kieses entfernt.

Als bemerkenswerte Beispiele für maschinenmäßige Gewinnung und Reinigung des Kieses seien einige auf französischen Bahnen erfolgte Kiesbeschaffungen angeführt. So die auf der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn im Jahre 1885 durchgeführte Kiesbeschaffung[16]). Hierbei wurde auf der Linie von Arron nach Nogent das Kiesgerölle von Kettengräbern auf einen wagerechten Schüttelrost gehoben, darauf mittels einer Pumpe ein kräftiger Wasserstrom gerichtet, welcher allen Schmutz und Sand wegspülte und der Kies dann unmittelbar in die Wagen oder über ein Sortiersieb geleitet. Die Kosten der Reinigung, des Siebens und Ladens beliefen sich hierbei auf 1,22 M. für das Kubikmeter.

Für die Linie Lyon-St. Etienne, für welche 80000 cbm Bettungsmaterial zu beschaffen waren, wurde im Steinbruche von Pierre-Bênite ein Kettengräber aufgestellt, welcher die Bettung gleich siebte, ohne daß sie nochmals zu heben war. Die tägliche Leistung bei zwölfstündiger Arbeit betrug etwa 300 cbm[17]). In der Gewinnungsstelle bei Sartronville, in welcher das Material aus 33 v. H. Steinen und 67 v. H. Sand und Grus bestand, erfolgte die Gewinnung durch Trockenbagger der Bauart Couvreux bezw. Joucourt und betrug 1200 bis 1400 cbm für jeden Bagger in 12 Stunden. Das Baggergut wurde in Trommelsiebe befördert, aus welchen der gesiebte Kies in die Wagen und der Abfall in geneigten Rinnen in die Grube zurückfiel. In der Gewinnungsstelle bei Limay, wo das Material 40 v. H. Steine und 60 v. H. Sand und Grus enthielt, wurde dasselbe gesiebt und gewaschen, wobei die Menge des in der Stunde erzeugten, gesiebten und gewaschenen Kieses 50 bis 80 cbm betrug.

Auf der französischen Nordbahn wird Bettungsstoff mit 40 v. H. an Sand- und Tongehalt durch Waschen in Trögen gereinigt, wobei eine Flügelwelle das Waschgut vom unteren Trogende in die Höhe arbeitet. In 24 Stunden werden 600 bis 700 cbm Kies gewaschen[18]).

Sand wird nur mangels anderer Bettungsstoffe verwendet, da er bei zwar leichter Stopfarbeit doch die häufigste Nachstopfung der Gleise erfordert. Er nimmt an Tragkraft um so rascher ab, je lehmiger er ist. Es soll deshalb nur reiner, scharfer, grobkörniger Flußsand verwendet werden. In Strecken, die häufigen, starken Winden ausgesetzt sind, wird das Bedecken des Sandes mit Rasen oder Ballast erforderlich, um ein Fortwehen desselben und die Staubentwicklung zu verhindern.

---

16) Le Génie civil, Paris 1886; Annales des ponts et chaussées 1886 und Revue générale des chemins de fer 1886.

17) Siehe auch Revue générale 1894, Baugeschichte der Linie von Argenteuil nach Nantes.

18) Engineering News vom 16. November 1893.

Hierzu wurden auf französischen Bahnen (Lille-Calais) Ziegelstücke, gebrannte Lehmstücke, Schlacken und Kohlenlösche verwendet.

In Ermangelung der vorgenannten, natürlichen Bettungsstoffe hat man auch lediglich gebrannten Ton zur Bettung verwendet. Derselbe hat insbesondere auf englischen, amerikanischen und indischen Eisenbahnen umfangreiche Anwendung gefunden[19]). Das Urteil der amerikanischen Ingenieure geht aber dahin, daß er nur geringen Widerstand gegen Zerdrücken bietet und leicht zerstäubt, und daß das Gleis bei Verwendung desselben nur etwa halb so gut als in Schlägelschotter liegt. Doch werden die Versuche wegen der damit verbundenen Kostenersparnis fortgesetzt.

Bei jeder Art der Gewinnung des Bettungsstoffes ist von Wichtigkeit, daß dieselbe derart eingeleitet und betrieben wird, daß die Arbeit des Oberbaulegens nicht etwa durch Mangel an Bettungsstoff Unterbrechungen erleidet. Hierzu ist erforderlich, daß entweder genügende Mengen des Bettungsstoffes auf geeigneten Lagerplätzen in Vorrat beschafft werden, oder daß bei unmittelbarer Beförderung von der Gewinnungsstelle an den Verwendungsort die tägliche Förderung dem Fortschritte im Oberbaulegen entspricht. Für die Wahl der Lagerplätze ist neben den örtlichen Verhältnissen insbesondere die Rücksicht auf leichte Weiterschaffung durch Anlage von Förderbahnen maßgebend.

Bei Gleisneubauten kommen im übrigen für den Transport des Bettungsstoffes alle Arten der Förderungen in Betracht, welche beim Erdbaue angewendet werden. Je nach der Transportweite, den zur Verfügung stehenden Straßen und den zu überwindenden Neigungen wird zunächst das für die untere Bettungsschicht (bis Schwellenunterkante) erforderliche Material mit Schub-, Handkipp- oder Pferdekippkarren oder mit Bahnwagen auf den vorhandenen Wegen und der geebneten Unterbaufläche, oder auf eigenen Arbeitsbahnen von zumeist kleinerer (bis 0,6 m) als Vollspur, durch Menschen-, Pferde- oder Maschinenkraft von den Gewinnungs- oder Lagerplätzen bis an die Verwendungsstelle geführt, wobei mehrfaches Überladen und Heben möglichst zu vermeiden ist. Für die Einbringung des zum vollständigen Verfüllen des Gleises erforderlichen Bettungsstoffes kann bereits das neu gelegte Gleis — unter den noch zu nennenden Vorsichtsmaßregeln — benutzt werden. Bei Gleisumbauten oder beim Baue eines zweiten Gleises wird der Bettungsstoff auf dem vorhandenen Gleise mit Arbeitszügen zugeführt[20]).

Das Entladen der Kiestransportwagen erfolgt bei der zumeist üblichen Bauart derselben durch Entfernung der Bordwände, Kippen der Wagen und mittels Schaufelwurf. In neuerer Zeit sind, insbesondere in England und Nordamerika, mit großem wirtschaftlichem Erfolge mechanische Einrichtungen zum Abladen, Verteilen und Ebnen des Bettungsstoffes in Anwendung gekommen, welche besondere Beachtung verdienen. Man benutzt dort zum Einbringen der Bettung eigene Wagen, deren Kasten einen dreieckigen Querschnitt besitzt, bis etwa 25 cm über Schienenoberkante reicht und unten durch Klappen verschlossen ist, welche durch seitliche

[19]) In Tratmann, Über Eisen- und Straßenbahngleise, Transactions of Am. Society of Civ. Eng. Vol. XXII. 1890; in den Engineering News vom 16. Nov. 1893 (von S. E. Coombs) und in Baumaterialienkunde Nr. 8, Stuttgart 1896, finden sich ausführliche Mitteilungen über die Herstellung und Kosten einer derartigen Bettung.

[20]) Hinsichtlich der Leistungen und Kosten der genannten Transportarten verweisen wir auf den 1. Teil des Handbuches der Ing.-Wissensch. (4. Aufl. II. Bd. I. Kap.) und auf die einschlägigen Werke über die Ausführung von Erd- und Felsarbeiten.

Hebel nach Bedarf geöffnet werden können. Abbildung 3 und 4 zeigen einen derartigen auf der South-Western-Eisenbahn in Verwendung genommenen Wagen. Die auf amerikanischen Bahnen benutzten Wagen sind 10 m lange Bordwandwagen mit Bodentrichtern, welche 10 bis 14 cbm fassen. Die Trichterklappen werden mittels Ketten und Sperrad geöffnet und geschlossen, wozu ein Mann genügt. Am letzten Wagen des Kieszuges befindet sich ein Pflug, welcher mittels einer Schraubenspindel bis auf Schienenoberkante herabgelassen werden kann und bei seiner Fortbewegung die zwischen dem Gleise aufgehäufte Bettung verteilt. Mit

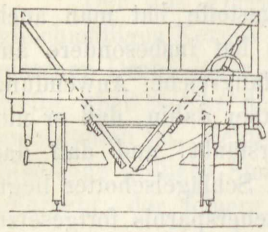


Abb. 3.

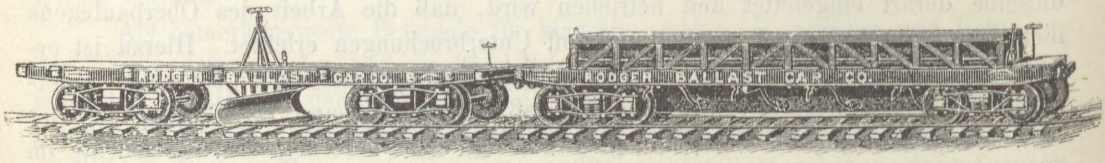


Abb. 4.

einem Zuge von 25 Wagen können auf diese Art 300 bis 350 cbm Bettung in einem Zeitraume von 10 bis 15 Minuten durch einen Mann abgeladen und verteilt werden.

Für die seitliche Entladung des Kieses benutzt man keilförmige Schlitten, welche mittels eines Drahtseiles von der Lokomotive aus über den ganzen Zug gezogen werden und je nach ihrer Form den Kies entweder bloß auf der einen Seite — bei Doppelbahn in das Nachbargleis — oder beiderseits des Gleises — bei eingleisiger Bahn — abladen. Die Abbildungen 5, 6 und 7 zeigen Barnharts Pflug mit

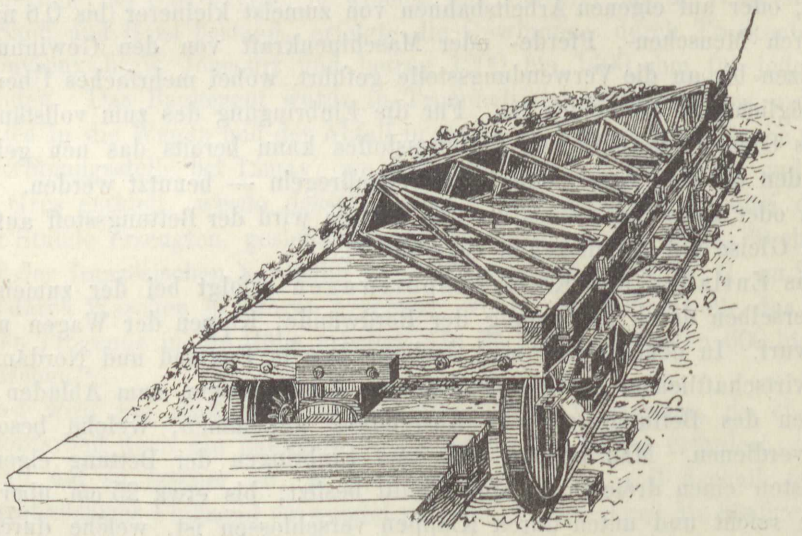


Abb. 5.

einseitiger und beiderseitiger Entladung. Die Bewegung des Pfluges erfolgt entweder derart, daß ein an der Lokomotive befestigtes Kabel von 25 bis 40 mm Stärke den auf dem letzten Wagen befindlichen Pflug unmittelbar zieht, wobei die Lokomotive vom Zuge getrennt sich fortbewegt, oder indem das Kabel mittels einer Dampfwinde über eine Trommel aufgewunden wird, welche auf dem Wagen hinter der Lokomotive

aufgestellt ist und den Dampf von dieser erhält. Bei letzterer Art der Entladung ist die Menge des abzuladenden Bettungsstoffes beliebig feststellbar, da sie davon

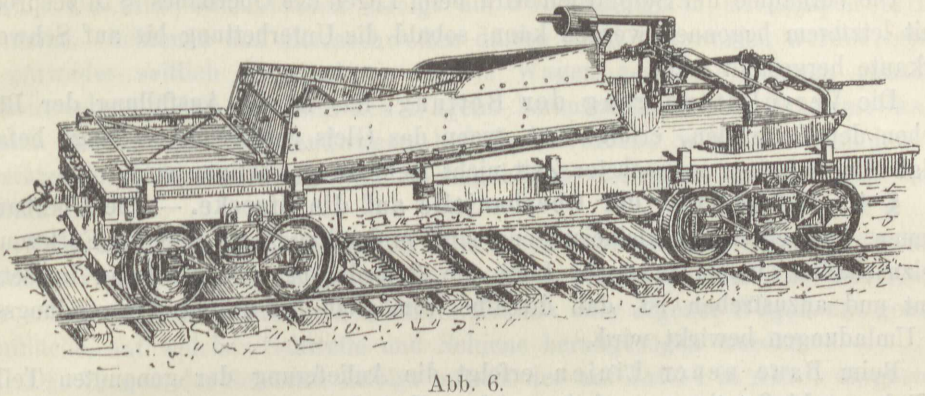


Abb. 6.

abhängt, ob sich Zug und Pflug in gleicher oder entgegengesetzter Richtung und mit welcher Geschwindigkeit sich dieselben bewegen[21]).

Für die Herstellung des Bettungskörpers maßgebend ist der nach Art des Untergrundes, der Oberbauanordnung, der Gleisinanspruchnahme und des Bettungsstoffes jeweilig zu entwerfende Bettungsquerschnitt. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf das II. Kapitel dieses Bandes.

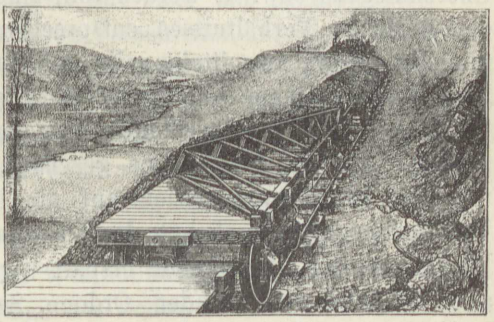


Abb. 7.

Grundsätzlich zu beachten ist, daß alles grobkörnige Material zur Herstellung der unteren Bettungsschicht verwendet und in den oberen Schichten nur feinkörniges, zum Unterstopfen geeignetes Material eingebracht wird. Werden stellenweise zu große Steine unmittelbar unter die Schwellen gebracht, so leidet darunter die Gleichmäßigkeit der Gleiseinsenkung, und die daraus folgenden erhöhten Kraftwirkungen führen an den benachbarten Schwellen eine rasche Zerstörung der Bettung herbei, wie dies in ähnlicher Weise insbesondere vor und nach Wegüberführungen und Brücken zu beobachten ist.

Auf frischen Anschüttungen wird man zunächst minderwertigen, in Einschnitten von vorneherein besseren Bettungsstoff verwenden. Bei nassem, tonigem Untergrund ist insbesondere für eine rasche Ableitung der Tagwässer durch dachförmige Gestaltung des Unterbauplanums und Überdeckung desselben durch eine Sandschüttung zu sorgen, auf welche sodann erst die Bettung aufzubringen ist. Auch empfiehlt sich in solchem Falle die Herstellung einer Packlage unter dem Stopfmaterial. Eine solche Packlage wird durch aneinandergereihte, hochkantig mit der Spitze nach oben gestellte Steine gebildet. Sie soll mindestens 0,15 m stark sein und es muß zwischen

[21]) Railroad Gazette 1888 und 1894; Engineering 1892, I.; Engineering News (Chicago) 1893; Zeitschrift d. Österr. Ing.- und Archit.-Ver. Wien 1894; Köstler, Der Oberbau und die Baumaschinen der amerikanischen Eisenbahnen; Feldpauche, Bericht zur Frage IX (Ballast) auf dem internationalen Eisenbahnkongreß zu Paris 1900; Allgemeiner Bericht, Brüssel 1901.

ihr und der Schwellenunterkante noch eine wenigstens 0,1 m starke Lage stopfbarer Bettung eingebracht werden.

Die Vornahme der Stopfarbeit wird beim Legen des Oberbaues (§ 5) besprochen, da mit letzterem begonnen werden kann, sobald die Unterbettung bis auf Schwellenunterkante hergestellt ist.

Die Vervollständigung der Bettung, das ist die Ausfüllung der Räume zwischen den Schwellen, erfolgt erst, wenn das Gleis gelegt und so lange befahren ist, daß Stopfarbeiten in nächster Zeit nicht mehr zu gewärtigen sind.

§ 4. Beförderung der Oberbauteile auf die Strecke. — Die Oberbauteile (Schienen, Schwellen und Kleineisenzeug) sind in der Regel aus größeren Entfernungen herbeizuschaffen, wobei in erster Linie die Beförderung mit der Bahn in Betracht kommt und anzustreben ist, daß dieselbe womöglich bis an die Verwendungsstelle ohne Umladungen bewirkt wird.

Beim Baue neuer Linien erfolgt die Anlieferung der genannten Teile in den Bahnanschlußstationen und in solchen Zwischenstationen der Anschlußbahnen, von welchen aus die neue Linie auf guten Landwegen leicht erreichbar ist. An den Ablieferungsorten und an allen Punkten, von welchen aus die Inangriffnahme des Oberbaulegens bewirkt werden soll, sind geräumige Lagerplätze vorzusehen, die man den örtlichen Verhältnissen entsprechend in Entfernungen von etwa 10 bis 15 km tunlichst derart ausmitteln soll, daß von ihnen aus die Beförderung beim Oberbaulegen womöglich im Gefälle erfolgt. Die Schwellen werden, wenn sie den längs der Bahn gelegenen Holzbeständen entnommen werden, gewöhnlich vom Lieferer unmittelbar auf die Lagerplätze geschafft. Die Beförderung der übrigen Oberbauteile von der Einlieferungsstation auf die Lagerplätze wird am zweckmäßigsten dem Unternehmer für das Legen des Oberbaues übergeben, da hierdurch eine mehrfache Übernahme der Oberbauteile erspart wird. Der Unternehmer hat mit dem Verführen auch das Auf- und Abladen, Ordnen, Schlichten und die Überwachung der Oberbauteile zu übernehmen und ferner die Pachtung oder Erwerbung von Lagerplätzen, insoweit sie außerhalb der für Bahnzwecke erforderlichen Einlösungsgrenze fallen, zu besorgen. Die Bezahlung erfolgt sodann meist nach Tonnenkilometern, auf Grund der ermittelten kürzesten Beförderungslängen. Im übrigen kann die Lagerung und Verteilung der Oberbauteile nur nach gründlicher Prüfung der allgemeinen Bauverhältnisse einer Bahnlinie festgestellt werden. Die weitere Verteilung erfolgt sodann entweder mittels Fuhrwerken, oder auf Arbeitsgleisen, oder nach Maßgabe des Fortschrittes im Oberbaulegen auf dem neu verlegten Gleise selbst, und zwar durch Nachschub mit Arbeitszügen, wobei zweckmäßigerweise auf den vorderen Wagen die Schienen, dann die Schwellen, das Kleineisenzeug und der Kies verladen werden.

Beim Bau eines zweiten Gleises und beim Umbau von Gleisen erfolgt die Beförderung auf dem bestehenden Gleise mit Arbeitszügen, wobei die Schienen, Schwellen und das Kleineisenzeug entlang der ganzen Strecke am neuen Unterbauplanum, beziehungsweise an den Planumsseiten in jener Reihenfolge verteilt und gelagert werden, in welcher sie beim Legen des Gleises zur Verwendung gelangen.

Bei der Lagerung, Verladung und Beförderung der Oberbauteile ist insbesondere zu beachten: Schienen und Schwellen werden auf den Lagerplätzen, gesondert nach Gattung und Längen, stoßweise in mehrfachen Lagen übereinander aufgestapelt und zwar möglichst luftig, damit die Schienen und Eisenschwellen nicht rosten, die Holzschwellen nicht anfaulen. Bei letzteren ist die oberste Schicht schief

zu lagern, damit das Regenwasser rasch abfließt. Das Kleineisenzeug muß, um Abgänge und das Rosten zu vermeiden, in geschlossenen, trocknen Räumen aufbewahrt werden. Das Auf- und Abladen erfolgt am zweckmäßigsten an Rampen in Bahnwagenhöhe. Schienen und Eisenschwellen dürfen nicht abgeworfen werden, sondern sind entweder seitlich über schräg an die Wagen gestellte Schienen einzeln zu schieben, oder an der Stirnseite des Wagens herauszuziehen. In Nordamerika, wo Schienen häufig auf Bordwandwagen befördert werden, wird das Abladen auch unterstützt durch an den Wagenwänden aufgehängte Rollen, an welchen die Schienen abgleiten[22]).

Beim Langschwellenoberbau, bei dem meist Schwelle und Schiene miteinander verbunden verladen und verlegt werden, bedient man sich zum Auf- und Abladen dieser schweren Teile entweder besonderer Krahne oder eigener Wagen mit geneigter Ablauffläche, auf welcher Schwelle und Schiene herabgezogen werden.

Das Tragen der Schienen erfolgt mittels der auf Tafel I in Abb. 1 dargestellten Schienenzangen oder Schienentrageisen, wobei für eine 9 m lange Schiene von etwa 300 kg Gewicht vier Arbeiter, für eine 15 m lange Schiene von etwa 600 kg acht Arbeiter erforderlich sind. Die Beförderung der Schienen mit der Bahn erfolgt bei Längen bis 9 m auf einem, bei größeren Längen auf zwei mit Drehschemeln versehenen, offenen Güterwagen, wobei die besonderen Vorschriften für die Beförderung langer Gegenstände zu beachten sind. Im V. d. E. V. schreibt das Übereinkommen betreffend die gegenseitige Wagenbenutzung hinsichtlich der Schienenverladungen insbesondere bei Verladungen auf einem Wagen (§ 10 d. Anlage VI. d. U. f. d. W.) vor: Schienensendungen, welche auf Plattformwagen ohne Bordwände geladen sind, müssen gegen seitliches Herabfallen durch Vorsteckhölzer oder eiserne Rungen gesichert sein. Haben die Boden der Plattformwagen einen vorstehenden Rand, so sind über einen Querträger in der Nähe der Achsen Weichholzbrettstücke mindestens von der Höhe des vorstehenden Randes als Unterlage der Schienen auf den Wagenboden zu legen. Haben die Schienenladungen über längere Gebirgsstrecken zu gehen, so sind zur Sicherung gegen Verschieben in der Längenrichtung die einzelnen Schienen mittels starken, durch die Bolzenlöcher zu ziehenden Drähten untereinander zu verbinden. Bei Verladungen auf zwei Schemelwagen müssen die Schienen durch geeignete Vorkehrungen (Umschlingen von Ketten u. dgl.) derart gegen Verschieben gesichert sein, daß einzelne Stücke sich nicht lösen und herabfallen können[23]).

Hinsichtlich der Versendung sehr langer Schienen finden sich in einer von Rüppell verfaßten Vorschrift der ehemaligen K. E. D. Köln (linksrh.) folgende beachtenswerte Anweisungen: Da beim Verlegen des Oberbaues eine genaue Übereinstimmung der Fahrflächen der aneinanderstoßenden Schienen nur dadurch zu erreichen ist, daß das Walzzeichen stets nach derselben Seite hin gelegt wird, so ist bei Schienen großer Länge (10 bis 15 m), welche sich in Tunneln und Einschnitten, und bei zweigleisigen Bahnen nicht, oder doch nicht ohne Gefahr schwenken lassen,

---

22) Siehe Bayers Rail Unloader, Railroad Gazette 1894, S. 24. Siehe auch die Schienenauflade-vorrichtung von Guyenet, Revue génér. d. chem. de fer, November 1895, in Anwendung bei französischen Bahnen. Leistung: 6 Arbeiter verladen 300 bis 350 Stück 12 m lange, 500 kg schwere Schienen, während bei gewöhnlicher Handarbeit für diesen Zweck etwa 12 bis 15 Arbeiter erforderlich sind.

23) Siehe hierzu die Erörterungen der Frage: »Durch welche Mittel kann dem Rutschen von Schienenladungen während der Fahrt wirksam vorgebeugt werden?« auf der Technikerversammlung 1874, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1875, V. Ergänz.-Bd.

schon beim Aufladen am Stapelplatze oder auf der Hütte zu beachten, daß die eine Hälfte der aufgeladenen Schienen das Walzzeichen stets links, die andere Hälfte stets rechts zeigt. Für die vorkommenden Krümmungen ist daher besondere Aufmerksamkeit nötig, da die Bogenschienen für dieselbe Krümmung das Walzzeichen stets an derselben Seite zeigen müssen. In Übereinstimmung hiermit wird in der Anweisung für das Verlegen des Oberbaues auf den preußischen Staatseisenbahnen ganz allgemein vorgeschrieben: Das Walzzeichen der Schiene soll, um das Drehen der langen Schienen zu vermeiden, an beiden Strängen eines Gleises nach der gleichen Seite gerichtet sein[24]).

§ 5. Verlegen des Oberbaues. — Erst wenn die in den vorstehenden Abschnitten (§ 2 bis 4) besprochenen vorbereitenden Arbeiten, und zwar — kurz wiederholt —

a) die ordnungsmäßige Verpflockung der Gleismitte;
b) die Beschaffung und Einbringung der Bettung bis nahezu auf die Höhe der Schwellenunterkante und nahezu in der vorgeschriebenen Breite des Bettungsquerschnittes;
c) die Bereitstellung und zweckdienliche Verteilung der gehörig vorgerichteten Eisen- und Holzteile

durchgeführt sind, soll mit den das Verlegen und Verbinden der einzelnen Gestängeteile und den die feste Lage des Gleises im ganzen bezweckenden Arbeiten begonnen werden. Für die Durchführung dieser Arbeiten bestehen bei allen Bahnverwaltungen mehr oder weniger ausführliche Vorschriften, von welchen die neueren hinsichtlich des Ganges der Arbeiten im allgemeinen übereinstimmen. Hiernach kann für das eigentliche Verlegen des Oberbaues die nachstehende Reihenfolge der Arbeiten empfohlen werden.

A. Verlegen von Querschwellenoberbau.

1. Auslegen der Schwellen und Unterlagsplatten;
2. Auslegen der Schienen und Zurechtrücken derselben;
3. Einlegen der Stoßbleche und vorläufige Verlaschung der Schienen;
4. Nageln, bezw. Festschrauben der Schienen, zunächst auf den Stoß-, dann auf den Mittelschwellen;
5. Unterstopfen der Schwellen, Heben und Richten des Gleises in die vorgeschriebene Höhe und Lage;
6. Vervollständigung der Schienenverlaschung, festes Anziehen der Schrauben, Nachstopfen und Verfüllen des Gleises mit Bettungsstoff.

Zumeist wird die Ausführung dieser Arbeiten durch eigene Unternehmer bewirkt, und ein Einheitspreis für das Meter Gleislegung vereinbart, der auch alle Vor- und Nacharbeiten, wie Einschneiden oder Ebnen der Schwellen, Biegen der Schienen, die Beförderung der Oberbauteile von den Lagerplätzen zur Verwendungsstelle, das Unterstopfen und Richten des Gleises, sowie dessen Erhaltung bis zur Betriebseröffnung umfaßt, während für die Gewinnung und Einbringung der Bettung besondere Preise vereinbart werden.

---

[24]) Einschlägiges findet sich in Pollitzer, Die Bahnerhaltung, 1874; Paulus, Der Eisenbahnoberbau usw., Wien 1872; Susemihl, Das Eisenbahnbauwesen, Wiesbaden 1892 u. a. — Kostenangaben siehe § 13 dieses Kapitels.

Unter Umständen wird sich aber eine getrennte Vergebung der einzelnen Arbeiten empfehlen, insbesondere dann, wenn die Beschaffung des Bettungsstoffes in größerer Entfernung von der Verwendungsstelle und die Zufuhr mit Arbeitszügen erfolgt, die von der betriebführenden Eisenbahn beigestellt werden, so daß der Unternehmer nur das Auf- und Abladen des Bettungsstoffes besorgt. Dann sind zweckmäßigerweise besondere Preise zu vereinbaren für die Beförderung der Oberbauteile und das Verlegen des Gleises auf dem geebneten Erdkörper, für das Unterstopfen der Schwellen, Heben und Richten des Gleises und für die Ebnung der Bettung. Für die Preisansätze sind im § 13 einige Anhalte gegeben.

Die Ausführung dieser Arbeiten erfordert eine besondere Sachkenntnis und es ist für das Gelingen von Wichtigkeit, daß sie durch wohlgeschulte Arbeiter bewirkt werde. Im nachstehenden werden die wesentlichsten der dabei zu beachtenden Regeln und Kunstgriffe im einzelnen kurz besprochen.

Auslegen der Schwellen und Unterlagsplatten. Holzschwellen bedürfen vor dem Verlegen eines besonderen Zurichtens, damit sie den Schienen ein gleichmäßig ebenes Auflager bieten. Bei der älteren Bauart des Holzschwellenoberbaues, nach welcher die Schienen entweder unmittelbar auf die Schwellen, oder auf Unterlagsplatten von rechteckigem Querschnitte gestellt werden, müssen an der Schwelle der Schienenneigung entsprechende Auflagerflächen angearbeitet werden, welche so groß zu bemessen sind, daß in Krümmungen die Schienen samt den Platten nach Maßgabe der Spurerweiterung auf denselben verschoben werden können. Das Anarbeiten dieser Flächen erfolgt bei getränkten Schwellen vor deren Tränkung in der Tränkanstalt, bei nicht getränkten Schwellen auf den Lagerplätzen, an Hand genauer Richtmaße (Dexellehre, Kapplehre, Tafel I, Abb. 26) und zwar am besten mittels eigener Hobelmaschinen (siehe § 6). Wird die Auflagerfläche mit Handarbeit hergestellt, so bedient man sich hierzu der Dexelhacke (Tafel I, Abb. 4) und einer Handsäge, wobei zu beachten ist, daß der Sägeschnitt nicht tiefer geht als erforderlich ist und daß die Auflagerfläche vollkommen geebnet wird. Vor der Verwendung der Schwellen ist mit dem Richtmaße zu prüfen, ob die Auflagerflächen die vorgeschriebene Lage und Neigung besitzen und sind letztere erforderlichenfalls mit der Dexelhacke zu berichtigen, wobei an getränkten Schwellen die nachgearbeiteten Flächen zu teeren sind.

Bei den neueren Bauarten des Holzschwellenoberbaues mit Keil-, Stuhl- oder Spannplatten entfällt die Notwendigkeit des Dexelns der Schwellen, und das Zurichten derselben beschränkt sich auf eine Ebnung der Auflagerflächen mittels des Hobels.

Die so zugerichteten Schwellen werden nun vorerst annähernd nach der vorgeschriebenen Einteilung derart auf die Bettung gelegt, daß ihre Mitte der Gleismitte entspricht; sodann unter Benutzung von Latten, die mit der Schwelleneinteilung versehen sind oder eiserner, entsprechend gelochter Bandmaße, in die richtigen Entfernungen gerückt.

Sind beim Holzschwellenoberbau gewöhnliche Unterlagsplatten vorgesehen, so werden diese nun auf die ausgerichteten Schwellen verlegt. Unterlagsplatten besonderer Art — Spannplatten, Stuhlplatten usw. —, bei welchen die Befestigung dieser auf der Schwelle von der eigentlichen Schienenbefestigung getrennt ist, sowie die Schienenstühle bei Doppelkopfschienen, werden oftmals schon früher auf den Lagerplätzen nach genauen Richtmaßen auf den Schwellen befestigt. Eine derartige vorgängige Anbringung der Platten und Stühle bedarf stets besonderer Sorgfalt, damit

bei der endgültigen Schienenbefestigung das Spurmaß genau eingehalten werden kann und die Schienen auf allen Platten gut aufliegen. Sie ist von besonderem Werte bei Gleisumbauten, die in kurzen Zugpausen durchzuführen sind. Es werden in solchem Falle zur Beschleunigung des Oberbaulegens wohl auch die gewöhnlichen Unterlagsplatten schon auf den Lagerplätzen auf die Schwellen geheftet, d. h. durch halb in die Schwelle geschlagene Nägel oder halb eingeschraubte Schraubennägel befestigt. Es erscheint aber zur Erzielung einer guten Schienenlage zweckmäßig, die Platten vorgängig nur für einen Schienenstrang endgültig zu befestigen und dieselben für den zweiten Schienenstrang erst beim Verlegen des Oberbaues anzubringen.

Bei Verwendung eiserner Querschwellen sind noch besondere Vorsichten zu beachten. Die »Anweisung für das Verlegen des Oberbaues auf preußischen Staatseisenbahnen«[25]) schreibt hierfür insbesondere vor: Bei dem Ausrichten der Schwellen darf kein Hammer oder sonstiges Gerät zum Treiben oder Schlagen der eisernen Schwellen benutzt werden, da zudem die Arbeit sich am schnellsten ausführen läßt, wenn die Schwellen mit der Hand etwas gehoben und genau an der durch das Bandmaß gegebenen Stelle niedergelassen werden. — Sind Unterlagsplatten vorgesehen, so werden diese auf die vorläufig ausgerichteten Querschwellen aufgelegt. Bei Unterlagsplatten mit Haken werden die Haken in die äußeren Löcher gesteckt, bei Unterlagsplatten, welche besondere Schrauben für die Schienenbefestigung haben, wird die Unterlagsplatte schon vor dem Verteilen der Schwellen endgültig auf den Schwellen befestigt.

Auslegen der Schienen und Zurechtrücken derselben. — Die Schienen sollen so verlegt werden, daß das Walzzeichen stets nach derselben Seite hin gerichtet erscheint, damit trotz der bei der Walzung unvermeidlichen Verdrehung des Schienenquerschnittes hinsichtlich seiner Mittellinie dennoch ein guter Anschluß der Fahrflächen erreicht wird. In gerader Bahn dürfen nur vollkommen gerade, in Krümmungen im inneren Strange darf nur die dem Halbmesser derselben entsprechende Anzahl verkürzter Schienen verlegt werden. Die Schwelleneinteilung ist auf den Schienen nach dem Teilungsmaß mit einer Marke (Kreidestrich) zu bezeichnen, damit die Verbindung von Schiene und Schwelle genau an der vorgeschriebenen Stelle erfolgt. Die Stemmlaschen sind vor dem Verlegen der Schienen an diesen zu befestigen, weil sie die Lage der zugehörigen Schwellen genau bestimmen.

Um die Längsverschiebung der Schienen und insbesondere auch das Verschieben der Schwellen bei der Befestigung der letzteren zu erleichtern, empfehlen die vorerwähnten Vorschriften für das Verlegen des Oberbaues auf den preußischen Staatseisenbahnen bei langen, schweren Schienen, wie sie gegenwärtig immer häufiger zur Anwendung kommen, die Schiene nicht unmittelbar auf die Unterlagsplatten oder auf die Querschwellen aufzulegen, sondern vor dem Aufbringen der Schiene auf den Querschwellen an mehreren Stellen Holzklötze zu legen und die Schiene zunächst auf diese zu legen. Die Abmessungen der Holzklötze sind so zu wählen, daß nach dem Auflegen der Schienen der Schienenfuß mindestens 60 mm über den Schwellenoberkanten liegt und daß auf diese Weise die Schwellen ohne Klemmen an der Schiene nach allen Richtungen leicht bewegt werden können.

Einlegen der Stoßbleche, Größe und Wahrung der Wärmelücken sowie vorläufige Verlaschung der Schienen. — Nach dem Zurechtrücken der

[25]) Diese Anweisung folgt der von Rüppell und Kohn bei der ehemaligen Königlichen Eisenbahndirektion Köln (linksrheinisch) eingeführten Art des Oberbauverlegens.

Schienen ist zu untersuchen, ob die Köpfe derselben an den Stößen genau aneinanderschließen und die Füße gut auf den Unterlagsplatten aufliegen. Vor dem Anbringen der Laschen sind die Anlageflächen von Sand und Schmutz zu reinigen und zwischen je zwei anstoßenden Schienen die dem herrschenden Wärmegrade entsprechenden Stoßlückeneisen (auch »Dilatationsbleche« genannt, siehe Tafel I, Abb. 32) einzulegen. Letztere sind daselbst so lange zu belassen, bis das Gleis in Richtung und Höhe die vorgeschriebene Lage erhalten hat.

Die richtige Bemessung und Wahrung der Wärmelücken ist von großer Wichtigkeit für die Schienendauer und Gleiserhaltung, da beim Fehlen der erforderlichen Spielräume infolge der Wärmeunterschiede leicht Stauchungen der Schienen eintreten können. Die Ermittlung der jeweiligen Größe der Wärmelücken in Millimetern erfolgt nach der Formel: $W = 0{,}0118\, l\, (t_1^\circ - t^\circ)$; wobei t_1° die höchste vorkommende Schienenwärme, t° die Luftwärme im Schatten beim Verlegen der Schienen und l die Schienenlänge in Metern bezeichnen.

Nach Rüppell[26]) können für Mitteldeutschland als höchste und niedrigste Schienen- und Luftwärme angenommen werden:

	Für Gleise		
	im Freien	in Hallen u. Gebäuden	in Tunneln
1. Höchste Schienenwärme in °C.: t_1° = ...	+ 60°	+ 30°	+ 20°
2. Niedrigste Luft- oder Schienenwärme in °C.	— 25°	— 20°	— 18°
3. Gesamter Wärmeunterschied in °C.	85°	50°	38°

Da für t_1° die Lücke $W = 0$ sein kann, so ergibt sich für Gleise mit Schienen von 9 m Länge im Freien als größte Warmelücke $W_{max} = 9$ mm. In Hallengleisen wird die gleiche Wärmelücke erst bei 15 m und in Tunneln erst bei 20 m langen Schienen erreicht. Es erscheint hiernach die Verwendung so langer Schienen in diesen Fällen auch bei stumpfem Stoß zulässig und aus andern Gründen (ruhigere Gleislage, Verminderung der Zahl der Stoßverbindungen usw.) empfehlenswert.

Nach den Vorschriften der ehemaligen Direktion Köln (linksrh.) sollen hiernach die Wärmelücken betragen:

Bei den Schienen von			
9 m Länge		18 m Länge in Tunneln	
Bei der Luftwärme im Schatten Grad C.	Wärmelücke in mm	Bei der Luftwärme im Tunnel Grad C.	Wärmelücke in mm
von + 32° und mehr	3	von + 18° und mehr	1
» + 22° bis + 32°	4	» + 13° bis + 18°	2
» + 13° » + 22°	5	» + 8° » + 13°	3
» + 3° » + 13°	6	» + 3° » + 8°	4
» — 6° » + 3°	7	» — 2° » + 3°	5
» — 10° » — 6°	8	» — 6° » — 2°	6
» — 25° » — 16°	9	» — 11° » — 6°	7
		» — 16° » — 11°	8
		» — 20° » — 16°	9

[26]) Länge und Lochung der Eisenbahnschienen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893.

Demgemäß sind die Stärken der Stoßlückeneisen von Millimeter zu Millimeter abzustufen.

Die Laschen sind zunächst nur mit zwei Schrauben zu verbinden und diese nur lose anzuziehen, damit spätere Berichtigungen der Gleislage leichter ausgeführt werden können. Alles Hämmern und Schlagen ist beim Einlegen der Laschen und dem Einziehen der Laschenschrauben zu unterlassen.

Nageln und Festschrauben der Schienen; Vorbohren der Schwellen. — Beim Holzschwellenoberbau werden zunächst die Schienen der einen Schienenreihe — in Bogen der äußeren — an den Stößen geheftet, dann auf den Mittelschwellen festgenagelt. Ein zweiter Arbeitertrupp nagelt sodann die Schienen der anderen Reihe genau nach der Spurlehre. Das Niedertreiben der Nägel und das Festschrauben der Schienen am Stoße darf erst nach Prüfung der Spurweite und Schienenlage am Stoße erfolgen.

Beim Nageln und Festschrauben der Schienen ist insbesondere zu beobachten: Die Schwellen sind vor dem Einschlagen der Nägel, oder dem Einschrauben der Schienenschrauben mittels eines Bohrers, dessen Durchmesser etwas kleiner — etwa $^4/_5$ — als die Nageldicke oder Schraubenstärke ist, vorzubohren. Das Vorbohren der Nagellöcher ist bei harten Holzschwellen unbedingt empfehlenswert, aber auch bei weichen Hölzern zweckmäßig, da es nicht nur vor Spalten des Holzes schützt, sondern auch die Haltkraft der Nägel erhöht. Doch müssen für weiche Holzarten Bohrer mit kleinerem Durchmesser verwendet werden. (Die Kaiser Ferdinands-Nordbahn wendet für quadratische Nägel von 15,4 mm Seitenlänge bei Eichenschwellen 14 mm starke, bei Kiefernschwellen 12 mm starke Bohrer an, siehe Tafel I, Abb. 5.) Die Länge des Bohrloches hängt von der Nagelform und Schwellenart ab und schwankt zwischen der halben und ganzen Länge der Eingriffstiefe der Nägel. (Bei der Kaiser Ferdinands-Nordbahn wird mit gutem Erfolge stets auf die ganze Eingriffstiefe vorgebohrt; die italienische Südbahn schreibt vor, die Schwellen ganz durchzubohren und das Bohrloch unten zu verdübeln.)

Für Schwellenschrauben empfehlen die Vorschriften für das Verlegen des Oberbaues auf den preußischen Staatseisenbahnen die Löcher für Eichen- und Buchenschwellen um 1 mm größer als der Kerndurchmesser der Schwellenschraube und für Kiefernschwellen um 1 mm kleiner zu bohren.

Für das Vorbohren der Schwellen werden mit Vorteil Schwellenbohrmaschinen (Abbildung 8a) mit Irwinbohrern (Abbildung 8b) benutzt.

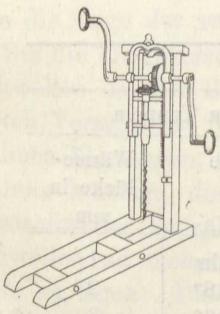


Abb. 8a.

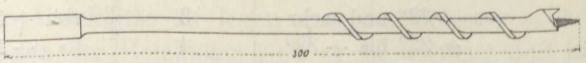


Abb. 8b.

Es empfiehlt sich, die Bohrlöcher vor dem Einbringen der Nägel und Schrauben mit Teer auszugießen. Die Lage der Bohrlöcher ist bei Verwendung von Unterlagsplatten durch diese gegeben; wo die letzteren fehlen, ist darauf zu achten, daß die Bohrlöcher sich nicht gegenüber befinden, um ein Spalten des Holzes tunlichst zu vermeiden. Die Nägel und Schrauben müssen dicht am Schienenfuße und senkrecht

zum Schienenfuße, am Stoße auch genau an den Laschenkanten eingebracht werden. Hierbei dürfen die Schwellen nicht auf der Bettung aufliegen, sondern müssen mit Wuchte-(Hebe-)bäumen (Tafel I, Abb. 14) unterstützt und an die Schiene gedrückt werden. Das Einschlagen der Nägel erfolgt mittels etwa 3,5 bis 4,5 kg schwerer Hämmer (Tafel I, Abb. 16) durch Schläge auf die Nagelkopfmitte, wobei die letzten Schläge vor dem Aufsitzen des Nagelkopfes auf dem Schienenfuße nicht zu heftig sein dürfen, damit Beschädigungen der Schiene vermieden werden. Zweckmäßig bedient man sich bei den letzten Schlägen eines Setzhammers — Vorschlaghammers — (Tafel I, Abb. 17) als Zwischenstück. Die äußeren und inneren Nägel sind gleichzeitig einzutreiben, die Schrauben an der Innenseite der Schienen aber erst einzuschrauben, nachdem die letzteren an der Außenseite befestigt sind. Das Einschrauben erfolgt mittels der auf Tafel I, Abb. 22 abgebildeten Schlüssel. Beim Nageln der zweiten Schienenreihe soll ein unnachgiebiges Spurmaß nicht nur an der Befestigungsstelle selbst, sondern auch an den benachbarten Stößen aufliegen.

Beim eisernen Querschwellenoberbau, bei welchem meist Schrauben und Klemmplatten, seltener Keile in Anwendung stehen, ist zu beachten, daß die Befestigungsmittel anfänglich nicht zu fest angezogen werden, um dem Gleise die beim folgenden Ausrichten erforderliche Beweglichkeit zu wahren. Die Anweisung für das Verlegen des Oberbaues auf den preußischen Staatseisenbahnen empfiehlt deshalb, zum ersten Verschrauben der Laschen und der Hakenschrauben einfache, nur 300 mm lange Schraubenschlüssel zu benutzen und nur beim Schluß der Verlegungsarbeit, zum letzten Nachziehen der Muttern, 600 mm lange Doppelschlüssel (Tafel I, Abb. 21) zu verwenden, wobei der Doppelschlüssel nur mäßig mit einer Hand angezogen oder gedrückt werden soll, weil bei Aufwendung größerer Kraft die Schraubengewinde verdrückt werden, so daß die Muttern sehr bald schlottern.

Unterstopfen der Schwellen, Heben und Richten des Gleises. — Sind die Schienen untereinander und mit den Schwellen verbunden, so ist das Gleis in die richtige Höhenlage zu bringen, gleichzeitig genau in die Bahnlinie zu richten und durch Unterstopfen der Schwellen in der richtigen Lage zu befestigen. An den Höhenpflöcken werden Absehbretter oder Absehkreuze aufgestellt, ein drittes Absehbrett aber wird abwechselnd am Schienenstoß oder in Schienenmitte aufgelegt und hiernach die betreffende Gleisstelle gehoben oder gesenkt. Die Hebung des Gleises erfolgt zumeist mittels Hebebäumen, welche beiderseits der Schwellenköpfe unter diese geschoben werden, wobei durch ein untergelegtes Holzstück ein Drehpunkt geschaffen wird. Die hauptsächlich aus der Nachgiebigkeit des Drehpunktes folgende Langsamkeit dieser Art der Gleishebung hat die Herstellung besonderer Gleisheber veranlaßt, Schraubenhebevorrichtungen, welche sich in verschiedenen Formen Eingang in die Praxis verschafft haben (Nivelleur, Westermayerscher Gleisheber usw., siehe § 6). Das Ausrichten der Linie erfolgt mit Hebeln, die gegen die Schwellenenden gestemmt werden und mit Schlägeln, durch welche das Gleis seitlich in die genaue Richtung gerückt wird. Gleichzeitig mit der Hebung des Gleises ist von anderen Arbeitern Bettungsstoff mittels Schaufeln unter die Schwellen zu schieben und mittels der Stopfhacke oder -haue (Schlagkrampen, siehe Tafel I, Abb. 10) festzustopfen. Zuerst werden die am Schienenstoß und die demselben zunächst liegenden Schwellen, dann die übrigen unterstopft.

Von einer guten, richtig durchgeführten Unterstopfung der Schwellen hängt die dauernd gute Lage des Gleises so wesentlich ab, daß dieser Arbeit die größte

Bedeutung beim Legen und in der Unterhaltung des Gleises beizumessen ist. Das Unterstopfen mittels der Stopfhacke bezweckt durch Zusammenpressen des Bettungsstoffes ein gleichmäßig festes Auflager für die Schwellen zu schaffen. Dies ist aber mit der Stopfhacke nur unvollkommen zu erreichen. Der Erfolg der Arbeit hängt ab von der Art des Bettungsstoffes, von der Größe der zu stopfenden Flächen und der Höhe des zu stopfenden Raumes, von den Schwellenabmessungen und der durch diese bedingten Form der Schwellendurchbiegung und Art der Druckverteilung, endlich auch von dem Geschick und der Kraft der Arbeiter und der diesen angepaßten Wahl der Werkzeuge.

In der Regel werden beim Unterstopfen einer Schwelle vier Mann angestellt, derart, daß je zwei mit möglichst gleicher Kraft sich an den gegenüberliegenden Längsseiten entgegenarbeiten, um ein Ausweichen des Bettungsstoffes zu verhindern. Dabei darf die Schwelle nicht sogleich in ganzer Breite unterfüllt werden, sondern muß zuerst in der Längenmitte, dann allmählich an den Längenkanten festgestopft werden. Die Güte der Arbeit nimmt mit zunehmender Schwellenbreite ab und dies rechtfertigt das bei neueren Oberbauarten wahrnehmbare Bestreben, eine gleichmäßige Druckverteilung und eine geringere Inanspruchnahme der Bettung nicht so sehr in der Verbreiterung als in der Verlängerung der Schwellen und in tunlichst enger Schwellenlage zu suchen.

Da theoretische Untersuchungen ergeben, daß bei gleichmäßiger Stopfung Schwellen von 2,3 m bis 2,6 m Länge unter der Einwirkung der Radlasten nach Abbildung 9a abgebogen werden, die größte Schwellensenkung somit am Schwellenende eintritt und diese sich dort hauptsächlich stützen, bedarf es bei solchen Schwellen eines besonders guten Unterstopfens der Schwellenköpfe, während die Mitte weniger fest zu stopfen ist. Hingegen werden Schwellen größerer Länge nach Abbildung 9b abgebogen. Es erscheint deshalb bei diesen eine durchaus gleichmäßige Stopfung zweckmäßig.

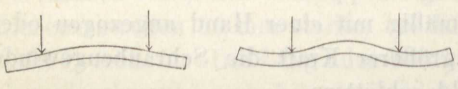


Abb. 9.

Die Höhe des zu stopfenden Raumes, d. i. die einmalige Hubhöhe, bei welcher noch eine gute Stopfung zu erzielen ist, kann auf 10 bis 15 cm bemessen werden. Die Art des Bettungsstoffes, das Geschick und die Kraft der Arbeiter sind bestimmend für die zweckmäßigste Form und das Gewicht der Stopfhacke. Sand und feinkörniger Kies werden mit hölzernen Stopfhacken, gröberer und härterer Bettungsstoff mit eisernen, an der Schlagfläche gestählten Stopfhacken von 3 bis 4 kg Eisen- und etwa 4,8 kg Gesamtgewicht gestopft (Taf. I, Abb. 10 und 11). Bei sehr enger Schwellenlage empfiehlt sich die Verwendung von eisernen Stopfstangen (Taf. I, Abb. 13), wie sie auf amerikanischen Bahnen in Verwendung stehen[27]).

Beim Unterstopfen eiserner Schwellen ist noch ganz besonders zu beachten, daß alle Hohlräume derselben durch festgestopfte Bettung ausgefüllt sind. Dies gelingt nur bei geeigneter Querschnittsform der Schwellen und bei Verwendung von Bettungsstoff von nicht zu grobem Korn.

Vervollständigung der Schienenverlaschung. Nachstopfen und Verfüllen des Gleises. — Ist das Gleis in der vorgeschriebenen Höhe und Richtung

[27]) Über Arbeitskraft beim Unterstopfen siehe M. Pollitzer, Die Bahnerhaltung, 1874.

durch Unterstopfen der Schwellen befestigt, so werden die Stoßbleche entfernt, die noch fehlenden Laschenbolzen eingezogen und die Muttern der Bolzen fest angezogen. Nun kann das Befahren des Gleises mit Arbeitszügen erfolgen. Die hiernach noch sichtbar werdenden Mängel in der Gleislage werden durch endgültiges Nachstopfen beseitigt, die Schraubenmuttern nachgezogen, locker gewordene Nägel nachgeschlagen, und endlich wird — wenn keine größeren Stopfarbeiten mehr zu gewärtigen sind — das Gleis vollständig verfüllt, d. h. der Bettungsstoff im vollen Ausmaße des vorgeschriebenen Querschnittes in die Bahn eingebracht, geebnet und festgestampft.

Von dem vorstehend geschilderten Arbeitsvorgange weichen die älteren Anweisungen ab, welche Etzel für das Oberbaulegen auf der schweizerischen Zentralbahn gab und die auch bei der österreichischen Südbahn und anderen österreichischen Bahnen Eingang fanden. Hiernach wurden zuerst nur die Stoßschwellen vorgelegt und zwar etwa 0,03 m über ihre vorgeschriebene Höhe, sodann sogleich die Schienen — mit den Platten — aufgebracht und die Schienenstöße durch Niederrammen der Schwellen und durch genaues Aneinanderpassen der Schienen in die richtige Lage gebracht. Hierauf wurden die Schienen wieder abgehoben, die Mittelschwellen in tunlichst genauer Lage eingebracht, die Schienen neuerdings aufgelegt und in der vorbeschriebenen Weise genagelt. Dieses etwas umständlichere Verfahren verbürgt zwar bei sorgfältiger Ausführung eine gute Lage der Schienenstöße, doch gibt das Niederrammen der Schwellen leicht zu Beschädigungen dieser und der Schienen Anlaß und würde das wiederholte Auflegen und Abheben der Schienen bei den jetzt üblichen längeren und schwereren Schienen auch erheblich mehr Zeit- und Arbeitsaufwand erfordern. In die neueren Vorschriften für das Oberbaulegen ist deshalb dieses Verfahren nicht mehr aufgenommen.

Es erübrigt noch die Besprechung jener besonderen Regeln, welche beim Legen des Oberbaues auf eisernen Brücken und Wegeübergängen, dann beim Legen des Oberbaues in Krümmungen und beim Verlegen von Arbeitsgleisen zu beachten sind.

Oberbaulegen auf eisernen Brücken. — Hierbei hat die Austeilung der Schwellen und die Befestigung der Schienen unter Beachtung der gegebenen Brückenart zu erfolgen und empfiehlt es sich zur Schonung der Brücken die Zahl der Schienenstöße tunlichst zu vermindern oder ganz zu vermeiden. Bei Brücken kleinerer Spannweite wird letzteres durch Einlegen kürzerer Schienen vor der Brücke, oder Verwendung längerer Schienen auf der Brücke zu erreichen sein. Rüppell empfiehlt in Strecken mit 9 m oder 12 m langen Schienen für kleinere eiserne Brücken eine Schienenlänge von 18 m, sofern dieselbe in ganzer Länge — ohne Stoß — über die Brücke hinwegreicht, für größere Brücken die Blattstoßschiene von 15 m Baulänge zu verwenden.

Zur Schonung des Mauerwerkes der Widerlager ordnet die Kaiser Ferdinands-Nordbahn an, daß die auf der Hintermauerung unmittelbar aufliegende, zum Abschlusse des Schotterbettes dienende Schwelle womöglich nicht als Auflager und zur Nagelung der Schienen benutzt werden darf, vielmehr so weit abgearbeitet werden muß, daß die Schienen nicht auf dieser, sondern auf den ihr zunächst liegenden Schwellen aufliegen und befestigt werden.

Beim Anschlusse des Gleises an die Widerlager schiefer Brücken können die Schwellen allmählich in die durch das Widerlager gegebene schiefe Lage übergeführt werden, ohne daß die zulässige größte Schwellenentfernung überschritten werden

darf. Kommen dabei die Schwellenköpfe so nahe zu liegen, daß ein ordentliches Unterstopfen nicht mehr tunlich ist, so ist die Schiene auf einen Schwellenrost zu legen.

Um die mit dem schiefen Anschluß verknüpften Übelstände zu vermeiden, werden bei den preußischen und österreichischen Staatsbahnen die Fahrbahnenden der eisernen Brücken soweit möglich in der Weise angeordnet, daß auch bei schiefen Brücken ein rechtwinkliger Übergang auf die Widerlager stattfindet.

Die Befestigung der Schienen auf Langschwellen mit Hakennägeln erfordert, daß deren Schneide um 90° gedreht angeordnet wird, damit sie winkelrecht zur Holzfaser eingetrieben werden kann.

Oberbau auf Wegeübergängen. — Auf stärker befahrenen Wegeübergängen wird die Anbringung von Schutzschienen oder Leitschwellen erforderlich, welche auf den Querschwellen mittels Schrauben oder Nägeln so befestigt werden müssen, daß die vorgeschriebene Rillenweite (in gerader Bahn 67 mm, im Bogen 67 mm + Spurerweiterung) unverändert erhalten bleibt. Zwischen den Schutzschwellen ist die Fahrbahn durch Beschotterung, Pflasterung oder Bohlenbelag herzustellen. Rüppell empfiehlt die Vermeidung von Schienenstößen auf Wegeübergängen, welche, wenn nötig, durch Einlegung längerer Schienen von 18 m in Gleisen mit 9 m oder 12 m langen Schienen zu erzielen ist.

Legen des Oberbaues in Krümmungen. — a) Biegen der Schienen. In Krümmungen müssen die Schienen nach dem vorgeschriebenen Krümmungshalbmesser gebogen werden. Dies erfolgt entweder unmittelbar beim Nageln der geraden Schienen, durch entsprechendes Verschieben des Gleises, oder vorgängig mittels besonderer Biegemaschienen auf den Lagerplätzen. Ersteres Verfahren genügt zumeist bei den jetzt üblichen elastischen Schienen von 9 m Länge und mehr, so daß ein Vorbiegen nur in stärkeren Krümmungen (unter 300 m Halbmesser) erforderlich wird. Die Technikerversammlung zu Straßburg 1893 gelangte hierüber zu folgender Schlußfolgerung (Frage I_3): Mit dem Verschwinden der kurzen, wenig elastischen Eisenschienen und der Einführung längerer, elastischer Stahlschienen haben die Biegemaschinen zurzeit — insolange nicht wesentlich schwerere und gegen wagerechtes Ausbiegen widerstandsfähigere Schienenprofile zur Anwendung gelangen — an Bedeutung verloren, indem ein Biegen oder Vorbiegen beim Langschwellenoberbau gar nicht, beim Querschwellenoberbau nur noch in starken Krümmungen vorgenommen wird. Am genauesten und verhältnismäßig billig erfolgt das Biegen der Schienen jeder Länge durch Dreiwalzenbiegmaschinen neuerer Bauart in Walzwerken, Schmieden und Schienenmagazinen oder durch die tragbare Dreirollenbiegmaschine von Vojaček; noch billiger und für jede Länge hinreichend genau durch den leicht zu befördernden und deshalb auf der Strecke am zweckmäßigsten verwendbaren Schrabetzschen Schienenkrümmer neuerer Bauart (s. Taf. I, Abb. 7).

Das Biegen der Schienen durch Werfen ist unbedingt zu verbieten, auch das Biegen durch Treten der Schienen ist derzeit wegen der Ungenauigkeit dieses Verfahrens und der Gefahr der Beschädigung der Schienen fast allgemein verlassen.

Die gebogenen Schienen müssen genau untersucht werden, ob sie die richtige Krümmung besitzen, was durch Messung des mittleren Biegungspfeiles — mittels einer Setzlatte, in deren Mitte sich ein verschiebbarer Stahlstift befindet — festzustellen ist. Biegungspfeil und Krümmungshalbmesser sollen auf den vorgängig gebogenen Schienen mit Ölfarbe angeschrieben werden und nach diesen die Schienen auf den Lagerplätzen gesondert aufgestapelt werden.

b) Länge und Verteilung der Bogenschienen. Da in Krümmungen der innere Schienenstrang kürzer als der äußere ist, so ist eine zum Mittelpunkte gerichtete Lage der Schwellen und Schienenstöße nur dadurch zu erreichen, daß im inneren Strange kürzere Schienen verlegt werden. Streng genommen müsste in einem Bogen vom Halbmesser R jeder Vollschiene des Außenstranges eine Bogenschiene im Innenstrange gegenüberliegen, die annähernd um $K = Sl : R = 1{,}5\, l : R$ kürzer als die Vollschiene (l) ist (wobei S die Spurweite bezeichnet). Hiernach ergäbe sich für jeden Halbmesser eine andere Sorte von Bogenschienen. Um jedoch deren nicht zu viele in Vorrat halten zu müssen, begnügt man sich zumeist mit ein bis zwei Sorten gekürzter Schienen (Bogen- oder Ausgleichsschienen), welche im inneren Schienenstrange — nach Erfordernis — abwechselnd mit Vollschienen verlegt werden. Im allgemeinen wird im Innenstrange eine Ausgleichsschiene dann eingelegt werden müssen, wenn das am Ende der Außenschiene angelegte Winkelmaß ein Vorschreiten der Innenschiene anzeigt, welches gleich oder größer ist als der halbe Unterschied zwischen den Längen der Vollschiene und der Bogenschiene. Weiteres hierüber enthält das II. Kapitel dieses Bandes.

Das Verlegen der Bogenschienen wird unterstützt durch Hilfstafeln, in denen die Zahl und Reihenfolge der Bogenschienen angegeben ist, welche nach je einer Vollschiene im inneren Schienenstrange einzulegen sind.

Eine Kennzeichnung der Bogenschienen ist unbedingt erforderlich und erfolgt entweder mittels Ölfarbe oder durch kleine Löcher im Schienenstrange, welche an den Schienenenden außer den Laschenlöchern angebracht werden.

c) Spurerweiterung und Überhöhung des äußeren Schienenstranges in Krümmungen. Im II. Kapitel des I. Bandes und im II. Kapitel des II. Bandes dieses Handbuches sind bereits jene theoretischen und konstruktiven Grundlagen erörtert, welche für die Anordnung und zweckentsprechendste Bemessung der Spurerweiterung und Überhöhung des äußeren Schienenstranges in Krümmungen bestimmend sind[28]).

Die Ausführung der Spurerweiterung wird durch Verschiebung des inneren Gleisstranges nach dem Krümmungsmittelpunkt hin bewirkt. Hierbei wird die Spurweite mit besonderen Spurlehren gemessen, welche an einem Ende mit genauer Einteilung und verstellbarer Hülse versehen sind (s. Tafel I, Abb. 29). Wenn die Art der Schienenbefestigung nicht jedes Maß der Spurerweiterung, sondern nur Abstufungen gestattet, wie dies insbesondere beim eisernen Querschwellenoberbau der Fall ist, so findet die Abstufung meist von 2 zu 2 mm statt. Bei dem eisernen Querschwellenoberbau der preußischen Bahnen sind für die Spurerweiterung Abstufungen von 3 zu 3 mm durch die Befestigungsmittel gegeben. Für Krümmungshalbmesser unter 200 m werden besonders gelochte Schwellen verwendet.

Der Übergang von der gewöhnlichen zur erweiterten Spur erfolgt dort, wo Übergangsbogen hergestellt sind, in diesen, sonst in der anschließenden geraden Strecke derart, daß am Bogenanfang bereits die volle vorgeschriebene Erweiterung vorhanden ist. Der Auslauf in der Geraden soll auf eine 500- bis 1000-fache Länge der Erweiterung geschehen, d. h. es soll auf jeden Längenmeter eine Zunahme der Erweiterung um 0,5 mm bis 1 mm erfolgen. Werden zwei Krümmungen gleicher

[28]) Siehe auch J. Sandner »Die Behandlung der Frage der Überhöhung und Spurerweiterung im Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen«. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899.

Richtung durch eine Zwischengerade von 20 m oder geringerer Länge unterbrochen, so wird die Erweiterung des schärferen Bogens in der Zwischengeraden allmählich in jene der weniger scharfen Krümmung übergeführt.

Die Ausführung der Überhöhung erfolgt fast allgemein derart, daß die innere Schiene die vorgeschriebene regelmäßige Höhenlage erhält und der äußere Schienenstrang um das erforderliche Maß höher gelegt wird. Beim Querschwellenoberbau findet somit eine Hebung der Schwelle durch Drehung derselben um die Achse der Innenschiene statt. Es ist deshalb der Bettungsquerschnitt derart herzustellen, daß die Oberkante desselben eine der Überhöhung entsprechende, geneigte Lage erhält.

Die Prüfung der richtigen Höhenlage der Schienen erfolgt entweder mit Richtscheit und Wasserwage (Tafel I, Abb. 31) oder mittels besonderer Überhöhungsmaße (siehe § 6).

Im übrigen sind die folgenden Bestimmungen der Techn. Vereinb. (§ 7) zu beachten: »Die Überhöhung des äußeren Schienenstranges soll im Anfangspunkte des Kreisbogens — also da, wo Übergangsbogen vorhanden sind, am Berührungspunkte der letzteren mit dem Kreisbogen — voll vorhanden sein. Die Überhöhung muß auf eine jeweilig nach der größten Fahrgeschwindigkeit zu bemessende Länge auslaufen, welche mindestens das 200-fache der Überhöhung beträgt. Wenn zwischen zwei benachbarten, im gleichen Sinne liegenden Bogen eine gerade Linie von weniger als 40 m Länge liegt, so soll die Gleisüberhöhung auch in der Geraden durchgeführt werden.« Hierzu ist zu bemerken, daß die Länge des Auslaufes auch nach dem größten Radstande der zweiachsigen Fahrzeuge bemessen werden, und daß in Schnellzugsstrecken zur Erreichung einer ruhigen Fahrt die Ansteigung des äußeren Schienenstranges nicht über 1 : 500 betragen sollte.

In Strecken mit Übergangsbogen erfolgt der Übergang zur vorgeschriebenen Überhöhung im Übergangsbogen, sonst in der anschließenden geraden Strecke. Liegt zwischen gleichgerichteten Bogen mit verschiedenem Krümmungshalbmesser eine kurze Zwischengerade, so wird die Überhöhung des schärferen Bogens in der Zwischengeraden allmählich in das kleinere Maß übergeführt.

Auf eisernen Brücken, die in der Krümmung liegen, wird die Überhöhung entweder durch keilförmige Querschwellen, oder durch Anordnung stärkerer Unterlagsplatten unter dem äußeren Schienenstrange oder durch Langschwellenunterzüge bewirkt. Auch kann man bei kleineren Bauwerken die ganzen Brückenkörper in die erforderliche Querneigung legen.

Verlegen von Arbeitsgleisen. Beim Bau neuer Bahnlinien wird es zur Verbilligung der Materialförderung — insbesondere der Bettung — und zur Beschleunigung des Baufortschrittes oft unvermeidlich, das Gleis zunächst unmittelbar auf den Erdkörper zu verlegen. In solchem Falle werden die Schwellen vorerst nur mit Erde unterstopft, die jedoch nicht aus den Zwischenräumen der Schwellen genommen werden darf, sondern wenn sie nicht anderwärts herbeigeschafft werden kann, den äußeren Teilen des Unterbaukörpers entnommen werden muß. Um Beschädigungen der Schienen zu vermeiden, muß der Arbeitszug auf solchen Gleisen derart mit der Lokomotive vorgeschoben werden, daß letztere niemals das bettungslose Gleis befährt. Beim Unterstopfen des Gleises darf die einmalige Hubhöhe 0,15 m nicht übersteigen.

Der Bau eines zweiten Gleises gestaltet sich insofern einfacher, als die

Zufuhr der Materialien zumeist auf dem bestehenden Gleise erfolgen kann, ist aber im übrigen nach vorstehenden Vorschriften auszuführen.

Der beim Umbau eines bestehenden Gleises zu beobachtende Arbeitsvorgang wird im Zusammenhange mit der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues besprochen werden. Über das Verlegen des Oberbaues mit Hilfe eigener Verlegezüge und Gleislegemaschinen wird in § 6 näheres mitgeteilt.

B. Verlegen von Langschwellenoberbau.

Hier kommt wohl nur eiserner Langschwellenoberbau in Betracht und auch dieser wird dermalen in Deutschland und Österreich-Ungarn nur in verhältnismäßig geringer Ausdehnung angewendet. Im Verein Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen waren im Jahre 1903 von 118475 km durchgehenden Gleisen 116464 km Gleise auf Querschwellen — hiervon 18699 km auf eisernen Querschwellen — und nur 1716 km auf eisernen Langschwellen verlegt.

Beim Verlegen eisernen Langschwellenoberbaues werden Schiene und Schwelle bereits verbunden auf Arbeitszügen verladen und an der Baustelle entweder mit eigenen Verlegekrahnen oder über kleine Wagen mit geneigter Ablaufebene niedergelassen. Besondere Aufmerksamkeit erfordert hierbei die richtige Bereitstellung und Zusammenfügung der Teile und die Verladung des Gestänges.

Die Maschine schiebt den Arbeitszug nach Maßgabe des Fortschreitens der Gleislegung vor, darf jedoch erst nach erfolgtem Unterstopfen der Langschwellen das Gleis befahren. Bei der österreichischen Nordwestbahn geschieht das Verlegen von Langschwellenoberbau — Bauart Hohenegger — ohne jede besondere mechanische Beihilfe. Die Zusammenfügung geschieht in den an die zu legenden Strecken angrenzenden Stationen auf Lagerplätzen, die Verteilung auf der Strecke erfolgt mit gewöhnlichen Bahnwagen[29]).

C. Verlegen von Schwellenschienenoberbau.

Der dem Langschwellenoberbau verwandte, in neuerer Zeit auf den preußischen, sächsischen und württembergischen Staatseisenbahnen versuchsweise zur Verwendung gelangte Schwellenschienenoberbau, welcher durch Zweiteiligkeit der zugleich als Langschwelle ausgebildeten Schiene und Versetzung der Stöße der beiden Halbschienen gekennzeichnet ist, erfordert beim Verlegen die verhältnismäßig geringste Arbeit, da die einzelnen Oberbauteile schon im Werke so zusammengefügt werden, daß beim Verlegen nur mehr die Laschen- und Querverbindungen anzubringen sind.

Nach einer uns vom Herrn Generaldirektor Haarmann zugekommenen Mitteilung umfassen die Vorarbeiten auf dem Werke: Das Schneiden und Richten der einzelnen Walzstäbe, das Bohren der Löcher für die Steg-, Laschen- und Querverbindungsschrauben, das Krümmen und Bezeichnen der Bogenschienen, das Zusammenpassen je zweier Hälften, deren Verbindung durch Schrauben und Fußklammern, deren genaues Nachrichten, endlich das Anpassen der Querverbindungen.

Das Verladen der fertigen Stücke muß entsprechend der vorgeschriebenen Reihenfolge der Verwendung und so vorgenommen werden, daß ein Umwenden auf

[29]) Deutsche Bauztg. 1879; Zeitschr. f. Baukunde 1879; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1879 u. 1880; Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884; Susemihl, Das Eisenbahnbauwesen, Wiesbaden 1892.

der Strecke entbehrlich wird. Laschen und Querverbindungen und die zugehörigen Schrauben werden gesondert verladen, erstere lose, letztere getrennt, in Fässern.

Für das Verlegen des Schwellenschienenoberbaues empfiehlt Haarmann folgenden Vorgang:

Vorarbeiten auf der Strecke. Es wird auf das fertige und wohl eingeebnete, zweckmäßigerweise auch erst abzuwalzende Bahnplanum die Bettung in einer Stärke von mindestens 30 cm bis Schwellenschienenunterkante aufgebracht und eingeebnet. Nicht zu grober Stein- oder Schlackenschotter verdient wegen seiner bleibenden Wasserdurchlässigkeit den Vorzug vor anderem Bettungsstoff.

Das Verlegen vollzieht sich bei Gleisneubauten in folgender Weise: Anfahren der Oberbauteile und des etwa noch erforderlichen Bettungsstoffes bis an das augenblickliche Ende der Vorstrecklänge mittels eines in der Regel aus nur einem beladenen Wagen und der Lokomotive bestehenden Arbeitszuges. Der Wagen enthält 18 Schwellenschienenstücke, welche in 1 bis $1^1/_2$ Stunden von einem Arbeitertrupp verlegt werden können. Das Befahren des neu gelegten Gleises durch die Lokomotive ist durch Einschaltung mehrerer leerer Wagen zwischen dem beladenen Wagen und der Lokomotive und durch Schieben der Wagen zu vermeiden; Abladen, Vortragen und Auslegen der Schienen (wozu 8 bis 12 Mann erforderlich); Anbringen der Laschen unter Benutzung der Stoßlückeneisen; Einziehen der Querverbindungen, wobei vorerst nur die äußeren Laschenbolzen und nur die oberen Querverbindungsschrauben angebracht werden; vorläufiges leichtes Unterstopfen der Schwellenschienenfüße, unter Anwuchten auf die richtige Höhe und Ausrichten der Lage. (Die Stopftruppe besteht aus 6 bis 8 Mann.) Sodann Einziehen der noch fehlenden Schrauben, festes Anziehen sämtlicher Schrauben und hiernach ordentliches Unterstopfen des ganzen Gestänges. Bei dem beschriebenen Arbeitsvorgang ist ein täglicher Fortschritt der Verlegung des Gleises um etwa 0,4 km erreichbar.

Bei Gleisumbauten oder beim Bau eines zweiten Gleises erfolgt die Anfuhr aller Teile auf den bestehenden Gleisen, wo sie neben dem zu bauenden Gleise ordnungsmäßig gelagert werden. Im übrigen ist der Vorgang der gleiche, wie beim Neubau.

Bezüglich der Bettung empfiehlt Haarmann an einer vorhandenen, noch guten, durchlässigen Kies- oder Kleingeschlägebettung so wenig wie möglich zu rühren, da ein bereits gefestigtes und tragfähig gewordenes Gleisbett für die erste Zeit nach der Verlegung Vorteile vor einem neuen Gleisbett bietet. Es wird nach Entfernung der Querschwellen beiderseits je ein bis zur Sohle der letzteren reichender, etwa 1 m breiter Graben für jeden Schwellenschienenstrang freigelegt und mit einer 15 cm hohen Schicht nicht zu groben Schotters versehen. Darauf wird die Schwellenschiene gelegt, unterstopft, ausgerichtet und verfüllt.

§ 6. Oberbauwerkzeuge und Geräte. — Die Arbeiten des Oberbaulegens und der Oberbauunterhaltung sind ihrer Natur nach Handarbeit. Sie werden aber wie jede Handarbeit wesentlich gefördert und verbilligt durch den Gebrauch zweckentsprechender Werkzeuge und Geräte, und es ist deshalb eine genaue Kenntnis und richtige Wahl derselben von größter Wichtigkeit für die Durchführung dieser Arbeiten. Da die zum Oberbaulegen erforderlichen Werkzeuge großenteils auch für die Bahnerhaltung benötigt werden, so empfiehlt es sich, daß die Anschaffung derselben auch dann durch die Bahngesellschaft erfolgt, wenn die Arbeit des Oberbaulegens selbst an Unternehmer vergeben wird. Auf alle Fälle müssen jene Werk-

zeuge und Geräte, deren richtige Maße für die vorschriftsmäßige Lage des Gleises von Wichtigkeit sind, während des Verlegens einer wiederholten Nachprüfung unterzogen werden und unvollkommene oder unrichtige Werkzeuge von der Verwendung ausgeschlossen bleiben.

Wir müssen uns hier darauf beschränken, aus der großen Zahl der im Gebrauche stehenden Werkzeuge und Geräte die wichtigsten und häufiger angewandten namhaft zu machen. Die Art ihrer Benutzung ist aus den beigegebenen Abbildungen, den Zwecken, denen sie zu dienen bestimmt sind und aus den beigefügten Quellenangaben zu entnehmen. Von einer näheren Beschreibung ist deshalb zumeist abgesehen.

Wir unterscheiden:

a) Werkzeuge und Geräte für den Transport der Oberbauteile. — 1. Die Schienentragzange, der Schienenheber und die Schienentraggabel (Tafel I, Abb. 1 bis 3) zum Tragen einzelner Schienen. Die Arbeiter sind dabei vor Beschädigungen mehr geschützt, als beim Tragen der Schienen auf der Schulter oder mittels einfacher Tragstangen.

2. Gleiskarren und Bahnwagen zur Beförderung von Schienen, Schwellen und Kleineisenzeug vom Lagerplatze auf die Verwendungsstelle. Insbesondere werden bei der Bahnunterhaltung verwendet: Maders Gleiskarren (auch Maderon genannt), ein zweirädriger, auf einem Schienenstrange leicht fortzubewegender Karren; Siebels Gleiskarren auf drei Rädern[30]); der gewöhnliche Bahnmeisterwagen, ein vierrädriger Plattformwagen, der auf Strecken mit stärkerem Gefälle mit Bremsvorrichtung versehen sein muß.

Besondere Arten von Bahnwagen — mit Winden zum Ausheben voll beladener Wagen aus dem Gleis — stehen auf amerikanischen Bahnen in Verwendung.

3. Hebe- und Legekrane zum Auf- und Abladen von Schienen und eisernen Schwellen. Guyenets Kran[31]); Rail Unloader; Pneumatischer Schienenablader von Henry Ware[32]).

In Nordamerika bedient man sich zur Fortschaffung und Verlegung der Oberbauteile eigener Verlegzüge, die aus sechs bis acht Wagen bestehen, auf denen Schienen, Schwellen und Kleineisenzeug geordnet verladen werden und maschinelle Einrichtungen angebracht sind, welche die genannten Gegenstände einem auf dem ersten Wagen angebrachten Krane mit langem Ausleger zuführen. Bei der Verlegeeinrichtung von Holman werden Schienen und Schwellen auf Rollen in einer seitlich der Wagen angebrachten Rinne zum Krane befördert; bei den Einrichtungen von Harris und Voigt erfolgt die Beförderung auf dem Zuge mittels eines kleinen Wagens, welcher auf schmalspurigem Gleise neben der Ladung an einer Seite der Wagenplattform geführt ist[33]).

Beim Bau der Bahn Eskischehir-Konia in Kleinasien kam eine von der Unternehmung Phil. Holzmann & Co. entworfene Gleislegemaschine zur Anwendung, die in der Hauptsache in einem mit Dampfmaschine versehenen Kranwagen besteht, an den sich ein Arbeitszug mit darauf liegendem Gleis anschließt. Auf diesem Gleis stehen kleine Rollschemel mit dem auf den Lagerplätzen vorher zu fertigenden Gleis-

[30]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1891.
[31]) Dingler, Polytechn. Journ. 1886; Rev. génér. d. chem. d. fer 1895.
[32]) Railroad Gazette 1894. Glasers Annalen 1904.
[33]) Das Eisenbahnwesen auf der Weltausstellung in Chicago von H. v. Littrow, Wien 1895.

stücken von je einer Schienenlänge (9,55 m) zusammengesetzten Oberbau. Die Gleisstücke sind in je 10 Lagen übereinander auf den Rollschemeln verladen, werden allmählich bis an den Kranwagen vorgezogen, der einen nach vorn schräg abfallenden Rahmen mit Laufkran trägt. Die erzielte Durchschnittsleistung wird auf monatlich 45 km Vollspurgleis mit Schienen von 30 kg/m und Eisenquerschwellen von 50 kg/m beziffert. Einzelne Tagesleistung bis 2860 m Gleis[34]).

Auf der Bessemer- und Erie-Bahn sind mit dem Gleislegezug von Hurley erfolgreiche Versuche gemacht worden. Der Arbeitszug hatte vorn einen Maschinenwagen, dahinter einen Tenderwagen und 14 bis 16 bordlose Wagen, von denen die Schwellen und Schienen in sinnreicher Weise vorgeschoben wurden. Mit 30 bis 35 Mann wurden täglich 3,25 km Gleis verlegt[35]).

Beim Baue einer 250 km langen Bahn bei Gafsa in Tunis benützte Wiriot einen Verlegewagen, wobei das Gleis mit Postschen Querschwellen in Schienenlängen von 10 m auf dem Lager gebaut, mit Kran verladen und verlegt wurde, und 28 Leute 1,5 km am Tage fertigstellten[36]).

b) Werkzeuge und Geräte für das Anarbeiten und Zurichten der Oberbauteile. — 1. Die Dexelhacke (Tafel I, Abb. 4), dient, nebst Handsäge, Beil und Hobel, zum Anarbeiten der geneigten Auflageflächen für die Schienen und Unterlagsplatten auf den Holzschwellen.

2. Der Schwellenbohrer zum Vorbohren der Holzschwellen für Nägel und Schrauben. Sind Bohrer verschiedener Stärke erforderlich, wie dies bei gleichzeitiger Anwendung von Nägeln und Schwellenschrauben, bei hartem und weichem Holze notwendig wird, dann empfiehlt sich die Verwendung der Bohrstange mit Einsatzbohrer (Tafel I, Abb. 5). Siehe auch Dunajs Schwellenbohrer, Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnw. 1882.

3. Dexel- und Bohrmaschinen für Hand- und Dampfbetrieb. Siehe Hobelmaschine von Schubert, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1880; Maschine von Ramsbottan für die Lancashire- und Yorkshire-Bahn, welche Schwellen kappt, bohrt und mit Schienenstühlen benagelt, Engineer 1886. Maschine der französischen Ostbahn und Nordostbahn-Gesellschaft zum Kappen und Vorbohren der Schwellen, Revue générale d. chem. d. fer 1886. Maschine zum Hobeln und Bohren der Schwellen, Bauart Cochet, der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn, mit der drei Arbeiter in der Stunde 180 Stück Eichenschwellen hobeln (Le Génie civil 1903).

Die Dexelhacke und die Dexelmaschinen sind übrigens durch Einführung der keilförmigen Unterlagsplatten entbehrlich geworden.

4. Die Bohrknarre oder Bohrratsche (Taf. I, Abb. 6) zum Bohren neuer Laschenschraubenlöcher. Verbessert von Krüzner durch selbsttätigen Vorschub. Schienenbohrmaschine von Wegener und Longmann, siehe Dinglers Polytechn. Journ. 1888. Bohrvorrichtung von Terstegge, siehe Zentralblatt der Bauverwaltung 1901, Nr. 57.

5. Meißel, Feile, Hammer und Klinkamboß, zum Klinken und Kürzen der Schienen. Beim Kürzen wird mit dem Meißel eine Vertiefung rings um den Schienenquerschnitt eingekerbt, das zu beseitigende Ende abgeschlagen und die

[34]) Nach Goerings Mitteilungen in Glasers Annalen, Berlin 1896. Siehe auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Berlin 1898.

[35]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1900.

[36]) Railroad Gazette 1902, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903.

Bruchfläche mit Meißel und Feile nachgearbeitet. Doch ist hierbei die Schiene leicht Beschädigungen ausgesetzt; es empfiehlt sich deshalb die Kürzung der Schienen durch Absägen.

6. Schienenschneidemaschinen sind Sägen mit Handantrieb oder Maschinenantrieb zum Kürzen der Schienen[37]).

7. Schienenbiegmaschinen zum Krümmen der Bogenschienen haben aus den in § 5 angegebenen Gründen seit Einführung längerer, elastischer Stahlschienen an Bedeutung verloren. Unter den vielen für diesen Zweck gebauten Vorrichtungen haben sich am besten bewährt: Die Dreiwalzenbiegmaschinen neuerer Bauart, welche sich jedoch wegen ihres großen Gewichtes nur für Walzwerke, Werkstätten und größere Schienenniederlagen eignen; Vojačeks tragbare Dreirollenbiegmaschine[38]); der Schrabetzsche Schienenkrümmer neuerer Bauart (Tafel I, Abb. 7). Letzterer arbeitet am billigsten, hinreichend genau und ist für jede Schienenlänge bis zu 15 m verwendbar[39]). Die älteren Schienenbiegbänke von Köhler, Pressler-Thomas, Schubert u. a. stehen wenig mehr im Gebrauch.

c) Werkzeuge und Geräte für die Herstellung und die Unterhaltung des Oberbaues. — 1. Steinhämmer und Schotterschlägel (Tafel I, Abb. 8 und 9) zur Herstellung von Kleinschlag und zum Zertrümmern zu großer Steine des Bettungsstoffes.

2. Wurfgitter, zur Sonderung und Reinigung des Bettungsstoffes.

3. Stich- und Faßschaufel für die Einbringung der Bettung.

4. Die Stopfhaue oder Hacke (Schlagkrampen) zum Unterstopfen der Schwellen, zumeist vereint mit der Spitzhaue (Schlag- und Spitzkrampen), die — wie die Kreuzhacke — auch zum Auflockern und Verkeilen der Bettung dient. Die einfache Stopfhaue (Tafel I, Abb. 10) hat gegenüber der Stopf- und Spitzhaue (Tafel I, Abb. 11) den Vorteil einer tieferen Schwerpunktslage und geringen Gewichtes, die letztere hingegen vereinigt zwei Werkzeuge in einem Stücke. Doch darf das Metallgewicht höchstens 3,5 bis 4 kg betragen, da sonst die Arbeiter zu rasch ermüden. Für Sandbettung und feinen Kies wird die Stopfhaue auch aus Holz angefertigt, für gröberen Bettungsstoff stets aus Eisen, wobei die Schlagflächen gut gestählt sein müssen. Die Kreuzhacke ist insbesondere beim Aufhauen sehr fester — gefrorener — Bettung erforderlich (siehe Tafel I, Abb. 12).

In Amerika bedient man sich bei der dort üblichen, sehr engen Schwellenlage zum Unterstopfen auch der Stopfstange (Tafel I, Abb. 13), einer runden Eisenstange, an welche ein rechteckiges Blatt unter flachem Winkel angeschweißt ist. Derartige Stopfstangen stehen seit einigen Jahren auch bei der Außig-Teplitzer Eisenbahn zum Unterstopfen der Stoßschwellen in bewährter Verwendung.

Als ein Versuch, die Stopfarbeit zu vervollkommnen, sei die Schwellenstopfmaschine von Jacobi erwähnt, welche aus einem eisernen Gestell besteht, an dem zwei Hebel mit unten daransitzenden Stopfschaufeln befestigt sind. Das Ganze ist auf einem Rade aufgebaut, mit dem man beim Langschwellenoberbau die

---

37) Wagner, Schienensäge, Engineer 1877; Erhardts Kaltsäge und Schneideapparat, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1881 und 1884, und dessen neue doppelte Oszilliersäge mit Selbstschärfapparat, ebenda 1885; Fahrbare Schienensäge, Railroad Gazette 1886; Smiths Schienensäge, Engineer 1888, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889; Schienensäge für Hand- und Maschinenbetrieb, Railroad Gazette 1891.

38) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883.

39) Ebenda 1883.

Maschine entlang der Schiene führt. Bei Querschwellenoberbau muß jedoch die Maschine — 50 kg Gewicht — von einer Schwelle zur andern gehoben werden[40]). Eine einfachere Schwellenstopfvorrichtung, deren Gewicht nur 12 bis 13 kg beträgt, kam auf französischen Bahnen zur Anwendung[41]). In jüngster Zeit benutzte die Paris-Lyon-Mittelmeerbahn bei Gleisunterhaltungsarbeiten und Neubauten Maschinen zum Unterstopfen der Schwellen mit elektrischem Antrieb, worüber weitere Erfahrungen abzuwarten sind. (Siehe Revue générale d. chem. d. fer, Mai 1904.)

5. Der Wuchte- oder Hebebaum, zum Heben der Schwellen beim Stopfen und Unterstützen derselben beim Nageln (Tafel I, Abb. 14).

6. Hebevorrichtungen, welche bezwecken, den Hebebaum zu ersetzen. Solche sind in vielfachen Formen hergestellt worden. Bekannter sind: Der Nivelleur von de Bergue, die Vorrichtungen von Bengger in Winterthur und von Vojaček; Pollitzers Schraubenhebevorrichtung[42]), Grothes Hebevorrichtung[43]), Universal-Egalisator[44]); Zangenhebebock von Clement Ader[45]); Gleisehebebock von Westmeyer[46]); Clark Fishers Doppelwinde zum Heben des Gleises[47]); Gleisehebewinde der französischen Ostbahn von Freund (Gew. 30 kg) (Tafel I, Abb. 15[a] bis 15[c])[48]). Schienenheber von Rothermel in London[49]). In Amerika stehen derartige Gleisheber in ausgedehnter Anwendung (Tafel I, Abb. 15[d]). Bei uns vermochten dieselben bisher den Wuchtebaum nicht zu verdrängen.

Derartige Hebevorrichtungen müssen bequem zu tragen, rasch handbar und dürfen nicht leicht zerbrechlich sein. Das Gewicht derselben beträgt indes doch bis 30 kg und die Arbeit ist eine langsame. Bei geeigneter Anordnung kann eine solche Hebevorrichtung beim Befahren der betreffenden Gleisstelle unter dem Gleise stehen gelassen und auch zur zeitweiligen Unterstützung von Schienenbrüchen verwendet werden.

7. Schlägel von Holz und Eisen, Handrammen und Hebeeisen zum Richten des Gleises nach Höhe und Linie.

8. Hämmer verschiedener Art, und zwar: Schlaghämmer zum Einschlagen der Nägel (Tafel I, Abb. 16); Aufsetzhämmer zum Vorhalten beim Eintreiben der Nägel (Tafel I, Abb. 17); Durchschlaghammer oder Durchtreiber zum Durchschlagen abgebrochener Nägel (Tafel I, Abb. 18).

9. Der Geisfuß oder die Nagelklaue (Tafel I, Abb. 19) zum Ausziehen der Schienennägel. Man bedient sich zunächst eines kürzeren Geißfußes zum Anheben des Nagels, dann des längeren Werkzeuges zum Herausziehen des Nagels. Da die Nägel hierbei meist stark beschädigt werden, bedient man sich besser der Nagelzange, als: Vogel-Nootsche Nagelzange (Tafel I, Abb. 20), die auch das Ausziehen von Nägeln ohne rückseitigen Haken und aus engen Rillen ermöglicht; Dunaj und Webers Schienennagelzange[50]); Christies Schienennagelzange[51]).

---

[40]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890.
[41]) Le Génie civil 1901.
[42]) Siehe dessen »Bahnerhaltung«, Brünn 1874.
[43]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1873.
[44]) Allgem. Bauzeitung 1873.
[45]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw, 1880.
[46]) Ebenda 1885.
[47]) Railroad Gazette 1890; Engineer 1890.
[48]) Revue générale des chemins de fer, Juni 1895.
[49]) Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1899.
[50]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883.
[51]) Railroad Gazette 1885.

10. Schraubenschlüssel verschiedener Längen und Maulweiten, zum Anziehen der Laschen- und sonstigen Verbindungs- und Befestigungsschrauben. Schlüssel für Laschen- und Hakenschrauben (Tafel I, Abb. 21) für erstmaliges Verschrauben zweckmäßig nur 300 mm lang, zum Nachziehen 600 mm lang mit zwei verschiedenen Maulweiten. Für die Gleisunterhaltung sind meist noch mehr als zwei Schlüsselweiten erforderlich und ist dann die Verwendung des französischen oder Gassebnerschen Universalschraubenschlüssels oder des verstellbaren Schwellenschraubenschlüssels von Jacobi geboten[52]). Der Übelstand des jeweiligen Einstellens der erforderlichen Schlüsselweite entfällt bei W. Schillings Schraubenschlüssel mit Selbsteinstellung[53]).

Schwellenschraubenschlüssel zum Einschrauben der Schwellenschrauben (Tafel I, Abb. 22).

11. Vorrichtungen zum Zurücktreiben gewanderter Schienen bzw. zur Wiederherstellung der winkelrechten Lage der Schienenstöße und der erforderlichen Wärmelücken. Der Schienenrücker von Bauer (Tafel I, Abb. 23) hat sich hierfür bewährt[54]).

12. Vorrichtungen für Spurberichtigungen im Bahnunterhaltungsdienste. In bewährter Verwendung steht Geskes Spurrichter (Tafel I, Abb. 24), im wesentlichen ein Druckhebel mit selbsttätig wirkendem Spurmaß, welches dem Hebel als Widerlager dient[55]); desgleichen Schienenrichter mit selbsttätigem Spurmaß von Altmann.

13. Vorrichtungen zum Verschieben von Gleisen. Für umfangreichere Gleisverschiebungen dient die Vorrichtung von Creese. Sie besteht aus einer Druckstange, die mit dem einen Ende mit der Kopfschwelle eines bordlosen Wagens verbunden und am anderen Ende mit einer Rolle versehen ist, die sich gegen die Innenseite des einen Schienenstranges legt. Durch das Vorschieben des Wagens erfolgt die gewünschte seitliche Verschiebung des Gleises[56]).

d. Geräte zum Messen und Prüfen der richtigen Lage und des Verhaltens des Oberbaues. — 1. Schwelleneinteilungsmaße. Als solche dienen mit der Schwelleneinteilung versehene Holzlatten oder eiserne Bandmaße (Tafel I, Abb. 25).

2. Dexellehren (Schwellenkapplehren) zur Prüfung der Schwellenkappung (Tafel I, Abb. 26).

3. Absehkreuze, Abwäglatten, Winkel und Wasserwagen zur Bestimmung und Prüfung der richtigen Gleishöhe und winkelrechten Lage der Schienenstöße.

4. Stoßlückeneisen (Dilatationsbleche) (Tafel I, Abb. 32) zur Freihaltung der Wärmelücken während des Oberbaulegens. Ihre Form soll derart sein, daß sie das Befahren des Gleises mit Arbeitszügen nicht behindern und doch auch im Gleise nach Beendigung der Arbeit nicht unbemerkt bleiben. Ihre Dicke soll nach Millimetern abgestuft sein[57]).

---

52) Centralbl. d. Bauverw. 1891.

53) Ebenda 1890; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1891.

54) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1888.

55) Ebenda 1890.

56) Railroad Gazette 1903; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903.

57) Siehe Goering, Über die Form der Temperaturbleche, Centralbl. d. Bauverw. 1889.

5. Spur-, Neigungs- und Überhöhungsmaße. Für das Verlegen des Oberbaues sind schwerere, für die Nachprüfung leichtere Spurmaße zu empfehlen. Für die gerade Bahn dienen feste Spurlehren (Tafel I, Abb. 27), welche bei gedexelten Schwellen mit Neigungsmaß vereint sein sollen (Tafel I, Abb. 28); für Krümmungen werden verstellbare Spurlehren verwendet (Tafel I, Abb. 29). Sind die letzteren mit Wasserwage und Einteilung zum Ablesen der Überhöhung versehen, so dienen sie auch als Überhöhungsmaße. Zum Messen der Überhöhung des äußeren Schienenstranges in Krümmungen dienen auch besondere Überhöhungsmaße (Tafel I, Abb. 30), sowie das Richtscheit mit Wasserwage (Tafel I, Abb. 31).

6. Vorrichtungen zum Prüfen des Gleiszustandes im Bahnunterhaltungsdienste. Obermayers Gleislehre[58]); Pollitzers Bahnmeisterstock zur Feststellung der Spurweite, Überhöhung und Bahnneigung[59]); Susemihls Gleismesser[60]); Mehrtens Spur- und Neigungsmesser[61]); Johns Gleismesser zum Messen der Spurweite und Überhöhung[62]); Bubes Gleiß-, Spur- und Überhöhungsmaß[63]).

Solche Vorrichtungen sollen dauerhaft, leicht trag- und rasch handbar sein und genügend sichere Ergebnisse liefern. Diesen Bedingungen entsprechen die vorgenannten Apparate nur teilweise, auch gestatten sie nur die Vornahme von Stichproben. Eine fortlaufende Durchmessung und Prüfung der Gleislage bezwecken die fahrbaren Apparate als: Dorpmüllers fahrbarer Apparat zur Feststellung der Spurweite, Überhöhung und Bahnneigung. Der Apparat zeichnet die Spurweite und gegenseitige Höhenlage der beiden Schienenstränge auf einem Papierstreifen selbsttätig auf[64]). Scherenbergs selbsttätiger Spur- und Überhöhungsmesser mit Draisine[65]); Kaisers Gleisrevisionsapparat mit elektrischer Signalvorrichtung, mißt Spurweite und Überhöhung, Leistung auf 40 bis 50 km im Tage beziffert[66]); Sternbergs Fahrrad mit Gleismesser, ein Eisenbahnfahrrad mit selbsttätiger Messung der Gleisweite, wobei jedes Centimeter Spurunterschied an einem Zifferblatte und durch einen Glockenschlag angezeigt wird. (Crefeld, Venus-Fahrradwerke)[67]). Dudleys Wagen für selbsttätige Aufzeichnung des Zustandes des Oberbaues, auf amerikanischen Bahnen (New York-Centralbahn, Boston- und Albany-Bahn) verwendet[68]). Derselbe ist bestimmt, ein vollständiges Bild des Bahnzustandes zu geben und zugleich durch Ausspritzen von Farbe die mangelhaften Stellen den Arbeitern zu kennzeichnen. Die Pennsylvaniabahn besitzt einen Wagen, in welchem ein einfacher Mechanismus die Spurweiten, die Überhöhungen und Unebenheiten des Gleises aufzeichnet[69]). Macks selbsttätige Schienenspritzvorrichtung zur Kennzeichnung schlechter Gleisstellen bezweckt lockere und unebene Gleisstellen durch Ausspritzen von Farbe auf die

---

58) Zeitschr. d. österr. Ing.- und Arch.-Ver. 1863.
59) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1880.
60) Ebenda 1881.
61) Ebenda 1885.
62) Ebenda 1887.
63) Centralbl. d. Bauverw. 1887.
64) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1879.
65) Ebenda 1882.
66) Österr. Eisenb.-Zeit. 1891.
67) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1896.
68) Ebenda, 1885; Engineer 1884.
69) Verzeichnis der Pennsylvaniabahn über die Eisenb.-Ausst. in Chicago 1893.

Bettung zu kennzeichnen[70]). Versuche mit dieser Vorrichtung auf der Kaiser Ferdinands-Nordbahn haben befriedigende Ergebnisse geliefert.

Im allgemeinen hängt jedoch die Genauigkeit der Messungsergebnisse aller fahrbaren Apparate so sehr von dem unvermeidlichen Spiel der Spurkränze und von den Erschütterungen ab, denen dieselben ausgesetzt sind, daß der Wert dieser Apparate dadurch ein eingeschränkter wird.

Zu den Geräten zur Prüfung des Verhaltens des Oberbaues im Betriebe gehören im weiteren Sinne auch die Vorrichtungen zum Messen der Schienenabnützung und die Apparate, welche die Beobachtung der Bewegungen und Veränderungen des Oberbaues unter der unmittelbaren Einwirkung bewegter Lasten bezwecken. Diese Vorrichtungen werden weiterhin noch eine nähere Besprechung erfahren.

e. Erfordernis an Geräten beim Neulegen und für die Unterhaltung der Gleise. — Das Erfordernis an Werkzeugen und Geräten zum Legen des Oberbaues ist im allgemeinen bestimmt durch die Stärke der Arbeitergruppe, welche für die Arbeitsdurchführung notwendig erachtet wird.

Beim Legen von Holzquerschwellenoberbau genügt für den Bau neuer Linien — nach Paulus — durchschnittlich für je 7,5 km Bahn und für jede größere Bahnhofsanlage eine Arbeitergruppe von 46 Mann. Hiervon werden etwa 12 Mann für das Auslegen und Zurichten der Schwellen und Unterlagsplatten, 10 Mann für das Auslegen und Verlaschen der Schienen, 2 Mann für das Vorbohren, 6 Mann zum Nageln oder Festschrauben der Schienen — in 2 Abteilungen für je einen Schienenstrang — und 16 Mann für das Unterstopfen, Heben und Richten des Gleises verwendet. Hierbei sind Schienen von 30 bis 35 kg/m vorausgesetzt. Beim Verlegen von Gleisen mit schwereren Schienen erhöht sich die Zahl der für das Auslegen der Schienen erforderlichen Arbeiter.

Die Ausrüstung einer solchen Arbeitergruppe mit Werkzeugen ist bei den einzelnen Bahnverwaltungen eine sehr verschiedenartige. Zumeist stellen dieselben dem Unternehmer des Oberbaulegens alle jene Werkzeuge und Geräte bei, welche für die spätere Unterhaltung des Oberbaues weiter verwendet werden können. Für die Ausrüstung einer Gruppe reichen die nachstehend angegebenen Stückzahlen hin.

Benennung der Werkzeuge	Stückzahl	Benennung der Werkzeuge	Stückzahl
Schwellenteilungsmaße	2	Schienenschraubenschlüssel (2 lange, 2 kurze)	4
Dexelhacken	4	Geißfüße oder Schienennagelzangen	3
Dexellehren	2	Handrammen	4
Handsägen	2	Spitzhauen	6
Schienentragzangen	4	Stopfhauen	32
Bohrstangen	6	Schaufeln	32
Einsatzbohrer hierzu	12	Winkel	2
Bohrratsche samt 10 Stück Bohrern	1	Wasserwagen	3
Hebebäume oder Hebeisen	6—10	Abwäglatten	3
Setzhämmer	6	Absehkreuze oder Visierscheiben	3
Schlaghämmer	6	Feste Spurmaße	2
Durchschlaghämmer	2	Verstellbare Spurmaße	2
Holzschlägel	6	Überhöhungsmaße (Richtscheit mit Wasserwage)	3
Eiserne Schlägel	6	Stoßlückeneisen	400
Schwellenschraubenschlüssel	2		

[70]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893.

Außerdem nach Bedarf: Meißel, Feilen, Schleifsteine usw. — Schienenbiegemaschinen und Transportwagen mindestens vier Stück für jede Gruppe.

Eine solche Arbeitergruppe verlegt bei Gleisneubauten mindestens 90 bis 100 m fertigen Oberbau im Tage. Bei Gleisumbauten, wo es möglich ist, den neuen Oberbau neben dem alten fertig zusammenzustellen und nach Abbruch des alten Gleises einzuschieben, oder wo doch das Material so neben dem Gleise verteilt werden kann, daß es rasch an Stelle des alten verlegt werden kann, ist die Leistung eine wesentlich höhere und genügen Zugpausen von 2 Stunden zum Einbau von etwa 100 m Gleis.

Beim Legen von eisernem Querschwellenoberbau entfällt das Zurichten (Dexeln und Bohren) der Schwellen, das Einschlagen der Nägel und Einschrauben der Schwellenschrauben, die beständige Verwendung des Spurmaßes und vermindert sich hierdurch das Erfordernis an Werkzeugen und Geräten sehr wesentlich, da Dexellehre, Dexelhacke, Handsäge, Bohrer, Schwellenschraubenschlüssel, Geisfuß, eiserne Hämmer und Schlägel ganz entfallen und ein einziges Spurmaß zur Nachprüfung der Gleisweite genügt. Hingegen bedarf die Stopfarbeit, wegen des erforderlichen guten Ausfüllens der Schwellenhöhlung, etwas mehr Zeit. Die tägliche Leistung ist etwas höher als beim Verlegen von Holzschwellenoberbau.

Auch beim Legen von eisernem Langschwellenoberbau ist der Bedarf an Werkzeugen geringer als beim Holzschwellenoberbau. Als Beispiel des täglichen Arbeitsfortschrittes bei ersterem sei erwähnt, daß nach einer Mitteilung von Rybarž auf eingleisiger Bahn bei einer Arbeitszeit von 9 Stunden, wovon jedoch nur 7 Stunden in vier Zeitabschnitten zur Legung benutzt werden konnten, 295 m Holzquerschwellenoberbau abgetragen und eiserner Langschwellenoberbau der Bauart Hohenegger eingelegt wurde. Hierbei standen in allem 66 Mann in Verwendung[71]).

Für das Verlegen von Schwellenschienenoberbau sind beim Neubau eines Gleises — nach einer Mitteilung von Haarmann — außer dem Vorstrecktrupp — welcher 18 Oberbauteile in etwa 1 bis $1^1/_2$ Stunden verlegt — etwa erforderlich 8 Mann zum Überladen der Oberbauteile von den Eisenbahnwagen auf die Transportwagen und 6 bis 8 Mann für das vorläufige Unterstopfen und Richten des Gleises. Es werden hierbei an Werkzeugen benötigt: 4 Stück Schraubenschlüssel gleicher Maulweite, 1 Satz Stoßlückeneisen, mehrere Wuchtebäume, 6 bis 8 Stück Stopfhacken (ohne Pickel), mehrere Richtstangen und Richtlatten, einige Wasserwagen, 5 Stück Schienentragstangen. Der tägliche Arbeitsfortschritt beträgt etwa 400 m.

Der Bedarf an Werkzeugen für die Gleisunterhaltung richtet sich selbstverständlich nach der Bedeutung der Linien und der Größe des Verkehrs auf denselben. Die Bahnwärter und die mit den laufenden Unterhaltungsarbeiten betrauten ständigen Arbeitergruppen werden mit einer festgesetzten Zahl von Werkzeugen versehen und eine entsprechende Anzahl derselben wird in jeder Streckenabteilung (Bauinspektion, Streckenleitung) in Vorrat gehalten. Als Beispiel des Erfordernisses für Hauptbahnen sei das bei der Kaiser Ferdinands-Nordbahn übliche angeführt.

---

[71]) Über eisernen Oberbau, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884; s. auch Verlegung des Hilfschen Langschwellenoberbaues in d. Zeitschr. für Baukunde 1879.

Werkzeuge	Jeder Bahnwärter	Jede Arbeitergruppe von 10 Mann	Werkzeuge	Jeder Bahnwärter	Jede Arbeitergruppe von 10 Mann
	Stück			Stück	
Hebebäume	1 jeder 2. Wärter	1	Einsatzbohrer hierzu	2	4
Geißfüße	1	4	Schiebkarren	1	1
Gartenhauen	1	—	Wasserwagen	1 jeder 4. Wärter	1
Stopfhauen	1	10	Durchschläge	1	2
Spitzhauen	1	1	Handhämmer	1	2
Gleislehren	1	1	Setzhämmer	1	2
Handrechen	1	1	Vorschlaghämmer	1	2
Faßschaufeln	1	10	Holzschlägel	1 jeder 4. Wärter	1
Schneeschaufeln	3	—	Beißzange	1	—
Stichschaufeln	1	—	Schrotmeißel	1 jeder 3. Wärter	—
Schraubenschlüssel (gewöhnliche)	1	1	Nagelzange	—	1
Schwellenschraubenschlüssel	1	1	Absehbretter	—	3
Bohrstangen	1	2	Absehkreuze	—	3

Ein Ausweis der für die einzelnen Arbeiten der Gleisunterhaltung erforderlichen Anzahl von Arbeitern und Werkzeugen findet sich bei Pollitzer[72]).

II. Die Unterhaltung des Oberbaues.

§ 7. Verhalten des Oberbaues während des Betriebes. — a. Allgemeines. — In § 1 dieses Kapitels haben wir bereits im allgemeinen die Bedeutung und den Wert der unmittelbaren Beobachtung des Verhaltens des Oberbaues im Betriebe dargelegt. Die Veränderungen, die ein Gleis in seiner Lage und Richtung während des Betriebes erfährt, die Art und Größe der Abnutzung, welche die einzelnen Bestandteile hierbei erleiden, und die mehr oder minder große Raschheit, mit der diese Erscheinungen eintreten, geben den zuverlässigsten Maßstab dafür ab, ob eine Gleisanordnung dem Verkehre dauernd gewachsen ist, dem zu dienen dieselbe bestimmt wurde.

Eine auf Erforschung der wahren Ursachen abzielende Beobachtung und eine richtige Beurteilung der wahrgenommenen Erscheinungen begegnet jedoch nicht geringen Schwierigkeiten. Das Gleis erleidet unter den Einwirkungen der bewegten Lasten lebhafte Erschütterungen, Durchbiegungen, Verdrückungen und Verschiebungen nach allen Richtungen, Anstrengungen und Abnutzungen in allen seinen Teilen. Die einmal eingetretenen Formänderungen aber wirken auf den Gang der Fahrzeuge unmittelbar zurück, verstärken deren Stoßwirkungen, und Ursache und Wirkung sind oft kaum mehr zu unterscheiden.

Hängt hiernach die Art und Größe dieser Erscheinungen ebenso sehr von der Bauart des Gleises, wie von der Bau- und Gangart der Fahrzeuge ab, so werden dieselben überdies noch wesentlich mitbeeinflußt durch die Witterungsverhältnisse, da

72) Bahnerhaltung, Brünn 1874.

insbesondere der Wechsel von Frost und Hitze, Feuchtigkeit und Trockenheit die Lage und den Widerstand des Gleises erheblich zu verändern vermag.

Bei diesen Last- und Witterungswirkungen ist nun aber zu unterscheiden zwischen den vorübergehenden (elastischen) und den bleibenden Formveränderungen. Auch dort, wo die Größe der ersteren an und für sich nicht betriebsgefährlich wird, ist die Häufigkeit und rasche Folge derselben doch Anlaß zu jenen Veränderungen im Gefüge des Gleises, deren rechtzeitige Behebung eine Hauptaufgabe der Bahnunterhaltung bildet. Eine sachgemäße Durchführung der Gleisunterhaltung hat deshalb die Kenntnis dieser Bewegungsvorgänge zur Voraussetzung und muß sich auf unmittelbare Beobachtung des Verhaltens des Gleises im Betriebe stützen.

Die bleibenden Formveränderungen treten als sichtbare Störungen in der Lage des Gleises unmittelbar in Erscheinung und machen sich in Veränderungen der Längen- und Querneigung der Schienen und ihrer gegenseitigen Höhenlage, sowie in Abweichungen von der vorgeschriebenen Richtung und Spurweite des Gleises bemerkbar. Die Störungen in der Höhenlage des Gleises äußern sich insbesondere in bleibenden Senkungen desselben an den Schienenstößen und in Senkungen des ganzen Gleises sowie einzelner Schienenstränge auf mehr oder minder große Längen. In je rascherer Folge sich diese Abweichungen von der vorgeschriebenen Höhenlage aneinander reihen, um so bedenklicher sind sie, da sie um so mehr die wogenden Bewegungen der Fahrbetriebsmittel und deren zerstörende Wirkungen auf das Gleis steigern. Die Störungen in der Richtung des Gleises treten insbesondere beim Übergang von geraden und gekrümmten Gleisstrecken auf und äußern sich dort, wo Übergangsbogen fehlen, in Verschärfungen der an die gerade Strecke unmittelbar anschließenden Bogenteile. Aber auch in längeren geraden Gleisstrecken treten oft schlangenförmige Gleisverschiebungen auf, insbesondere wenn durch eine mangelhafte Unterstopfung der Schwellen, bei welcher diese in der Mitte fest, an den Enden aber hohl liegen, schwingende Bewegungen der Schwellen und in deren Folge die Schwankungen der Fahrzeuge begünstigt werden. Die Veränderungen in der Spurweite, welche sich in Erweiterungen und Verengungen äußern, sind Folgen des Kantens und seitlichen Verschiebens der Schienen und des ungleichmäßigen Einpressens derselben in die Unterlagen, treten jedoch auch bei nicht richtig unterstopften oder ungenügend bemessenen Schwellen als Folge von deren Durchbiegungen auf, wie dies insbesondere bei eisernen Querschwellen von zu geringer Länge und Steifigkeit wahrgenommen wird. Endlich sind auch die Längsverschiebungen, welchen das Gleis ausgesetzt ist, Anlaß zu Spurveränderungen, da hierbei die Schwellen in eine schräge Lage gebracht werden können. Die Abweichungen von der vorgeschriebenen Lage und Richtung des Gleises dürfen selbstverständlich gewisse Maße nicht überschreiten, wenn nicht die Sicherheit des Betriebes in Frage gestellt sein soll. Die bezüglichen Grenzmaße werden später angegeben.

Im folgenden sollen zunächst in Kürze die wesentlichsten Verfahren und Ergebnisse der bisherigen Beobachtungen des Gleises im Betriebe mitgeteilt, die Einflüsse der Witterung auf das Verhalten des Gleises dargelegt und jene Veränderungen im einzelnen besprochen werden, welche das Gleis und seine Bestandteile unter den genannten Einwirkungen erleiden.

Die unmittelbare Beobachtung und Messung der gesamten Bewegungen und Formveränderungen, welche das Gleis unter der Wirkung der rollenden Lasten erleidet, begegnet besonderen Schwierigkeiten, weil es sich einerseits um genaue Feststellung

verhältnismäßig kleiner, rasch sich vollziehender Bewegungen der Gleisbestandteile handelt und weil anderseits alle in unmittelbarer Nähe des Gleises angebrachten Meßgeräte den Stoßwirkungen der Fahrzeuge ausgesetzt sind, wodurch die Bestimmung der tatsächlichen Bewegungsgrößen — in einem zumeist nicht bestimmbaren Grade — beeinflußt wird. Derartige Beobachtungen sind bisher auch nur in verhältnismäßig geringer Zahl angestellt worden und die Verwertung ihrer Ergebnisse erfordert eine sorgfältige Erwägung der Umstände, unter welchen die Beobachtungen erfolgten.

Grundlegend für die Erkenntnis des Verhaltens des Gleises im Betriebe sind die höchst verdienstvollen Versuche und Beobachtungen geworden, welche M. M. v. Weber angestellt hat[73]). Dieselben erstrecken sich auf den Widerstand des Gleises im ganzen und in seinen Teilen. Die von Weber mitgeteilten Maße und Bilder der Bewegungen, welche das Gleis unter den Einwirkungen des Betriebes erleidet, ließen zum ersten Male die bedeutenden Lageveränderungen erkennen, mit welchen in Wirklichkeit im Betriebe zu rechnen ist. Insofern sich aber Webers Versuche auf Gleise von verhältnismäßig schwacher Bauart beziehen und insbesondere die auf die lotrechten Bewegungen der Schienen und Schwellen bezüglichen Feststellungen an grundsätzlichen Mängeln der Untersuchungsweise und an Unvollkommenheiten der Meßvorrichtungen leiden, bedurften die Ergebnisse derselben späterer Ergänzung und Richtigstellung. In der Tat haben seither neuere Beobachter wie Haarmann, Zimmermann und Häntzschel, Rüppell, Bräuning, Ast, Schubert u. a. auf deutschen Eisenbahnen, Brière, Michel, Coüard auf französischen Bahnen, Flamache und Huberti auf den belgischen Staatsbahnen, Stecewicz und Wasiutynski auf russischen Bahnen[74]) mit wesentlich vollkommeneren Apparaten Messungen durchgeführt, die neue wertvolle Aufschlüsse über die Art und Größe der Lageveränderungen des Gleises im Betriebe, insbesondere hinsichtlich des Maßes der Zusammendrückbarkeit der Bettung, der Senkungen und Biegungen der Schwellen, der Verdrehungen, Verschiebungen und Durchbiegungen der Schienen und des Verhaltens der Laschenverbindungen sowie hinsichtlich der Beanspruchungen ergaben.

In anderer Weise suchte Dudley die wirklichen Beanspruchungen der Schienen zu ermitteln und zwar durch unmittelbare Messung der durch die Belastung bewirkten

---

[73]) Weber, Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise, Weimar 1869.

[74]) Brière, Versuche auf der französ. Orléans-Bahn über das Kanten der Schienen. Revue générale des chem. de fer, Paris 1883; Michel, Studien über die Stabilität des Eisenbahnoberbaues, ebenda 1884 u. 1885; Coüard, Experimentelle Untersuchungen über die Stabilitätsbedingungen des Stahlschienenoberbaues, ebenda 1887, 1888, 1889; Flamache u. Huberti, Versuche über die Stabilität des Oberbaues; Haarmann, Über den Wert der verschiedenen Oberbaukonstruktionen, Berlin 1881 und Glasers Annalen, Band XI, 1882; Zimmermann u. Häntzschel, Das Verhalten der Gleisbettung in statischer Beziehung nach den Versuchen der Reichseisenbahnen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1888 u. 1889; Rüppell, Centralbl. d. Bauverw. 1891; Bräuning, Die Bewegungen der Eisenbahnschienen und deren Verbindung mit den Holzschwellen; die Veränderungen in der Lage und Form des Eisenbahngestänges, Zeitschr. f. Bauwesen 1892 u. 1896; die Lagerung der Schienen auf kiefernen Schwellen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899; der Kies als Gleisbettung, Zeitschr. f. Bauwesen 1904; Ast, Österr. Eisenb.-Zeit. 1894; Bericht zur Frage I d. internat. Eisenb.-Kongr. zu London 1895, und zur Frage II d. internat. Eisenb.-Kongr. zu Paris 1900; Stecewicz, Abhandlungen im Journal des Ministeriums der Verkehrsanstalten 1892 und Organ des Vereins deutscher Ingenieure 1895; Wasiutynski, Messung der Durchbiegungen der Gleise unter dem fahrenden Zuge, Verhandlungen d. internat. Eisenb.-Kongr. November 1898; desgleichen Beobachtungen über die elastischen Formänderungen des Eisenbahngleises, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, Ergänzungsheft.

Dehnungen mittels eines am Schienenfuße angebrachten Anstrengungsmessers (Strematograph)[75].

In jüngster Zeit machte Hönigsberg den Vorschlag, die zwischen Rad und Schiene auftretenden Kräfte durch »Fließbilder« zu messen, womit die auf der Oberfläche von Metallen bei Überschreitung bestimmter Beanspruchungen beobachteten Liniennetze bezeichnet werden[76].

b) Lotrechte und wagerechte Bewegungen des Gleises im Betriebe. — Die Messung der lotrechten und der wagerechten Bewegungen des Gleises erfolgte bei den genannten Versuchen zumeist mittels eines ungleicharmigen Fühlhebels, dessen Drehpunkt auf einem in der Nähe der Beobachtungsstelle in den Bahnkörper eingerammten Pfahl, einem gemauerten Sockel oder auf einem in geringer Entfernung vom Gleise aufgebauten Eisengestelle ruht und dessen kürzerer Arm mit der Schiene oder Schwelle in Fühlung erhalten wird, während der längere Arm einen Schreibstift trägt, der auf einem durch ein Uhrwerk zur Abwicklung gebrachten Papierstreifen die Hebelbewegungen aufzeichnet. Solcher Apparate bedienten sich Haarmann, Rüppell, Häntzschel, Flamache u. a.

Häntzschel benutzte bei den ersten im Jahre 1877 durchgeführten Versuchen ein mit Wasser gefülltes Knierohr, an dessen wagerechtem Schenkel sich ein die Schienenbewegungen aufnehmender Tauchkolben befand und dessen lotrechter Schenkel ein Wasserstandsglas mit Teilung trug, welches die Ablesung von Senkungen bis auf etwa 0,1 mm dadurch ermöglichte, daß der Querschnitt des letzteren nur $^1/_{10}$ von dem des Tauchkolbens betrug. Versuche mit größeren Fahrgeschwindigkeiten ergaben jedoch ein die Beobachtungen unsicher machendes Emporschnellen im Standrohre, weshalb bei den im Jahre 1888 angestellten Versuchen ein Hebelapparat mit Schreibstift in Verwendung kam.

Coüard bediente sich eines sehr sinnreichen Apparates, welcher der Hauptsache nach aus zwei runden Metallgehäusen besteht, die mit Kautschukhäuten überspannt und durch einen Kautschukschlauch verbunden sind. Die Haut des einen Gehäuses trägt einen gegen Schiene oder Schwelle gestemmten Taster, dessen Bewegungen durch die dadurch verdichtete Luft auf die Haut des zweiten Gehäuses und von dieser auf einen Hebel übertragen werden, der dieselben auf ein rauchgeschwärztes Papier in weißen Strichen aufzeichnet. Die Gleichmäßigkeit der Bewegungen sicherte ein elektrischer Chronograph.

Alle diese Apparate müssen aber in geringer Entfernung vom Gleise entweder auf Pfählen befestigt oder auf Gerüsten aufgestellt werden, welche die Bewegungen der Bettung und des Untergrundes teilweise mitmachen und dadurch die ermittelten Werte der Formveränderungen in einem nicht genau zu beziffernden Maße beeinflussen. Häntzschel stellte bei einem in 50 cm Abstand von der Schiene eingerammten Pfahl beim langsamen Vorbeifahren einer Lokomotive eine Senkung von 0,5 mm fest, welche bei schneller Fahrt bis zu 0,75 mm stieg. Durch Asts Beobachtungen sind Einsenkungen des Pflockes bis 2 mm festgestellt. Zugleich veranlassen die Stoß- und Schlagwirkungen der Fahrzeuge schnellende Bewegungen der Hebelapparate, die neue Unsicherheit in die Aufzeichnungen bringen.

---

[75] Congrès international des chemins de fer, Paris 1900, Question I, Exposé Nr. 2 par Dudley. Compte rendu général, Bruxelles 1901.

[76] Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1904.

Ast, welcher in seinem auf dem vierten internationalen Eisenbahnkongresse zu St. Petersburg über die »Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Materiale« erstatteten Berichte (Brüssel 1892) die vorangeführten Beobachtungen einer kritischen Besprechung unterzieht und dieselben benutzt, um in geistvoller Weise daraus die Größe der auf das betreffende Gleis wirkenden lotrechten Gesamtkräfte und der aus den Stoßwirkungen folgenden Inanspruchnahme abzuleiten, hat deshalb in jüngster Zeit versucht, die Bewegungen des Gleises unter dem Einflusse der darüber rollenden Fahrzeuge im Wege photographischer Aufnahmen festzuhalten und dadurch die Beobachtung von den vorangeführten Einflüssen unabhängig zu stellen. Die Ergebnisse der bisherigen Versuche sind vielversprechend für die weitere Ausbildung dieser Beobachtungsart[77]).

Ast berichtet hierüber: »Bei der Verwaltung der Kaiser Ferdinands-Nordbahn wurde behufs Durchführung solcher Versuche über die anzuwendenden Methoden und Hilfsmittel beraten und erkannt, daß es kaum ein anderes bezw. besseres Mittel gibt, die bei Anwendung großer Geschwindigkeiten und so starker Druckwirkungen entstehenden Phänomene am Gleise genau zu beobachten und festzuhalten, als die Dienste der Photographie in Anspruch zu nehmen. Die in dieser Hinsicht ins Werk gesetzten Bemühungen sind zurzeit allerdings nicht weiter gediehen, als eine dem Zweck entsprechende Konstruktion und Anordnung der Versuchsapparate zu entwerfen und herzustellen. Es würde den Rahmen dieses Referates überschreiten, eine genaue Beschreibung der Hilfsmittel dieser Versuche und die seither gewonnenen Ergebnisse mitzuteilen, — es soll vielmehr nur die Anregung gegeben sein, die Verwaltungen auf diesen hier eingeschlagenen Weg für die Durchführung entsprechender Versuche zu weisen. Um aber über die Treue und Vollständigkeit der bezüglichen Versuche eine Idee zu geben, können wir uns nicht versagen, einige bei Aufnahme der Bewegungen der Schienenenden an der Stoßverbindung erhaltene Bilder vorzuführen (siehe Tafel II, Abb. 1 bis 6), ohne indes in eine meritorische Behandlung der gewonnenen Ergebnisse einzugehen[78]).

Die meisten Schwierigkeiten haben sich ergeben, für den Apparat eine vibrationsfreie Aufstellung zu sichern. Dieser Zweck wurde auf zweierlei Art zu erreichen gesucht und beide Male mit gleich zufriedenstellendem Erfolge. Bei der einen Versuchsstelle wurde ein Pfeiler 9 m tief gesenkt und mit Filzzwischenlagen vollkommen freistehend aufgemauert; bei der anderen Versuchsstelle wurde ein kräftiges Holzgerüst hergestellt, welches von vier Pfählen getragen wird. Um die Pfähle dem Einflusse der Erschütterungen tunlichst zu entziehen, wurden sie in tiefe Brunnen gestellt. Dieses Fundament dient zur Aufstellung der photographischen Camera.

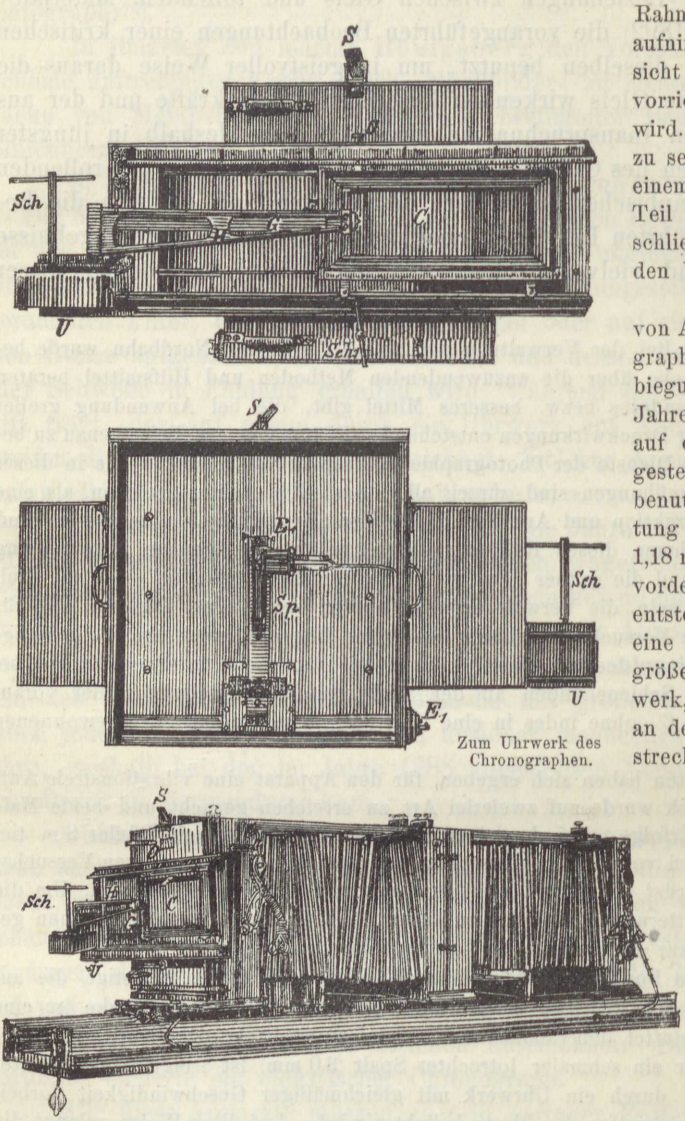
An den zu beobachtenden Punkten werden glänzend polierte Schneiden befestigt, die auf der lichtempfindlichen Platte ein scharfes Bild zu erzeugen geeignet sind. Am Pflocke ist eine Millimeterteilung befestigt, die gestattet, den Einsenkungsmaßstab zu ermitteln. Die lichtempfindliche Platte ist aber verdeckt, und nur ein schmaler lotrechter Spalt (3,0 mm) ist freigelassen. Hinter diesem Schlitze wird die Platte durch ein Uhrwerk mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorbeigezogen, so daß immer ein neuer Streifen der Platte belichtet wird. Auf diese Weise gelangt die jeweilige Höhenlage der Marken in Form eines stetigen Linienzuges zur Darstellung. Im Wesen erfolgt also die Aufzeichnung ganz ähnlich, wie bei den bisher verwendeten Hebelvorrichtungen, nur mit dem Unterschiede, daß an Stelle des Hebels der Lichtstrahl, und an Stelle des Papierstreifens die lichtempfindliche Platte tritt. Um die Bewegungen in vergrößertem Maßstabe zu erhalten, mußte der Apparat ziemlich große Abmessungen erhalten. Die verwendeten Platten haben die Größe 13 × 36 cm.«

---

77) S. Wiener photographische Blätter 1894; Österr. Eisenb.-Zeit. 1894, Nr. 26; Internat. Eisenb.-Kongr. z. London 1895, Bericht z. Frage I.

78) Die in den Abbildungen vorgeführten Schaulinien zeigen das Verhalten des Schienenstoßes bei schwebender und bei fester Anordnung, mit und ohne Laschen, und die in Abb. 3 und 6 schraffierten Flächen veranschaulichen die Wirkung der Laschenverbindung, welche sich hiernach bei schwebender Stoßverbindung wesentlich größer als bei festem Stoße darstellt und eine dementsprechend erhöhte Inanspruchnahme der Laschen veranlaßt.

In der nachstehenden Abbildung 10 ist zu unterst die Kamera mit ihrem Zubehör dargestellt. Oben sieht man in der Vorderansicht deutlich das Uhrwerk, sowie den beweglichen Rahmen C, der die empfindliche Platte aufnimmt. In der rückwärtigen Ansicht erkennt man, wie die Verschubvorrichtung mit der Kamera verbunden wird. Auch ist der Elektromagnet E_1 zu sehen, welcher in Abhängigkeit von einem selbständigen Uhrwerke einen Teil des Spaltes abwechselnd verschließt und öffnet, und so die Sekunden bzw. die Geschwindigkeit angibt.



Zum Uhrwerk des Chronographen.

Abb. 10.

Wasiutynski hat das zuerst von Ast angewandte Verfahren photographischer Aufnahmen der Gleisdurchbiegungen weiter ausgebildet und im Jahre 1897 eingehende Beobachtungen auf der Warschau-Wiener Bahn angestellt. Bei der von Wasiutynski benutzten photographischen Vorrichtung diente als Dunkelkammer ein 1,18 m langes Fernrohr, durch dessen vordere Linse ein verkleinertes Bild entsteht, das durch ein Mikroskop auf eine Bildhaut in entsprechender Vergrößerung übertragen wird. Ein Uhrwerk, das seinen Lauf mit Hilfe zweier an den Enden der beobachteten Gleisstrecke angebrachten Stromschlüsse durch elektrische Auslösung selbsttätig beginnt und beendet, bewirkt die Abwickelung der Bildhaut. Aus dem bekannten Abstand dieser Stromschlüsse und dem auf der Bildhaut durch ein Zeitwerk verzeichneten Sekundenmaßstab läßt sich die Geschwindigkeit des Zuges, wie auch die Stellung jedes Rades in bezug auf den beobachteten Punkt ermitteln. In den zu beobachtenden Gleispunkten wurden Kugelspiegel aus poliertem Stahle angebracht, die bei mangelndem Sonnenlichte elektrisch beleuchtet wurden. Die Anordnung dieser Kugelspiegel war derart getroffen, daß gleichzeitig in einem Punkte die lotrechten Bewegungen und die Verdrehung der Schiene, sowie die wagerechten Bewegungen der letzteren beobachtet werden konnten. Diese Meßvorrichtung war auf vier, in offenen von der Außenschiene des Gleises 4,25 m entfernten Baugruben aufgebauten Pfeilern derart gelagert, daß die Verschiebung der Fernrohre auf eine Länge von 14 m entlang des Gleises und damit die Beobachtung einer Schienenlänge von 12 m nebst den benachbarten Teilen der angrenzenden Schienen ermöglicht war. Das beobachtete Gleis lag auf einem etwa 1,5 m hohen, alten Damme. Unsere Abbildung 11 zeigt die Stellung der Meßvorrichtung für gleichzeitige Beobachtung der Bewegungen in lotrechtem und wagerechtem Sinne. Die von Wasiutynski mit großer Sorgfalt und Sachkenntnis durchgeführten Beobachtungen verdienen besondere Beachtung und sind schon in den beiden vorhergehenden Kapiteln nach Verdienst gewürdigt.

Was nun die Ergebnisse der vorgenannten Beobachtungen und Versuche be-

trifft, so beschränken wir uns hier auf die nachfolgende Mitteilung der festgestellten Größtmaße der Formveränderungen des Gleises und einiger der für die Unterhaltung desselben wichtigen Schlußfolgerungen.

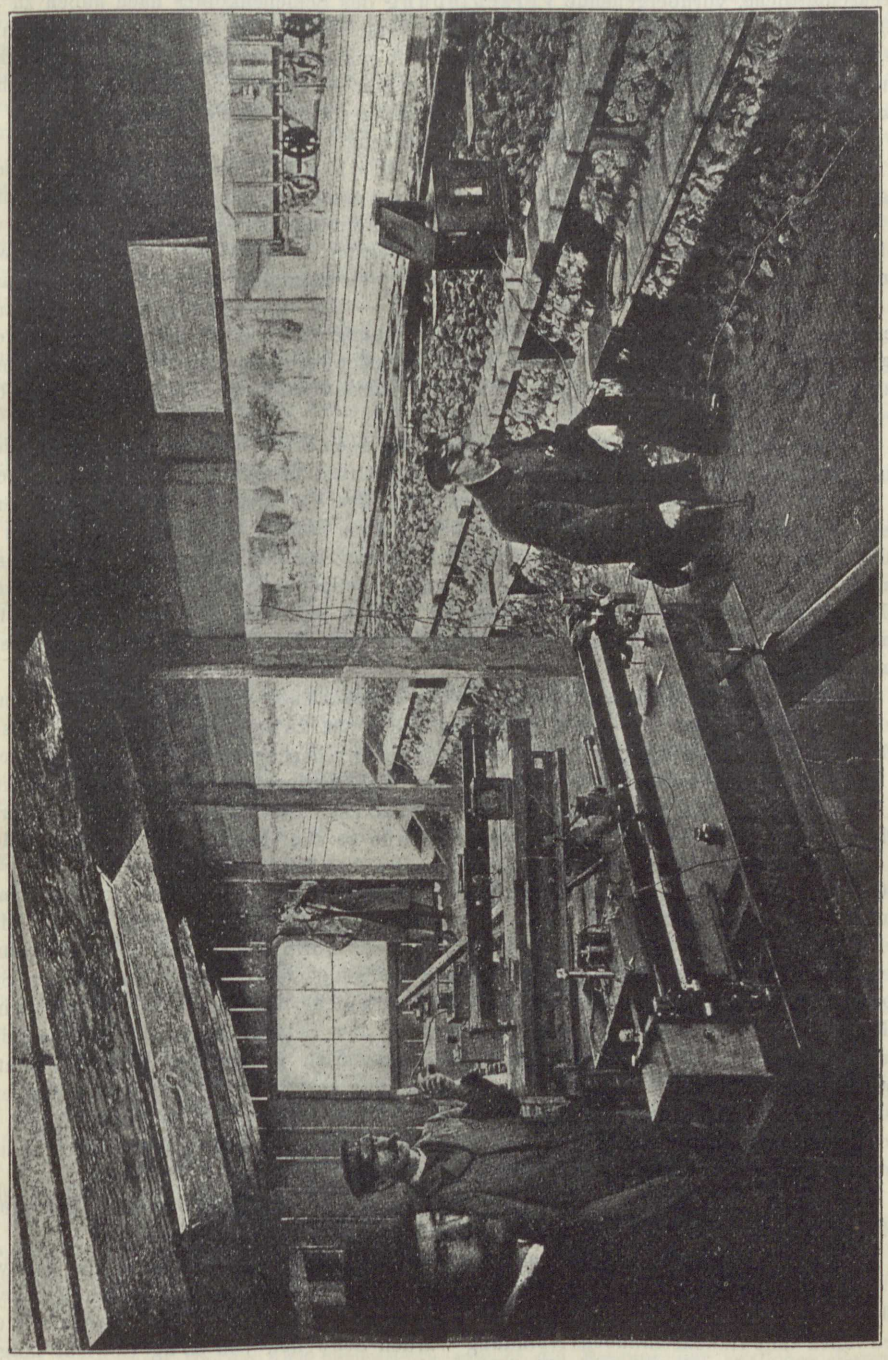


Abb. 11.

Webers an gut unterhaltenen Gleisen angestellte Versuche ergaben unter den Einwirkungen einer 28 t schweren Lokomotive mit 5,5 t größter Radbelastung in Schienenmitte — zwischen zwei

Mittelschwellen — eine durchschnittliche Gesamteindrückung von 5,8 mm, hiervon 1,3 mm Eindrückung der Schwellen in die Bettung, 3,2 mm Zusammendrückung der Kiefernschwellen, 1,3 mm Durchbiegung der Schienen.

Hinsichtlich der seitlichen Bewegungen ergab sich als Mittel einer Reihe von Beobachtungen die durchschnittliche, vorübergehende Verschiebung des Schienenkopfes nach außen zu 3,5 mm, nach innen zu 2,7 mm und als durchschnittliche Verschiebung des Schienenfußes nach außen 2,5 mm, nach innen 1,7 mm. Das Meßverfahren Webers — wobei der Beobachtungspfahl dicht vor dem Schwellenkopfe in die Bettung eingetrieben war — ergab hinsichtlichtlich der Schwelleneinsenkungen im allgemeinen zu kleine Werte. Auch gestatten Webers Versuche nicht die genaue Feststellung der augenblicklichen Formänderung.

Einige Klarheit in die elastischen und bleibenden Formänderungen, welche die Bettung durch die Eindrückung der Schwellen erleidet, ist erst durch die erwähnten von Häntzschel in den Jahren 1877 und 1888 auf den Reichseisenbahnen durchgeführten Versuche gebracht worden, welch letztere die Erforschung des Verhaltens der Bettung in statischer Beziehung bezweckten. Bei denselben wurde die Größe der Bettungsziffer — welche angibt, mit wieviel Kilogramm eine Fläche von 1 qcm bei 1 cm Senkung gedrückt wird — für verschiedenartige Bettung zu $c = 3$ bis 8 ermittelt, die vorübergehende und bleibende Senkung von Gleisen auf neuer und alter Kiesbettung in verschiedener Mächtigkeit und auf verschiedenwertigem Untergrunde festgestellt und die Schwellendurchbiegung ermittelt. Diese Versuche wurden auf Lang- und Querschwellen-Oberbau durchgeführt.

Ein Langschwellengleis mit neuer Bettung auf noch nicht befahrenem Untergrunde ergab je nach Mächtigkeit der Bettung und Art des Untergrundes bleibende Senkungen der Schienenmitten von 2,1 bis 37,6 mm, wobei auf die Elastizität des Untergrundes 40 bis 90 v. H. entfallen. Die bleibende Senkung von im Betriebe befindlichen alten Gleisen wurde mit 1,45 mm bis 8,2 mm beobachtet, letzteres Maß bei Kiesbettung auf 7 m hohem Damme. Die Beobachtungen lassen erkennen, daß die bleibende Senkung alter im Betriebe befindlicher Gleise ebenfalls hauptsächlich vom Untergrunde abhängig ist. Kiesbettung auf Felsen gibt eine dreimal geringere bleibende Senkung, als Kiesbettung auf leichtem Lehmboden, und eine etwa 13mal geringere als Kiesbettung auf 7 m hohem Damme.

Die untersuchten Querschwellengleise hatten Stahlschienen von 9 m Länge mit einem Trägheitsmomente von 1050 cm^4 und teils Eichenschwellen von 14×26 cm Querschnitt, teils Eisenschwellen des Elsaß-Lothringischen und des Haarmannschen Querschnittes. Die Holzschwellen waren 2,5 m, die Eisenschwellen 2,4 bis 2,7 m lang. Die mittlere elastische Schwellensenkung betrug 0,11 bis 0,28 cm, die größte Senkung 0,2 bis 0,46 cm. Die Durchbiegungslinie einer Mittelschwelle unter der Mittelachse einer Lokomotive wurde an fünf Punkten, den beiden Enden, den beiden Schienenauflagepunkten und der Schwellenmitte, bestimmt. Eine Gegenüberstellung der ermittelten wirklichen elastischen Linie mit der auf theoretischem Wege unter der Annahme einer gleichmäßigen Stopfung ermittelten ergibt, daß insbesondere die Durchbiegung in der Mitte eine geringere, die Aufbiegung der Enden eine stärkere ist, worin sich der Einfluß einer ungleichmäßigen Stopfung erkennen läßt, da die stärkere Aufbiegung der Enden auf eine stärkere Stopfung derselben hindeutet, wie sie bei der üblichen Art des Stopfens tatsächlich herbeigeführt wird. Die Schwellen stützen sich vorwiegend auf die außerhalb der Schiene liegenden Bettungsteile. Bei zu kurzen und schwachen Querschwellen findet bekanntlich ein rasches Losrütteln statt. Die Untersuchung derartiger Schwellenenden ergab, daß stets anstatt einer Aufwärtsbiegung eine Abwärtsbiegung stattfindet, daß also in diesem Falle die Mitte der Schwelle mehr zum Tragen kommt. Beobachtungen von Querschwellen-Oberbau auf neuer Bettung und frischem Untergrunde haben zwar stattgefunden, aber zu sicheren Ergebnissen nicht geführt.

Haarmanns Versuche bezweckten hauptsächlich, die Überlegenheit und die größere Widerstandsfähigkeit ganz eisernen Oberbaues gegenüber den Holzschwellen darzutun.

Rüppells Versuche auf der linksrheinischen Bahn haben insbesondere den Nachweis geliefert, daß bei Oberbau von Holzquerschwellen die Schienen sich von den mittleren unbelasteten Schwellen abheben, indem die Schwellen in der Bettung liegen bleiben. Bei Oberbau mit eisernen Querschwellen und Hakenschraubenverbindung wurden Schwellen von 35 kg Gewicht mitgehoben, während Schwellen von 60 kg eine ruhige, feste Gleislage ergaben.

Brières Versuche bezogen sich vorwiegend auf das Kanten der Breitfußschienen und die Größe der Seitenstöße.

Michels Versuche haben wesentlich den Widerstand der Oberbaumaterialien zum Gegenstande.

Coüards Versuche bezweckten die Ermittlung der Schwellensenkungen, der lotrechten und wagerechten Durchbiegungen und der Drehbewegungen der Schienen eines Gleises der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn. Das Versuchsgleis hatte Stahlschienen von 5 m und 10 m Länge und 39 kg Gewicht für 1 m, welche teils ohne, teils mit Unterlagsplatten mittels Schwellenschrauben auf Eichenschwellen befestigt waren, wobei letztere in einer größten Entfernung von 90 cm die Schienen stützten. Das Gleis wurde mit Lokomotiven von 6,3 t größtem Raddruck befahren. Die Bewegungen der Schienen und Schwellen wurden mit den früher beschriebenen Apparaten gemessen. Die wesentlichsten Schlüsse, welche Coüard aus den Versuchsergebnissen ableitet, sind die folgenden:

1. Die Senkung der Schwelle ist am größten unter der Einwirkung der ersten Achse jedes Fahrzeuges und bleibt annähernd die gleiche bis nach Vorübergang der letzten Achse desselben Fahrzeuges. Dann hebt sich die Schwelle wieder und zwar um so mehr, je größer der Abstand der benachbarten Fahrzeuge ist.

2. Der Raddruck der ersten Achse verteilt sich nach vorn auf eine um so größere Anzahl der Schwellen, je steifer und je länger die Schiene ist; die Beanspruchung des Gleises ist in der Mitte der Schiene geringer, als an den Enden derselben. Die größte Beanspruchung der Schienen und der Schwellen ist daher in der Nähe des Stoßes. Bei den beobachteten Schienen tritt eine lotrechte Bewegung — nach aufwärts und nach abwärts — ein, wenn das Fahrzeug sich noch auf der vorhergehenden Schiene befindet.

3. Die Senkung der Schwelle vergrößert sich bei wachsender Belastung. Sind die beiden einander gegenüberliegenden Schienenstränge nicht genau in derselben Höhe, so wächst für den tieferen Schienenstrang die Belastung, also auch die Einsenkung.

4. Solange das Gleis neu, also die volle Wirkung der Laschen vorhanden ist, erfährt die zweite Schwelle nach dem Stoße die größte Einsenkung. Bei eintretender Verminderung der Widerstandskraft der Stoßverbindung ist es die erste Schwelle nach dem Stoße, welche die größte Einsenkung erfährt.

5. Die lotrechte Bewegung der Schwellen ändert sich ein wenig mit der Zuggeschwindigkeit; häufig wird sie bei zunehmender Geschwindigkeit geringer[79]).

6. Die stärkere Einsenkung der Stöße erteilt dem Fahrzeuge eine hüpfende Bewegung, die um so größer wird, je kürzer die Schiene ist. Die Zugkraft wird bei kürzeren Schienen größer sein müssen, als bei langen Schienen.

7. Die lotrechten Bewegungen der Schwelle sind auf neuer Bettung geringer als auf alter Bettung.

8. Infolge Drehung der Breitfußschiene tritt in gerader Bahn eine Verengerung der Spur, in Krümmungen eine Spurerweiterung ein.

9. Am Stoße wird die in der Fahrrichtung vorwärts gelegene Schiene mehr gedreht als die rückwärts liegende und dieser verschiedene Grad der Drehung bringt einen Höhenunterschied der aneinanderschließenden Schienenenden hervor, infolgedessen das Rad von der ersten Schiene auf die zweite herabfällt.

10. In Krümmungen ruft die erste Achse des Zuges die größten Spurveränderungen hervor.

11. In Krümmungen vom Halbmesser = 1000 m wurde der innere Strang stärker nach außen gedreht als der äußere Strang und in gerader Bahn im allgemeinen der gegen das Seitenbankett liegende Strang am stärksten gegen die Gleisachse gedreht.

12. In Krümmungen vermindern die Unterlagsplatten die Drehung des äußeren Schienenstranges um 60 bis 90 v. H., im inneren Schienenstrange jedoch in geringerem Maße.

Die Versuche von Flamache und Huberti beziehen sich auf Gleise von 38 kg und mit 52 kg/m schweren Schienen, welche in 80 cm Entfernung durch Querschwellen gestützt sind und mit Maschinen von 6,9 t größtem Raddrucke befahren wurden. Dieselben lassen insbesondere den Einfluß der Steifigkeit des Gestänges auf die Größe der Schwellensenkungen und Schienenbiegungen erkennen.

Die Versuche Bräunings bezweckten sowohl die Messung der seitlichen Bewegungen

---

[79]) Siehe auch Blum, Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Beanspruchung des Schienenstoßes, Centralbl. d. Bauverw. 1899.

der Schienen und ihrer Wirkungen auf die Befestigungsmittel, als auch der vorübergehenden senkrechten Bewegungen im Gleise und der dauernden Änderungen in der Lage und Form des ganzen Gestänges unter der Verkehrslast. Die Beobachtungen beziehen sich auf hölzernen und eisernen Querschwellenoberbau — bis 17 Jahre alt — sowie auf Haarmannschen Langschwellenoberbau. Sie bestanden in Messungen an bestimmten Gleisstücken, die in gewissen Zeiträumen wiederholt wurden, und aus denen die Veränderungen der Gleislage in senkrechter und wagerechter Richtung abgeleitet und bildlich dargestellt sind.

Alle Gleise büßten bald nach dem Anstopfen unter den ersten Zügen einen nicht unbedeutenden Teil der gewonnenen Höhenlage ein. Hat die Bettung ihre volle Dichtigkeit wieder erreicht, so tritt in den weiteren Senkungen des Gleises eine größere Gleichmäßigkeit ein; die Senkungslinie nähert sich einer geraden Linie, deren Neigungsverhältnis die durchschnittliche Widerstandsfähigkeit der Bettung unmittelbar erkennen läßt. Das stärkste Neigungsverhältnis zeigt der Langschwellenoberbau; besser verhält sich der Oberbau mit eisernen Querschwellen. Am verschiedenartigsten ist die Einwirkung des Frostes. Wenn auch in erster Linie von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig, so ist doch nicht zu verkennen, daß unter gleichen Verhältnissen das Eisenschwellengleis durch Frost und Tauwetter mehr zu leiden hat, als das Holzschwellengleis. Bräuning erklärt dies dadurch, daß die eisernen Schwellen nach ihrer Form auf den oberen Schichten der Bettung aufruhen, welche dem Frost und der Nässe unmittelbar zugänglich sind, und durch das gute Wärmeleitungsvermögen der Eisenschwelle.

Die durchschnittliche Senkung einer Gleisstrecke nach der Überfahrt von je 1 Million Tonnen Gesamtlast — mit Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse — ermittelte Bräuning wie folgt:

Nr. der Versuchsstrecke	Oberbauart	Zeit der Beobachtung	Senkung des Gleises unter 1 Mill. Tonnen mm	Bemerkung
1	9 m lange Schiene mit 10 eisernen Querschwellen, 2,4 m lang, 52 kg schwer. Untergrund langsam durchlässig.	21./4.—3./10. 93 3./2.—16./5. 94	11,03 8,41	Abw. trocken u. naß. Trocken.
2	Desgl. nach Ersatz der eisern. Schw. durch je 11 Holzschwellen, 2,7 m lang, 26 cm breit.	16./8. 94—11./1. 95 11./4.—15./7. 95	11,62 0,6	Ziemlich naß, z. T. leichter Frost. Trocken.
3	Haarmannsche Langschwellen, Untergrund undurchlässig.	12./7.—7./9. 93 2./3.—2./5. 94	32,22 7,69	Abw. trocken u. naß. Trocken.
4	Neuer Holzschwellenoberbau, Form 6[1] an Stelle des Haarmannschen verlegt, je 12 Schwellen 2,7 m lang, 26 cm breit.	14./7. 94—17./1. 95 13./4.—17./7. 95	8,99 0,08	Ziemlich naß, z. T. leichter Frost. Trocken.
5	Holzschwellenoberbau, Form 6[b], je 11 bis 12 Schwellen, 2,5 m lang, 26 cm breit, gut durchl. Untergrund.	11./7. 94—17./1. 95 22./2.—21./8. 95	2,76 0,4	Ziemlich naß, z. T. leichter Frost. Trocken.
6	Alter Holzschwellenoberbau mit 7,5 m langen Schienen, gut durchlässiger Untergrund.	30./8. 94—16./1. 95	8,27	Ziemlich naß, z. T. leichter Frost.
7	Wie vor., jedoch mit 6,6 m langen Schienen.	30./8. 94—16./1. 95	7,1	Wie vor.

Die schädliche Einwirkung des Frostes hört dort auf, wo die durchlässige Unterbettung eine Stärke von 0,7 m erreicht. (In den Wintern 1893 bis 1895 betrug die Frosttiefe etwa 0,6 m.)

Die seitliche Verschiebung bewegte sich in engen Grenzen — etwa 2 cm.

Die Untersuchungen über die Formänderungen der Schienen bestätigten die bekannte

Wahrnehmung, daß fast alle Schienen mit der Zeit eine gewölbte Form annehmen, bald stetig gekrümmt, bald wellenförmig.

Regelmäßige starke Stoßsenkungen wurden namentlich in Langschwellengleisen gefunden.

Auch über die Einzelbewegungen der Gleisteile, insbesondere das Abheben der Schienen von den Schwellen und über die Zusammendrückbarkeit der Schwellen machte Bräuning bemerkenswerte Beobachtungen.

Die Beobachtungen Wasiutynskis erstreckten sich auf die Zusammendrückbarkeit des Unterbaues und der Bettung zum Zwecke der Ermittelung der Bettungsziffer, auf die Einbiegung der Schwellen behufs Feststellung der elastischen Linie der belasteten Schwellen, auf die Senkung sämtlicher Schwellen eines Schienenpaares, um den Einfluß des Schienenquerschnittes, der Verteilung und Länge der Schwellen auf die Schwellensenkung zu untersuchen, endlich auf die Senkung der Schienen auf jeder Schwelle und am Stoße. Untersucht wurden vier verschiedene Oberbauanordnungen mit 31,45 kg/m bzw. 38 kg/m schweren Schienen von 6 m bzw. 12 m Länge, auf Schwellen von 2,44 m bzw. 2,7 m Länge liegend, mit verschiedenen Schwellenentfernungen, Stoßteilungen und Stoßbauarten. Wasiutynski kam im wesentlichen zu folgenden Feststellungen:

Elastische Senkungen des Unterbaues und im gewachsenen Boden durch die Züge wurden noch in einer Tiefe von 7,4 m unter Schienenoberkante und in einer Entfernung von 5 m von der Gleisachse wahrgenommen.

Die Bettungsziffer ist abhängig nicht nur von der Bettung, sondern auch — wie schon Häntzschel gefunden hatte — von den Eigenschaften des Unterbaues, des gewachsenen Bodens und von den Massen der Oberbauteile. Die ermittelten Bettungsziffern schwanken zwischen 4,6 bis 9 kg/m². (Vgl. das I. Kapitel, Seite 7, Fußnote 10.)

In Übereinstimmung mit Zimmermanns Theorie ergab sich die Schwelleneinsenkung (y) bei kurzen Schwellen an den Köpfen (y_l) stärker, als in der Mitte und als an den Schienenauflagen (y_r). Für den Oberbau mit 38 kg/m schweren Schienen, 0,50 m Stoßteilung und 0,80 m Mittenabstand der Schwellen verhielten sich die Einsenkungen wie folgt:

	y_o	y_r	y_l
bei 2,44 m langen Schwellen	69	100	124
» 2,70 » » »	75	100	68.

Die Senkung der Schwellen verändert sich gleichartig von der Schienenmitte gegen die Schienenenden zu, und war, bei einem Mittenabstand der Stoßschwellen von 50 cm, dem der übrigen Schwellen von 75 bis 85 cm, unter dem mittleren Teile der Schiene größer als in der Nähe des Stoßes. Bei Fahrgeschwindigkeiten bis zu 64 km/St. war ein Einfluß der Geschwindigkeit auf die Schwellensenkung für 1 t des Raddruckes nicht bemerkbar.

Der größte Schienendruck auf die Schwelle betrug bei Lokomotivachsständen gleich dem zwei- bis dreifachen des Mittenabstandes der Mittelschwellen 0,39 bis 0,44 des Raddruckes.

Die Länge der Senkungen der Schienen und Schwellen erstreckt sich auf 1,93 bis 2,49 m Entfernung vom Vorderrade.

Der Unterschied der größten Schienensenkung zwischen den Schwellen und über den Schwellen ist gering und nicht größer als 0,3 mm.

Die dynamische Wirkung der Lokomotivräder bewirkte keine größere Senkung der Schwellen, als die statische Belastung, verursachte aber eine Vergrößerung des Biegungspfeiles der Schiene zwischen zwei benachbarten Schwellen um etwa 50 v. H. Infolge dynamischer Wirkung der Tenderräder steigert sich die Schwellensenkung gegenüber ruhender Belastung um etwa 50 v. H., der Biegungspfeil der Schiene zwischen den Schwellen um 100 v. H. Soll die dynamische Wirkung der Tenderräder auf das Gleis nicht größer sein, als die der Lokomotivräder, dann ist die Achsbelastung des Tenders in betriebsfähigem Zustande kleiner als $^2/_3$ der größten Achsbelastung der Lokomotive zu halten.

Die Drehung der Schiene um ihre Längsachse wurde in gerader Strecke beobachtet und ein Drehungswinkel bis 46′ festgestellt. Die wagerechte Verschiebung der Schiene betrug bis 1,7 mm nach außen und bis 0,5 mm nach innen. Die auf beide Weisen verursachte Querbewegung des Schienenkopfes war nicht größer als 1,75 mm.

Bei allen beobachteten Schienenstößen vermochten die Laschen die unabhängigen Bewegungen beider Schienenenden zwar zu beschränken, aber nicht zu verhindern. Beim Übergange des Rades muß das Rad von dem abgebenden Schienenende auf das aufnehmende hinaufspringen.

Das Verhältnis der Schienensenkung im Stoße und über den Schwellen hängt nicht nur vom Mittenabstande der Stoßschwellen, sondern auch von der Gesamtanordnung des Oberbaues ab.

Wasiutynskis Beobachtungen ergaben demnach gegenüber den früheren Ermittelungen höhere Werte der Bettungsziffer, sodann eine Bestätigung der Unzweckmäßigkeit kurzer Schwellen und einen erheblich günstigeren Einfluß einer kräftigeren Schiene auf längeren Schwellen auf die Gleissteifigkeit.

Eine Bestätigung dieser Feststellungen durch weitere Versuche bleibt abzuwarten.

c) Längsverschiebungen des Gleises. (Wandern.) Die vorangeführten Beobachtungen am Gleis beziehen sich wesentlich auf die lotrechten, seitlichen und Drehwirkungen der bewegten Fahrzeuge. Das Gleis erfährt durch letztere aber auch Verschiebungen in der Längsrichtung, welche sich im sogenannten Wandern oder Kriechen der Schienen und der Unterlagen äußern.

Die Ursachen dieser Erscheinung sind bereits im II. Kapitel dieses Bandes erörtert worden. Wir haben sie hauptsächlich in der schiebenden Wirkung der Räder und in den Stößen zu suchen, welche diese beim Übersetzen der Lücke am Schienenstoß auf die vorliegende Schiene ausüben und die unterstützt werden durch die starken Erschütterungen, denen das Gleis hierbei ausgesetzt ist. (Siehe auch Johnsons Erklärung für das Wandern der Schienen, Zentralblatt der Bauverwaltung, Berlin 1888.) Diese Wirkungen werden durch das Bremsen der Räder verstärkt. Eine Gesetzmäßigkeit derselben ist jedoch schwer festzustellen, weil das Ergebnis dieser Einwirkungen ein anderes ist, je nachdem die Lokomotiv- und Wagenräder gleichzeitig gebremst werden oder nicht, und je nachdem in der einen oder anderen Fahrrichtung mehr oder weniger beladene Züge in kleinerer oder größerer Zahl verkehren. Auch wird die Größe und Art der Schienenwanderung beeinflußt durch die Bauart und Unterhaltung des Gleises, insbesondere durch die gegenseitige Höhenlage der beiden Schienenstränge in den Bahnkrümmungen, sowie durch die Bauart der Lokomotiven, insofern diese mehr oder weniger ungleiche Wirkungen auf die beiden Schienenstränge des Gleises ausüben [80]).

---

80) Nach den Beobachtungen von Coüard (Rev. génér. d. chem. d. fer 1896) und von Engerth (Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1897) wandert in doppelgleisigen Strecken der linke Schienenstrang mehr als der rechte — in der Richtung der Fahrt —, eine Erscheinung, die von Spitz (ebenda) aus der Bau- und Gangart der auf den betreffenden Bahnen verkehrenden Lokomotiven — mit rechtem Voreilen der Kurbeln — erklärt wird, indem durch das Voreilen der Antriebskraft an den rechten Triebrädern der Lokomotive beständig eine Stoßwirkung auf den linken Schienenstrang ausgeübt werde, die wohl durch das Nacheilen des Antriebes an den linken Triebrädern vermindert, niemals aber aufgehoben werden könne. Diese Ansicht wird unterstützt durch die Beobachtung, daß bei Lokomotiven dieser Bauart vielfach auch die Abnutzung an den Laufflächen der Radreifen der linken Räder größer als die der rechten ist, und daß Rahmenbrüche auf der linken Seite der Lokomotiven häufiger als auf der rechten beobachtet werden. Folgerichtig müßten auch die Schienenbrüche im linken Strange häufiger auftreten. Eine Bestätigung durch weitere Beobachtungen bleibt abzuwarten. J. Engerth berichtete über diese Frage auch dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Paris 1900 (Verhandlungen 1901). v. Borries (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897) suchte zwar die aus der Wirkungsweise der Lokomotive abgeleitete Erklärung der Beobachtungen Engerths zu widerlegen, stellte jedoch gleichfalls fest, daß sich häufig an den linken Triebradreifen dreiachsiger Lokomotiven mit voreilenden rechten Kurbeln Abflachungen vorfinden, die auf ein Gleiten dieses Rades zurückzuführen sind und ein Zurückbleiben des rechten Schienenstranges bewirken können. Busse hat neuerdings durch seine Untersuchungen »über die Abnützung der Lokomotiv-Triebradreifen« (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1904) nachgewiesen, daß das linke Triebrad der Lokomotive bei rechts voreilender Kurbel eine Abplattung erhält, welche verursache, daß das abgedrehte linke Rad mit kleinerem Umfang läuft, also die Neigung hat nach links abzuweichen, was jedoch durch die Spurkränze der vorderen und hinteren Räder verhindert wird, wobei entweder der rechte Schienenstrang nach rückwärts oder der linke nach vorwärts geschoben wird. Hingegen bezweifelt van Bogaert in seinem dem internationalen

Die Schienenwanderung tritt in zwei Formen auf, als Parallelwanderung beider Schienenstränge und als Voreilen eines der beiden Schienenstränge. Erklärungen für die letztere Erscheinung haben in neuerer Zeit insbesondere Coüard, Engerth, Spitz, v. Borries, Busse u. a. zu geben versucht. Der Pariser internationale Eisenbahnkongreß hat auf Grund des Berichtes von Engerth festgestellt, daß »das Voreilen eines Stranges gegen den anderen zum mindesten teilweise durch gewisse störende Bewegungen der Maschinen erklärt werden kann«.

Im allgemeinen findet das Wandern der Gleise in der Fahrrichtung der Züge statt und macht sich besonders auf zweigleisigen Bahnen, bei denen jedes Gleis nur in einer Richtung befahren wird, und auf diesen wieder am meisten in Bremsstrecken bemerkbar, und zwar durch Abweichungen der gegenüberliegenden Schienenstöße von der ursprünglichen winkelrechten Lage, durch Verschiebungen und Verdrehungen der Schwellen, Lockerungen und Abnutzungen der Verbindungs- und Befestigungsmittel, Pressungen und Auflockerungen der Bettung. Diese Wirkungen zusammen haben eine unordentliche und lockere Gesamtlage solcher Gleise zur Folge und führen Spurveränderungen, unzulässige Schwellenentfernungen und erhöhte Inanspruchnahme aller Teile des Gleises herbei.

Über die Art und Größe der bei Gleisen neuerer Bauart vorkommenden Längsverschiebungen liegen bemerkenswerte Mitteilungen vor in dem bereits erwähnten, von Ast dem Londoner internationalen Eisenbahnkongresse 1895 zur Frage I erstatteten Berichte. Die Kaiser Ferdinands-Nordbahn teilt daselbst folgende Beobachtungen mit: »Das Wandern erfolgt in zweigleisiger Bahn in der Regel in der Fahrrichtung; in eingleisiger Bahn nach jener Richtung, in welcher eine größere Zahl und schwerer beladene Züge verkehren; dabei ist es gleichgültig, ob bergwärts oder talwärts. In Krümmungen wandert die innere Schiene zumeist in der Fahrrichtung oder in der Richtung des stärkeren Verkehrs. Die verhältnismäßig größte der bisher beobachteten Wanderbewegungen beträgt 260 mm (nach einem Jahre), das überhaupt größte Maß 420 mm (nach 7 Jahren). Die größte beobachtete Verschiebung des einen Stoßes gegen den zugehörigen anderen beträgt 310 mm (nach 6 Jahren). Manchmal traten Spurerweiterungen (bis zu 7 mm) beim Wandern auf. Der Schienenstoß verblieb beim Wandern zumeist in seiner regelmäßigen Lage zu den beiden Stoßschwellen. In den meisten Fällen wurden infolge des Wanderns Hakennägel abgebogen und auch abgebrochen, und Winkellaschen ausgerissen, zumeist auf eisernen Brücken. In vielen Fällen wurde ein Aufsteigen des unteren Ansatzes der Winkellaschen auf die Unterlagsplatte, und zwar auf zweigleisigen Strecken in starkem Gefälle beobachtet. In der Regel sind auch die den Stoßschwellen benachbarten Schwellen aus ihrer vorgeschriebenen Lage gebracht worden. Auf in Schlägelschotter gebetteten Schwellen wandern die Schienen weniger, als auf solchen in Fluß- oder Grubenschotter.«

Die österreichische Südbahn erwähnt insbesondere das heftige Wandern in starken Gefällen.

Die ägyptischen Eisenbahnen berichten, daß der rechte Strang etwa zwei- bis fünfmal schneller als der linke wandert, und zwar ohne Unterschied der Neigungen und Richtungen des Gleises. Vermutlich ist der stärker wandernde Strang der bankett-

Eisenbahnkongresse zu Washington (1905) zur Frage II erstatteten Berichte neuerlich die Richtigkeit der Erklärung des Voreilens eines Schienenstranges aus der Bau- und Gangart der Lokomotiven und verweist auf widersprechende neuere Beobachtungen, nach welchen bald der rechte, bald der linke Schienenstrang voreilt.

seitige einer doppelgleisigen Strecke, was mit anderweitigen Erfahrungen stimmen würde. Bei einem Gleis auf gußeisernen Einzelunterlagen wurde auf den ägyptischen Bahnen eine Längsbewegung von 22 mm im Monat festgestellt, die auf wenig widerstandsfähiger Unterlage bis 50 mm stieg. Bei Breitfußschienen hat man dort ein Wandern bis zu 35 mm in einem Monat beobachtet; bei einer neuen Oberbauart haben Winkellaschen das Wandern durch fünf Monate aufgehalten[81]).

Beispiele ganz außergewöhnlichen Wanderns der Schienen sind im Engineer 1885 I und in der Railroad Gazette 1885 erwähnt. Es wird dort mitgeteilt, daß auf nordamerikanischen Bahnen die nördliche Schiene eines Gleises in einem Jahre 447 mm bergauf, die südliche desselben Gleises 1,549 m bergab gewandert ist, und daß ferner auf der östlichen Mississippi-Rampe bei St. Louis in einer Steigung von 1 : 66 bei 760 m Länge in einem Tage ein Wandern um 30 cm vorkam.

Daß auf zweigleisigen Strecken mit größeren Neigungen die üblichen Mittel (wie Winkellaschen mit Einklinkungen usw.) nicht genügen, um das Wandern der Schienen dauernd zu verhüten, geht aus der von der Straßburger Technikerversammlung 1893 auf Grund der Berichte der Verwaltungen des Vereins deutscher Eisenbahnen zur Frage I Nr. 7 gezogenen Schlußfolgerung hervor, wonach außer den üblichen Mitteln noch Verbindungen der dem Schienenstoße zunächst gelegenen Schwellen mit den Nachbarschwellen in gewissen, für jede Strecke durch Versuche festzustellenden Abständen — sei es, daß hierzu Flacheisen, Winkeleisen oder Langhölzer verwendet werden — empfohlen werden.

Die Technikerversammlung im Jahre 1903 stellte fest, daß sich im allgemeinen das Bestreben bemerkbar macht, die Mittelschwellen durch ausgedehntere Verwendung von Stemmlaschen oder Stemmwinkeln und besonderen Verschraubungen als Mittel gegen das Wandern heranzuziehen.

Auch in den von Post, Bogaert und Dudley dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Washington (1905) zur Frage II erstatteten Berichten wird das gleiche Bestreben festgestellt, und der Kongreß gelangte zu der Schlußfolgerung, daß »das Wandern der Schienen erfolgreich verhütet werden kann«.

Das Verhindern des Wanderns und das rechtzeitige Zurückschieben gewanderter Schienen in die vorschriftsmäßige Lage gehört hiernach zu den wichtigsten Aufgaben der Gleisunterhaltung.

d) Einfluß der Witterung auf das Verhalten des Oberbaues. Die im vorstehenden gekennzeichneten Einwirkungen der bewegten Fahrzeuge auf das Gleis erfahren oftmals eine wesentliche Steigerung durch die Witterungsverhältnisse, wobei Frost und Hitze, Feuchtigkeit und Trockenheit, bald einzeln, bald vereint wirkend auftreten und sich am schädlichsten bei raschem Wechsel erweisen.

Feuchtigkeit und Frost beeinflussen vor allem den Untergrund und die Bettung, also das Fundament des Gleises. Durchnässung des Untergrundes benimmt demselben seine Widerstandsfähigkeit, veranlaßt Umbildungen des Planums, ein Ausweichen des Bettungsstoffes und schafft eine unsichere Gleislage. Insbesondere bei tonigem und lettigem Untergrunde treten Aufquellungen zwischen den Schwellen und

[81]) In dem von Engerth dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Paris 1900 zur Frage X erstatteten Berichte findet sich bezüglich des auf den ägyptischen Bahnen beobachteten Voreilens des rechten Schienenstranges die ergänzende Mitteilung, daß auf diesen Bahnen vorwiegend Lokomotiven mit links voreilender Kurbel verkehren, während auf Bahnen, wo durchweg Maschinen mit rechter Voreilung verkehren, zumeist ein rascheres Wandern der linken Schiene beobachtet wurde.

das sogenannte »Schlammpumpen« oder »Suppen« des Gleises auf, welche Übelstände nur durch Ausgrabungen des Tons auf eine Tiefe gleich der lichten Schwellenentfernung und Ersatz desselben — bis zur Bettungsunterfläche — durch Sand und durch gründliche Entwässerung des Planums behoben werden können[82]).

Frost bewirkt selbst bei gut entwässertem Untergrunde infolge Gefrierens der Bettung eine Verminderung der Elastizität des Gleises, die Stöße der Betriebsmittel werden stärker empfunden, es fährt sich hart und dies vermehrt den Anlaß zu Schienenbrüchen. Ist aber der Wasserabzug ungenügend, dann bewirkt das Gefrieren des Wassers unter den Schwellen jene Hebungen des Gleises, die unter der Bezeichnung Frostbeulen oder Frosthebungen bekannt sind, welche die Schienen samt den Schwellen stellenweise aufheben, von den Nachbarschwellen aber abheben und ein Hohlliegen derselben auf größere Entfernungen veranlassen. Diese Wirkungen steigern sich, wenn Frost und Tauwetter in rascher Folge wechseln, und treten insbesondere dort auf, wo verunreinigter Bettungsstoff die Bildung von Schlammsäcken begünstigt, welche sich beim Frieren nach oben ausdehnen; oder in quelligen Toneinschnitten, in welchen bei Tauwetter die in den oberen Schichten erweichte Bettung leicht durch die im festgefrorenen tonigen Untergrunde bestehende Spannung gehoben wird. Als Folgen dieser Störungen im Gefüge und in der Höhenlage des Gleises ergeben sich erhöhte Einwirkungen der Bewegung der Fahrzeuge und erhöhte Inanspruchnahme der Schienen, die im Vereine mit der unter den Frostwirkungen eintretenden Änderung der Festigkeitseigenschaften des Schienenstahles das Eintreten von Schienenbrüchen begünstigen. Auch Schwellenbrüche sind als Folge von Frost und plötzlichem Tauwetter bei dünnen Schwellen aus weichem Holze beobachtet worden[83]).

Feuchtigkeit und Wärme beeinflussen insbesondere die Fäulnis der Holzschwellen und die Rostbildung an den Eisenteilen des Gleises. Feuchtigkeit befördert — bei Luftzutritt — das Wachstum jener Gärungspilze, welche die Zersetzung des Holzes bewirken. Die Beseitigung des Wassers, die Austrocknung des Holzes und die Tränkung desselben mit fäulniswidrigen Stoffen haben sich als wirksamste Mittel zur Erhaltung der Holzschwellen erwiesen.

Die Rostbildung tritt an befahrenen Gleisen in offener Strecke hauptsächlich nur an den nicht freiliegenden Stellen der Eisenteile auf, also insbesondere an den Auflageflächen der eisernen Schwellen und den Anlageflächen der Laschen, Platten, Schrauben und Nägel. Die chemische Zusammensetzung des Eisens und des Bettungsstoffes sind dabei nicht ohne Einfluß. So konnte ein auffallend rasches Verrosten von Unterlagsplatten bei der Kaiser Ferdinands-Nordbahn nur auf den großen Siliciumgehalt des Eisens zurückgeführt werden. Ferner ist auf der London and North-Western-Eisenbahn bei stählernen Querschwellen, welche in einer schwefelhaltigen Bettung aus Schlacke und Asche lagen, ein starkes Rosten der Schwellen eingetreten. An den Schienen werden die Rostbildungen schon in ihren ersten Anfängen zerstört durch die beim Befahren derselben auftretenden Erschütterungen. Aus gleichem Grunde sind auch eiserne Schwellen durch Rostbildungen wenig gefährdet, wenn sie in durchlässiger, gut entwässerter Bettung lagern.

Hingegen erleiden die Schienen und die übrigen Eisenbestandteile des Gleises

---

82) Siehe Schubert, Die Umbildungen des Planums und der Bettung eines Eisenbahngleises, Centralbl. d. Bauverw. 1889 und Zeitschr. f. Bauwesen 1889.

83) Siehe Froitzheim, Die Kleinbahnen mit besonderer Berücksichtigung der mecklenburgisch-pommerschen Schmalspurbahnen.

oft rasche Zerstörung durch Rostbildung in langen Tunneln, da hier zu den Einwirkungen der Feuchtigkeit jene der Rauchgase der Lokomotive kommen, welche insbesondere durch die in ihnen enthaltene schweflige und Schwefelsäure die Rostbildung in hohem Grade zu befördern scheinen. Länge und Lüftung, Gebirgsart und Feuchtigkeitsgrad eines Tunnels sind hierbei von Einfluß auf die Verrostung. Diese ist bei Holzquerschwellenoberbau geringer als bei Eisenschwellenoberbau. Insbesondere bei eisernem Langschwellenoberbau sind rasch fortschreitende Rostzerstörungen festgestellt worden. Frederking teilt im Centralblatt der Bauverwaltung für 1889 mit, daß bei 13jährigem Langschwellenoberbau Rostzerstörungen bis zu 8 mm zwischen Schwelle und Schiene vorgefunden wurden. Ähnliche Erscheinungen wurden an anderen Orten beobachtet. Im Kaiser-Wilhelm-Tunnel bei Cochem auf der Moseleisenbahn (Länge 4,2 km) mußten Langschwellengleise wegen Schwächung durch Rost schon nach 5 bis 6 Jahren erneuert werden. Vergleichende Beobachtungen auf der Gotthardbahn ergaben, daß bei den befahrenen Schienen in den langen Tunneln der Gewichtsverlust etwa 10mal so groß, die Rostschicht etwa 37mal so dick und der Höhenverlust 6- bis 7mal so groß sind, als bei den Schienen in den offenen Strecken. Alle Berührungsflächen von Schiene, Laschen, Schwellen, Bolzen, Unterlagsplatten und Nägeln sind durch Rost zerfressen, häufige Schienen- und Laschenbrüche dadurch herbeigeführt worden. Näheres hierüber enthalten die unten angegebenen Quellen[84]).

Über die Einwirkung des Meerwassers auf Stahlschienen berichtet Post[85]), daß infolge Rostbildung die Gewichtsverminderung einer Stahlschiene, die dem Meerwasser mehr oder weniger ausgesetzt war, in einem Jahre ungefähr 1 kg, d. i. rund 4 v. H. des Neugewichtes betrug. Die Fußbreite der Schiene hatte nach 10 Jahren um 27 mm abgenommen.

Wärmewirkungen machen sich insbesondere im Schienengestänge bemerklich. Unter der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen übersteigt die Wärme der Schienen die Luftwärme bedeutend — nach Rüppell kann für Mitteldeutschland als

---

[84]) Über das Verhalten des Oberbaues der Gotthardbahn, Deutsche Bauzeit. 1889; Das Rosten des Oberbaues in Tunnelstrecken, Zeitschr. f. Bauwesen 1889; Über das Verhalten des Oberbaues in längeren Tunneln usw., Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890 und 1891. Über die eingehend durchgeführten Beobachtungen des Verhaltens des Oberbaues im Arlbergtunnel (größte Schienenabnutzung

nach	1	$5^1/_2$	$6^1/_4$	9 Betriebsjahren
	2,45	8,3	9,7	12,5 mm)

siehe: Die Betriebsergebnisse d. Arlbergbahn, Wien 1896; auch Staně, Theorie u. Praxis d. Eisenbahngleises, Wien 1893; Blum, Fragen d. Bahnunterhaltung, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1891 und Schutz des Oberbaues gegen Rosten in Tunneln, Centralbl. d. Bauverw. 1895; Bericht der Direktion der süditalienischen Eisenbahnen im »Giorn. del Genio Civile« Bd. XXXVI, über Schienenzerstörungen durch Rostbildung und dadurch herbeigeführte Häufung von Schienenbrüchen in Tunneln; Bericht über die Beantwortungen der Frage I Nr. 18 auf der Technikerversammlung zu Straßburg 1893, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. Im letzteren Berichte sind auch die bisher zur Verhütung des starken Rostens der Schienen, Schwellen und des Kleineisenzeuges in langen Tunneln angewandten Mittel (verschiedenartige Anstriche, Kalksteinfeinschlag) angeführt, von denen jedoch keines einen dauernden Erfolg ergab. Dagegen wird empfohlen, die Lokomotiven bei längeren Tunneln mit Koks zu heizen. Die Technikerversammlung zu Triest 1903 (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XIII. Ergänz.-Bd. 1903) empfiehlt für den Oberbau in Tunneln die Verwendung eines möglichst starken Schienenquerschnittes, lange Schienen, engliegende getränkte Schwellen mit Unterlagsplatte auf jeder Schwelle. Eiserne Schwellen bewährten sich nicht. Auch die, außer Teer und Kalkmilch verwendeten verschiedenen Schutzmittel haben das Rosten nicht verhindert. Wasserdurchlässiges Bettungsmaterial aus Kleinschlag bei guter Entwässerung des Tunnels vermindert das Rosten. Kalksteinschotter ist vorteilhaft.

[85]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1901.

höchste Schienenwärme + 60° C angenommen werden — und muß den Schienen durch Freihaltung der Wärmelücken an den Stößen die Möglichkeit zur Ausdehnung gegeben sein. Ist die Wärmelücke zu gering bemessen oder infolge des Wanderns der Schienen zu sehr verringert, dann treten Stauchungen der Schienen auf, diese biegen sich wellenförmig und lockern die Befestigungsmittel oder krümmen sich in seitlicher Richtung. Die Größe der bei Wärmewechsel in den Schienen auftretenden Spannungen offenbarte sich bei den in neuerer Zeit auf amerikanischen Bahnen durchgeführten Versuchen der elektrischen Schweißung der Schienenstöße, indem bei eingetretenem Sinken der Wärme 15 bis 20 v. H. der Schienen an den Schweißstellen wieder rissen.

Starke Winde sind insbesondere in Strecken, in welchen Sandbettung vorhanden ist, von schädlichem Einfluß, da sie den Bettungsstoff fortführen und die Staubentwicklung befördern. Die Schutzmaßnahmen dagegen sind bereits im § 3 (S. 290) erwähnt.

Von den Wirkungen des Magnetismus und der Elektrizität auf das Gleis verdienen insbesondere die letzteren Beachtung, da sie die Rostbildung unter Umständen fördern.

Als unmittelbare Folgen der geschilderten Einwirkungen des Betriebes und der Witterungseinflüsse ergeben sich Abnutzungen aller Bestandteile des Gleises, deren Art und Größe im folgenden noch näher erörtert wird.

e. Veränderungen der Bettung. — Die Veränderungen, welche die Bettung während des Betriebes erleidet, bestehen in allmählicher Zerkleinerung und Zerstäubung, sowie in fortschreitender Verunreinigung derselben durch Vermengung mit dem Untergrund und mit Pflanzenstoffen. Die Zerkleinerung und Zerstäubung werden zuerst herbeigeführt beim Unterstopfen durch die Schläge der Stopfhacke, dann durch die Pressungen und Erschütterungen, welche die Bettung im Betriebe erleidet, endlich durch die Einflüsse der Witterung, insbesondere durch Regen und Frost. Bei Durchnässung solch zermalmten und mit der Erde des Untergrundes vermengten Bettungsstoffes verschlämmt sich dieser, wird dadurch undurchlässig und zur Abführung von Niederschlags- und Tauwasser unfähig. Wird eine derartig verunreinigte Bettung im Gleise belassen und zum Unterstopfen weiter verwendet, so saugt das aufgelockerte Material neues Niederschlags- oder Schmelzwasser schwammartig auf und es tritt das schon erwähnte Suppen oder Schlammpumpen auf, d. h. die Schwelle liegt hohl und pumpt beim Befahren des Gleises den Schlamm auf die Bettungsoberfläche. Gleissenkungen — unter Umständen Frosthebungen — sind die Folgen dieser Bettungsveränderungen und machen die Beseitigung oder Reinigung derartigen Bettungsstoffes und gründliche Entwässerung notwendig. Da die Bildung von Pflanzenstoffen fördernd auf die Zerstörung der Bettung und der Schwellen wirkt, muß dieselbe verhindert werden, und ist daher die Beseitigung aller Gewächse mit Rechen und Grashaue geboten.

Über die Vorgänge unter der Schwelle und den Einfluß, welchen die Schwellenabmessungen und der Schwellenabstand, sowie die Beschaffenheit des Bettungsstoffes und Untergrundes auf die Zerstörung des Bettungskörpers ausüben, geben außer den theoretischen Untersuchungen Zimmermanns und den vorgeführten Beobachtungen über die Schwellensenkungen im Betriebe, insbesondere lehrreichen Aufschluß die bereits erwähnten Versuche und Beobachtungen Schuberts[86]), aus denen wir den

[86]) Siehe die Mitteilungen von Schubert im Centralbl. d. Bauverw. 1889 u. 1903, Zeitschr. für Bauwesen 1889 und Organ 1891, 1897 u. 1899; ferner auch die von Bräuning in der Zeitschr. für Bauwesen 1904.

Längenschnitt eines etwa 0,6 m hohen, aus blauweißem Tone geschütteten Auftrages vorführen, wie er sich etwa $2^1/_2$ Jahre nach Inbetriebnahme der Bahn darstellt. Unter den Schwellen zeigen sich Mulden bis 0,35 m Tiefe, während zwischen den Schwellen in der Bettung Tonrippen in die Höhe gequollen sind (Abb. 12).

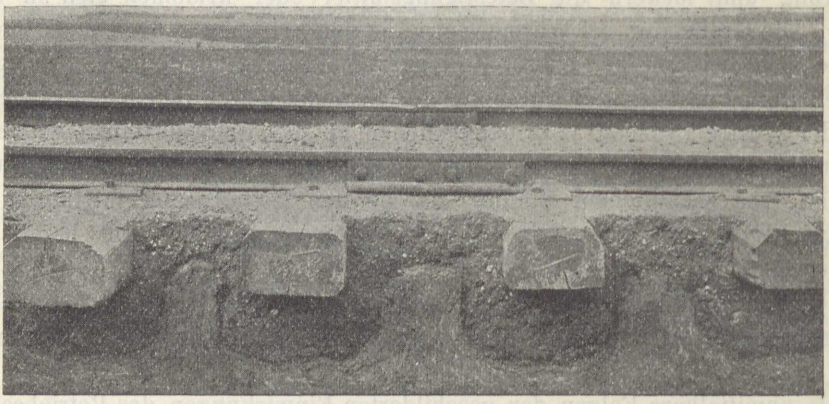


Abb. 12.

§ 8. Abnutzung und Dauer der Schwellen. — a. Holzschwellen. — Die Schwellen erleiden unter den mechanischen Einwirkungen des Eisenbahnbetriebes, sowie durch die Einflüsse der Witterung Veränderungen und Zerstörungen, welche die Widerstandsfähigkeit des Gleises höchst ungünstig beeinflussen können, und werden dadurch zu einer Hauptsorge der Bahnunterhaltung. Insbesondere treten solche zerstörende Wirkungen verhältnismäßig rasch bei der im Querschwellenoberbau zurzeit noch am meisten angewandten Holzschwelle ein, so daß die Widerstandsfähigkeit eines Holzschwellenoberbaues nur kurze Zeit auf der anfänglichen Höhe zu erhalten ist und mit zunehmendem Schwellenverderb rasch sinkt, während gleichzeitig die Unterhaltungskosten des Gleises durch den wachsenden Aufwand für die Instandhaltung der Gleislage und die Einbringung von Ersatzschwellen immer größere werden.

Die Bedeutung dieser Unterhaltungskosten im Haushalte der Eisenbahnen sei durch nachfolgende Betrachtung gekennzeichnet, welche wir der eingehenden Studie entnehmen, die W. Ast neuestens der Schwelle und ihrem Lager widmete[87]). Ast schreibt hierüber: »Wird die Länge des auf der Erde verzweigten Eisenbahnnetzes auf etwa 700000 km geschätzt, so kann die Länge der Gleise, unter Berücksichtigung von Doppelgleisen und Bahnhofsgleisen, mit rund 900000 km angenommen und die Anzahl der verlegten Schwellen auf rund eine Milliarde veranschlagt werden. Unter der Annahme, daß jede Schwelle für Regulierung und Erhaltung einen jährlichen Betrag von 20 Kreuzer (0,33 M.) erfordert, wird man keinen großen Irrtum begehen, wenn man das Jahreserfordernis für Regulierung und Erneuerung der Schwellen aller Bahnen auf mindestens 200 Millionen Gulden (330 Millionen M.) schätzt.«

Als nächste Wirkung des Eisenbahnbetriebes erleiden die Schwellen mechanische Angriffe, welche, durch die Druck- und Stoßwirkungen der Fahrzeuge veranlaßt, Formveränderungen und Beanspruchungen herbeiführen, denen eine Schwelle

87) Abhandlung über die Eisenbahnquerschwelle und ihr Lager von W. Ast, Bulletin d. l. Commission internat. du Congrès d. chem. d. fer, Brüssel 1895.

zwar um so mehr und um so dauernder Widerstand entgegensetzen wird, je mehr ihre Form und Abmessungen, sowie die Güte des Holzes und auch die Gesamtanordnung des Gleises den im Kap. I und II des II. Bandes dieses Handbuches dargelegten statischen und konstruktiven Bedingungen entspricht, denen aber im Verein mit den unabwendbaren Witterungseinflüssen jede Holzschwelle allmählich erliegt. Der Schienendruck bewirkt als nächste Folge eine Zusammenpressung der Holzfaser, welche — insbesondere bei unmittelbarem Aufliegen der Schiene auf der Schwelle — nach Aufhören des Druckes ein Hohlliegen der Schiene und als weitere Folge ein rasch wechselndes Auf- und Niedergehen derselben veranlaßt. Damit erfahren nun nicht nur die hämmernden Wirkungen des Schienenfußes auf die Auflageflächen eine wesentliche Steigerung, sondern es werden beim Aufschnellen der Schienen auch die Befestigungsmittel mehr und mehr gelockert und wird damit die schädliche Bewegungsfreiheit der Schiene noch gefördert. Insbesondere erhöhen sich dadurch auch die Wirkungen der Seitenkräfte, welche Drehbewegungen und Verschiebungen der Schiene veranlassen und Pressungen erzeugen, deren Größe mit der Lage der Drucklinie wechselt. Im allgemeinen sind diese Pressungen an den Fußkanten der Schienen und der Unterlagsplatten am größten. Das Schienenauflager erhält dadurch eine gewölbte Form. Hierzu liegen neuere bemerkenswerte Beobachtungen vor. Näheres darüber enthalten die unten angeführten Abhandlungen[88]).

Die durch die genannten mechanischen Angriffe herbeigeführten Formen der Lagerflächen der äußeren und inneren Schienen sind in nachstehenden, dem unten genannten Aufsatze Bräunings entnommenen Abbildungen veranschaulicht.

Hieraus ist ersichtlich, daß im geraden Strange die stärksten Pressungen zwischen den beiden Fußkanten wechselten, in Krümmungen aber die Lagerfläche sich unter der inneren Schiene nach außen, unter der äußeren Schiene mehr gleichmäßig abgenutzt hatte. Die Abnutzungsform wird aber in Krümmungen wesentlich mitbeeinflußt durch das Maß der Schienenüberhöhung und der dadurch bedingten Überlastung des einen oder anderen Schienenstranges. Als weitere Wirkung der Seitenkräfte treten Verdrückungen und Verdrehungen der Befestigungsmittel ein, welche, dadurch gelockert, an Haltkraft verlieren und durch Erweiterung der Löcher die mechanische und Fäulniszerstörung der Schwelle befördern.

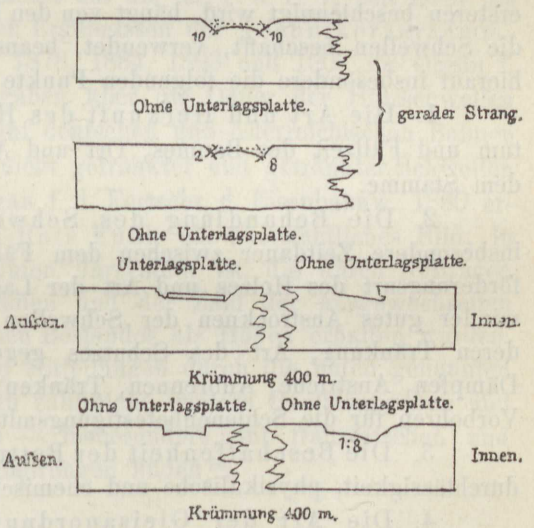


Abb. 13.

Die Wirkungen der Längskräfte äußern sich in der beim Verschieben der

[88]) Michel, Studien über die Stabilität des Eisenbahnoberbaues, Rev. génér. d. chem. d. fer, 1884, 1885; Brière, Note über das Kanten der Schienen nach den bei der Orléans-Bahn gemachten Versuchen, ebenda 1883; Bräuning, Die Bewegungen der Eisenbahnschienen und deren Verbindung mit den Holzschwellen, Zeitschr. f. Bauwesen 1892; Die Lagerung der Schienen auf kiefernen Schwellen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899.

Schienen eintretenden Reibungsarbeit, welche ein Einschleifen der Schienen in den Unterlagen oder in dem Schienenauflager bewirkt; dann in den bei Verschiebungen und Verdrehungen der Schwelle eintretenden Lockerungen der Befestigungsmittel und in den dadurch herbeigeführten Zerstörungen der Holzfaser.

Die durch alle diese mechanischen Zerstörungen der Schwelle herbeigeführten Unsicherheiten in der Spurweite und dadurch veranlaßten Abweichungen von der vorgeschriebenen Schienenneigung erfordern häufiges Umnageln der Schienen und Nacharbeiten der Schienenauflageflächen, durch welche Arbeiten das Unbrauchbarwerden der Schwellen beschleunigt wird.

Die Schwellen erleiden außer den genannten Zerstörungen an der Oberfläche auch noch Beschädigungen an den unteren Flächen, und zwar sowohl infolge der Übertragung der Druck- und Reibungswirkungen auf die Bettung, als auch durch das Unterstopfen. Diese Zerstörungen machen sich insbesondere bei Schwellen aus weichem Holze und bei sehr scharfkantigem Bettungsstoffe fühlbar[89]).

Zu diesen mechanischen Zerstörungen gesellen sich nun aber weiter die Einflüsse des Wetters, der Wärme und Feuchtigkeit, die zusammen die Fäulnis des Holzes veranlassen und dieses seiner Widerstandskraft vollends berauben. Endlich ist das Schwellenholz auch den Angriffen von Insekten ausgesetzt, welche dessen Haltbarkeit rasch vernichten können.

Ob die Holzschwellen rascher durch die mechanischen Einwirkungen oder durch die Fäulnis unbrauchbar werden und in welchem Maße die letztere durch die ersteren beschleunigt wird, hängt von den besonderen Verhältnissen ab, unter welchen die Schwellen beschafft, verwendet, beansprucht und unterhalten werden. Es sind hierauf insbesondere die folgenden Punkte von wesentlichem Einflusse:

1. Die Art und Herkunft des Holzes, also Holzgattung, Gegend, Wachstum und Fällzeit des Baumes, Ort und Art der Entnahme des Schwellenholzes aus dem Stamme.

2. Die Behandlung des Schwellenholzes vor dessen Verwendung, insbesondere Zeitdauer zwischen dem Fällen und Bearbeiten der Holzstämme, Beförderungsart des Holzes und Art der Lagerung auf den Vorratsplätzen, mehr oder minder gutes Austrocknen der Schwellen vor dem Einlegen in die Bahn oder vor deren Tränkung, Art des Schutzes gegen Fäulnis (durch Trocknen, Auslaugen, Dämpfen, Anstriche, Anbrennen, Tränken), Bearbeitung der Auflageflächen (Dexeln), Vorbohren für die Schienenbefestigungsmittel usw.

3. Die Beschaffenheit der Bettung und des Untergrundes, also Wasserdurchlässigkeit, physikalische und chemische Beschaffenheit.

4. Die Art der Gleisanordnung und der Fahrzeuge, insbesondere Schwellenabmessungen, Unterlagsplatten, Schienenbefestigung, Raddruck, Radstand.

5. Das Klima.

6. Die Anlageverhältnisse der Bahn, wie Neigungs- und Richtungsverhältnisse, Brücken, Tunnel, Hallen usw.

7. Die Verkehrsverhältnisse, insbesondere Zugzahl, Zuggeschwindigkeit, Zugbelastungen.

---

[89]) Haarmann teilt mit, daß auf amerikanischen Bahnen bei sehr starkem Verkehr, bedeutender Fahrgeschwindigkeit und großem Gewicht der Maschinen und Züge nicht nur Kastanienschwellen, sondern sogar Eichenschwellen von einem für vorzüglich erachteten Bettungsstoff an den unteren Flächen geradezu zerschnitten und zermahlen wurden, bevor sie, obwohl ungetränkt, zu faulen begannen.

Wie unter Berücksichtigung dieser mannigfaltigen Einflüsse die Holzschwelle möglichst widerstandsfähig gemacht und den mechanischen Angriffen und Fäulniswirkungen tunlichst vorgebeugt werden kann, ist bereits in den früheren Kapiteln dieses Handbuches dargelegt worden. Hier soll nur auf Grund vorliegender Erfahrungen die tatsächliche Verwendungsdauer der Holzschwellen entwickelt und erörtert werden, inwiefern die Anwendung der verschiedenen Mittel die Schwellendauer zu verlängern vermag.

Eine verläßliche Antwort hierauf vermöchte allerdings nur eine, alle vorgenannten Umstände sorgfältig berücksichtigende, auf einheitlicher Grundlage groß angelegte Statistik der Schwellenabnutzung und Schwellendauer zu geben. An einer solchen fehlt es jedoch noch immer, trotz der zahlreichen, umfangreichen und mühevollen Aufschreibungen, welche von den Bahnverwaltungen seit mehreren Jahrzehnten geführt werden. Zwar ist bei der Mannigfaltigkeit der Einflüsse eine so vollkommene Ausbildung der Schwellenstatistik kaum zu erwarten, aber da in den meisten der bisherigen Aufschreibungen auch so wesentliche Umstände, wie Herkunft des Holzes, Art der Bettung, Gleisanordnung und Verkehrsverhältnisse, nicht erkenntlich sind, so sind die Ergebnisse dieser Aufschreibungen nur als große Durchschnittswerte zu betrachten für die beiläufige Beurteilung der Schwellendauer, des Wertes der Schwellentränkung und der verschiedenen Tränkungsverfahren. Hierdurch werden auch die weiten Grenzen erklärbar, in welchen diese Angaben schwanken.

Mit diesem Vorbehalte sei hier zunächst auf die im V. d. E. V. seit mehr als drei Jahrzehnten gesammelten und nach den Ergebnissen der Technikerversammlungen in den Jahren 1865, 1868, 1874, 1878, 1884, 1893 und 1903 im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. mitgeteilten Angaben über die Dauer der Holzschwellen verwiesen. Von den bis zum Jahre 1880 auf deutschen und österreichischen Bahnen gesammelten Erfahrungen über die Dauer nicht getränkter und getränkter Schwellen verschiedener Holzarten geben die im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1880 erschienenen Mitteilungen des Geh. Reg.-Rats Funk ein übersichtliches Bild, in welchem die Schwellendauer durch Schaulinien dargestellt ist, die durch Auftragen der Jahre der Schwellendauer als Grundlinien und der Zahl der ausgewechselten Schwellen in Hundertteilen des ursprünglichen Bestandes als Höhen erhalten wurden. Weitere wertvolle Ergänzungen haben diese Mitteilungen durch die unten genannten Abhandlungen erfahren, in denen sich auch zahlreiche weitere Quellenangaben und Mitteilungen über die auf außerdeutschen — insbesondere auf französischen und amerikanischen — Bahnen gesammelten Erfahrungen finden[90]).

---

[90]) Loewe, Über die Leistungsfähigkeit des Oberbaues mit breitfüßigen Schienen und hölzernen Querschwellen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1886; Haarmann, Das Eisenbahngleis, Leipzig 1891; Coüard, Studien über die Dauer hölzerner Schwellen, Rev. génér. d. chem. d. fer, Dezbr. 1891, Juli 1893 und Mai 1893; Herzenstein, Bericht an den 6. intern. Eisenb.-Kongr. zu London 1895 über die technischen Aufzeichnungen bezüglich der Dauer der aus verschiedenen getränkten und nicht getränkten Holzgattungen erzeugten Querschwellen; Schneidt, Die Verwendung buchener Eisenbahnschwellen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1896; Die Tränkung der hölzernen Eisenbahnschwellen mit Chlorzink und mit karbolsäurehaltigem Teeröle, ebenda 1897; Dufaux, Mitteilungen über die Tränkung der Schwellen bei der französischen Ostbahn, Rev. génér. d. chem. d. fer, 1898; Herzenstein, Bericht zur Frage VIII an den intern. Eisenb.-Kongr. zu Paris 1900 über Konservierung der Hölzer; Ziffer, Konservierung von Bau- und Werkhölzern, insbesondere von Eisenbahnschwellen, Mitteilungen des Vereins für die Förderung des Lokal- und Straßenbahnwesens, Wien 1902, Nr. 3, und 1905, Nr. 1; Hausser, Kendrick und Spring, Berichte zur Frage I A und B an den internationalen Eisenbahnkongreß zu Washington 1905.

Nach diesen neueren statistischen Ergebnissen schwanken die Angaben über die mittlere Dauer der Holzschwellen im großen Durchschnitte wie folgt:

Holzart	Mittlere Dauer in Jahren	
	nicht getränkt	getränkt
Eiche	12—15	15—20 (bei Tränkung mit karbolsäurehaltigem Teeröl bis 25 Jahre).
Lärche	8—10	15—20
Kiefer	6—8	10—15 (bei derselben Tränkung bis 20 Jahre).
Tanne oder Fichte . . .	4—5	9—15
Buche	$2^1/_2$—3	10—15 (bei derselben Tränkung bis 30 Jahre).

Die nachstehende Zusammenstellung (s. S. 340) der von den Bahnverwaltungen des V. d. E. V. im Jahre 1903 mitgeteilten Erfahrungen über die Dauer von getränkten Schwellen gibt ein Bild über die Auswechslung der nach verschiedenen Verfahren getränkten Schwellen. Wir haben diese Zusammenstellung ergänzt nach dem Berichte Herzensteins (Paris 1900) durch die Angaben über die Erfahrungen der ausländischen Bahnen. Diese Mitteilungen haben in jüngster Zeit eine weitere beachtenswerte Ergänzung durch die auf dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Washington (1905) zur Frage I von M. Hausser, J. W. Kendrick und Spring erstatteten Berichte gefunden.

Im Berichte Haussers wird die Dauer der nicht getränkten Eichen- und Kiefernschwellen etwas geringer, jene der Buchenschwellen jedoch höher als in obigen Angaben beziffert, und kann nach Hausser im allgemeinen angenommen werden, daß durch die Tränkung der Schwellen deren Dauer bei Eiche etwa verdoppelt, bei Kiefer verdreifacht und bei Buche verfünffacht wird.

Die weiters mitgeteilte Zusammenstellung über die auf der Kaiser Ferdinands-Nordbahn gemachten Erfahrungen über die Dauer von getränkten Schwellen — die wir Herrn Baudirektor Ast verdanken — zeigt einerseits das allmähliche Anwachsen der Auswechslung mit zunehmender Verwendungsdauer, anderseits den Anteil, den Fäulnis und mechanische Zerstörung an dieser Auswechslung nehmen.

Die Technikerversammlung vom Jahre 1893 gelangte auf Grund der ihr vorliegenden Mitteilungen über den Erfolg der angewandten Tränkungsmittel zu nachstehender Schlußfolgerung: »Von den verschiedenen in Anwendung stehenden Mitteln zur Schwellentränkung, als Kreosot, Zinkchlorid, Zinkchlorid mit Kreosot, Quecksilbersublimat, Kupfervitriol usw., ist in den letzten Jahren von der Mehrzahl der Bahnen das Zinkchlorid, insbesondere zum Tränken von Kiefern-, Tannen-, Fichten- und Buchenschwellen, angewendet worden. Meist ist die Zeit der Anwendung der Chlorzinktränkung noch eine zu kurze, zum Teil liegen aber auch Erfahrungen auf eine längere Reihe von Jahren vor, welche auf die Zweckmäßigkeit dieses Tränkungsverfahrens schließen lassen. Gleichfalls gut hat sich die Tränkung von Buchenschwellen mit Kupfervitriol erwiesen. Aus den von mehreren Verwaltungen angegebenen Auswechslungsprozenten kann der Schluß gezogen werden, daß durch das Tränken der Schwellen, insbesondere der Kiefern- und Buchenschwellen, die Dauer wesentlich verlängert und damit ein wirtschaftlicher Erfolg erzielt wird«[91].

Die Technikerversammlung vom Jahre 1903 erörterte neuerdings die Frage der Schwellentränkung und hebt in der Schlußfolgerung zur Frage I, Nr. 3, insbesondere hervor, daß neben der

[91] Es muß statt »Kreosot«, wie die meisten Berichterstatter sagen, richtiger heißen »karbolsäurehaltiges Teeröl«. Vgl. die Abhandlung von Schneidt im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1897.

Verwendung der bereits genannten Mittel zur Schwellentränkung das Streben in den Vordergrund tritt, »durch Beimischung von karbolsäurehaltigem Teeröle die der Tränkung mit reiner Zinklauge anhaftenden Mängel zu beseitigen. Die Tränkung der Schwellen jedweder Holzgattung mit reinem, überhitztem karbolsäurehaltigem Teeröle hat sich vorzüglich bewährt; doch werden der bedeutenden Kosten wegen Mittel gesucht, um den genannten Stoff in geringerer Menge in fein verteiltem Zustande in die Holzfaser zu bringen.«

Gegen das Reißen der Buchenschwellen werden meist an der Stirnseite eingeschlagene S förmige, kräftige Klammern, sowie an beiden Enden eingezogene Schrauben mit breiten Unterlagsscheiben unter Kopf und Mutter mit gutem Erfolge angewendet.

Aus dem von Herzenstein dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Paris 1900 erstatteten Berichte geht hervor, daß von den Bahnverwaltungen, die eine Schwellentränkung ausüben, das Tränken mit karbolsäurehaltigem Teeröl (Kreosot) als das vollkommenste Verfahren angesehen wird, da es eine durchschnittliche Schwellendauer ergibt, wie folgt: Kiefer in Hauptgleisen 15 Jahre, außerdem in Nebengleisen 5 Jahre, zusammen 20 Jahre; Eiche in Hauptgleisen 18 Jahre, außerdem in Nebengleisen 7, zusammen 25 Jahre; Buche in Hauptgleisen 20, außerdem in Nebengleisen 10, zusammen 30 Jahre[92]).

Auch der internationale Eisenbahnkongreß zu Washington 1905 bestätigte in der Schlußfolgerung zur Frage I die Vorzüge des Tränkens der Schwellen mit karbolsäurehaltigem Teeröl gegenüber allen anderen Tränkungsarten.

In allen diesen statistischen Mitteilungen vermissen wir eine Bezifferung des Einflusses jener mannigfaltigen früher angeführten Umstände, die den mehr oder minder guten Erfolg der Schwellentränkung mitbestimmen. Über einige dieser Einflüsse äußerte sich die Technikerversammlung zu Stuttgart 1878 wie folgt: »Die Beschaffenheit der Bettung hat einen namhaften Einfluß. Wasserdurchlässigkeit, reine, von erdigen Bestandteilen freie, wenig verwitterbare Bettung ist für die Schwellendauer am günstigsten. In reinem, hartem Schlägelschotter halten die Schwellen sich länger als in einer feinen Sandbettung. Das Überdecken der Schwellen mit reinem Kies zur Aufhebung des unmittelbaren Einflusses der Sonnenstrahlen und des Lichtes, und zum Schutz gegen schnellen Wechsel von Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit ist für die Schwellendauer vorteilhaft. Das Austrocknen der Schwellen vor dem Einlegen derselben in die Bahn ist bei getränkten und nicht getränkten Schwellen vorteilhaft. Winterfällung gibt längere Dauer, besonders bei nicht getränkten Schwellen. Wegen des Einflusses der mechanischen Abnutzung ist der wirtschaftliche Nutzen der Schwellentränkung bei jenen Bahnen am größten, welche einen schwachen Verkehr haben und Schwellen aus weichem Holze verwenden.«

Beachtenswerte Mitteilungen enthält auch der von Herzenstein dem Eisenbahnkongresse zu London 1895 erstattete Bericht, welcher auf Grund der von 64 Verwaltungen gegebenen Beantwortung eines 74 Punkte enthaltenden Fragebogens zu nachstehenden Schlußfolgerungen gelangt:

Zeit des Holzfällens. Fast alle Verwaltungen schreiben Winterfällung vor, einige gestatten auch Herbstfällung. Der Berichterstatter meint, daß diese Bestimmung nur dem Mangel an Versuchen mit im Frühjahr oder Sommer gefällten und nachher getränkten Hölzern zuzuschreiben ist. Im Frühjahr und im Herbst ist der Saft freier und kann daher dem Holze leichter als sonst entzogen und durch fäulniswidrige Mittel ersetzt werden. Versuche hierüber seien erwünscht.

Alter des Holzes. Hierüber gehen die Angaben weit auseinander (für Fichte und Föhre 40 bis 90, für Eiche 70 bis 150, für Buche 60 bis 100 Jahre). Die russischen Staatsbahnen machten hierüber Versuche, indem sie vor vier Jahren Schwellen aus 35jährigem neben solchen aus 90jährigem Holze unter gleichen Verhältnissen verlegten, ohne daß sich bisher eine Minderwertigkeit des jungen Holzes hätte feststellen lassen.

Die Zeit zwischen dem Fällen und dem Bearbeiten des Holzes im Walde hat nach Herzensteins Meinung einen großen Einfluß auf die Schwellendauer, doch fehlen Angaben hierüber, weil die meisten Bahnen das Holz nicht im Walde, sondern auf ihren Linien übernehmen.

Beförderungsart des Holzes. Einige Verwaltungen — in Frankreich, Belgien und Italien — verbieten das Schwemmen des Holzes. Der Berichterstatter hält diese Maßregel für

92) Über das Verhalten der Schwellen in außereuropäischen Ländern s. Haarmann, Das Eisenbahngleis, 1891.

Zusammenstellung

der von den einzelnen Bahnverwaltungen mitgeteilten Erfahrungen über die Dauer von getränkten Schwellen.

Bezeichnung der Bahnverwaltung	Die Tränkung der normalen Schwellen erfolgte mit								
	Zinkchlorid			Zinkchlorid mit karbolsäurehaltigem Teeröl			karbolsäurehaltigem Teeröl (Kreosot)		
	kostet für 1 Stück ... Pfennige (die eingeklammerten Zahlen bedeuten die in Jahren ausgedrückte Verwendungsdauer)								
	Eichen, Lärchen	Kiefern, Föhren	Buchen	Eichen, Lärchen	Kiefern, Föhren	Buchen	Eichen	Kiefern Föhren	Buchen
Badische Staats-Eisenbahnen	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bayerische Staats-Eisenbahnen	—	30 (11)	35 (7)	—	80	80	noch keine Erfahrung	—	140 (gut)
Reichs-Eisenbahnen in Elsaß-Lothringen	—	—	—	—	88	—	110 (25)	—	255
Lübeck-Büchener Eisenbahn	—	45 (16—30)	—	—	—	—	—	—	—
Oldenburgische Eisenbahnen	—	noch keine Erfahrung	—	—	noch keine Erfahrung	—	—	—	—
Pfälzische Eisenbahnen	(20)	(15)	—	—	—	—	—	—	—
Königl. preuß. Eisenb.-Dir. Altona	—	—	—	—	gut bewährt	—	—	—	—
» » » » Berlin	—	—	—	—	85 (15—16)	69	120	—	247
» » » » Breslau	—	—	—	—	in Verwendung	—	in Verwendung	—	—
» » » » Bromberg	—	—	—	120	85	—	—	—	—
» » » » Cassel	—	—	—	—	49	43	75	—	195
» » » » Cöln	—	—	—	—	85	—	120	—	247
» » » » Danzig	—	—	—	—	77	77	86	—	—
» » » » Elberfeld	—	—	—	—	85	—	120	—	247
» » » » Erfurt	—	—	—	—	in Verwendung	in Verwendung	in Verwendung	—	in Verwendung
» » » » Frankfurt a. M.	—	nicht bewährt	nicht bewährt	—	85 (14—18)	—	120 (20)	—	247

» » » » Kattowitz . .	—	—	—	—	80	—	120	—	—
» » » » Mainz	—	—	—	—	—	Ergebnisse ungünstig	—	—	—
» » » » Münster in W.	—	noch keine ausreichenden Ergebnisse vorliegend	—	—	noch keine ausreichenden Ergebnisse vorliegend	—	noch keine ausreichenden Ergebnisse vorliegend	—	—
» » » » St. Johann-Saarbrücken	—	—	—	—	noch keine ausreichenden Ergebnisse vorliegend	—	noch keine ausreichenden Ergebnisse vorliegend	—	—
» » » » Stettin	—	—	—	67 (20)	83 (15)	in Verwendung	120	233	—
Königl. Sächsische Staats-Eisenbahnen. .	—	—	—	—	72 (17—20)	—	—	—	—
Großh. General-Direktion Schwerin . .	50	65	70	65	80	85	—	—	—
Württembergische Staats-Eisenbahnen . .	—	47,5 (10–20)	—	—	88	—	—	—	versuchsweise
Außig-Teplitzer Eisenbahn-Gesellschaft .	—	—	—	in Verwendung mit gutem Erfolge	in Verwendung mit gutem Erfolge	—	—	—	—
Kaiser Ferdinands-Nordbahn	44 (17)	54 (17)	Versuche nicht abgeschloss.	Versuche nicht abgeschloss.	—	—	—	—	Versuche nicht abgeschlossen
Kaschau-Oderberg. Eisenbahn-Gesellschaft	Jede Tränkung der Schwellen 1895 aufgegeben, da die Erfolge allgemein ungünstig waren.								
K. k. Eisenbahn-Ministerium	33	42	42	62	72	74	—	—	—
Österreichische Nordwestbahn und Süd Norddeutsche Verbindungsbahn	46 (17)	—	—	—	58	—	—	—	—
K. k. priv. Südbahn-Gesellschaft	Versuche nicht abgeschlossen		80	—	—	96	—	—	—
Ungarische Staatsbahnen	—	—	38 (7)	—	—	92	—	—	versuchsweise
Holländische Eisenbahn-Gesellschaft . . .	–	25	—	—	—	—	—	—	—
Niederländische Eisenbahn-Gesellschaft .	–	—	—	—	86	—	—	—	150

Bezeichnung der Bahnverwaltung	Die Tränkung der normalen Schwellen erfolgte mit								
	Zinkchlorid			Zinkchlorid mit karbolsäurehaltigem Teeröl			karbolsäurehaltigem Teeröl (Kreosot)		
	kostet für 1 Stück ... Pfennige (die eingeklammerten Zahlen bedeuten die in Jahren ausgedrückte Verwendungsdauer)								
	Eichen, Lärchen	Kiefern, Föhren	Buchen	Eichen, Lärchen	Kiefern, Föhren	Buchen	Eichen	Kiefern, Föhren	Buchen
Belgien.									
Staatsbahnen	—	—	—	—	—	—	48 (13)	—	—
Lüttich-Maestricht	—	—	—	—	—	—	(10—15)	—	—
Maeseyck	—	—	—	—	—	—	—	(15)	—
Dänemark.									
Staatsbahnen: Seeland	—	74 (12)	—	—	—	—	—	—	—
Spanien.									
Madrid-Saragossa-Alicante	—	—	—	—	—	—	—	(10—12)	—
Vereinigte Staaten von Nord-Amerika.									
Südliche Pacificbahn	—	—	—	—	—	—	—	(12)	—
Frankreich.									
Staatsbahnen	—	n. Blythe (15)	—	—	—	—	—	—	—
Paris-Lyon-Mittelmeer	—	—	—	—	—	—	—	—	(14)
» Orléans	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Französische Ostbahn	—	—	—	—	—	—	113 (25—30)	—	170 (25—30)
» Nordbahn	n. Blythe 42 (30)	—	—	—	—	—	—	—	—
» Südbahn	—	—	—	—	—	—	81 (15—20)	146 (15)	—
» Westbahn	—	—	—	—	—	—	77 (15—20)	142 (15—20)	158 (20—25)

Großbritannien und Irland.									
Belfast und Nord	—	—	—	—	—	—	—	(15)	—
Furness-Eisenbahn	—	—	—	—	—	—	—	(15)	—
Große Ostbahn	—	—	—	—	—	—	—	(15)	—
Cheshire-Eisenbahn	—	—	—	—	—	—	—	(10—20)	—
London- und Nordwestbahn	—	—	—	—	—	—	—	(16—20)	—
» » Südwestbahn	—	—	—	—	—	—	—	(12)	—
» Tilbury- und Southendbahn	—	—	—	—	—	—	—	50 (25—30)	—
Nord-London-Bahn	—	—	—	—	—	—	—	(15)	—
Südwestbahn	—	—	—	—	—	—	—	(8—9)	—
Taff Vale-Bahn	—	—	—	—	—	—	—	126 (15)	—
Manchester, Sheffield- u. Lincolnshirebahn	—	—	—	—	—	—	—	(15—20)	—
Lancashire- und Yorkshirebahn	—	—	—	—	—	—	—	(10—20)	—
Metropolitan-Districtbahn	—	—	—	—	—	—	—	(20)	—
Nordostbahn	—	—	—	—	—	—	—	67 (15—18)	—
Rhymneybahn	—	—	—	—	—	—	—	(15)	—
Große Nordbahn (Irland)	—	—	—	—	—	—	—	(16)	—
Kap-Eisenbahnen (Afrika)	—	—	—	—	—	—	—	(10)	—
Luxemburg.									
Prinz Heinrichbahn	—	—	—	—	—	—	—	—	76 (16—20)
Portugal.									
Königl. portugiesische Eisenbahnen	—	—	—	—	—	—	—	108 (8)	—
Rußland.									
Staatsbahnen: Katharina	—	50 (8)	—	—	—	—	—	—	—
» Charkow-Nicolaiew	—	(7)	—	—	—	—	—	—	—
Rjäsan-Uralskbahn	—	(10)	—	—	—	—	—	—	—

Anmerkung. Für das nur noch selten angewendete Verfahren der Tränkung mit Quecksilbersublimat geben die bayerischen Staatsbahnen den Preis für eine Kiefernschwelle zu 55 Pfg., die Dauer zu 13 Jahren an. Für die Tränkung mit Kupfervitriol stellen sich die entsprechenden Zahlen bei dieser Verwaltung auf 45 Pfg. und 12 Jahre, bei der französischen Südbahn auf 40 Pfg. und 10 Jahre. Für Buchenschwellen erfordert diese Tränkungsart nach der Angabe der österreichischen Südbahngesellschaft 32 Pfg., wobei sich nach 10 Jahren 50 v. H. Ausschuß ergaben. Die österreichische Nordwestbahn tränkt kieferne Schwellen mit Teeröldämpfen; sie gibt die Kosten zu 60 Pfg., die Schwellendauer zu 13 Jahren an.

Zusammen

über den Bestand und die allmähliche Auswechslung der auf der

Anmerkung. Die Ziffern, die sich auf die Auswechslung infolge Fäulnis beziehen, erscheinen in dieser Zusammen zweimal unterstrichen. — Die nicht

Laufende Nr.	Bahnlinie in welche die Schwellen verlegt wurden	Gleise	Holzart der Schwellen	Tränkungsstoff der Schwellen	Anzahl der ursprünglich verlegten Schwellen	Mit Unterlagsplatten versehen, seit der Verlegung durchgehends oder nicht durchgeh.	Auswechslung 3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1	Haupt-, Zweig- und Bergwerksbahn	Stations-gleise	Kiefer	Zinkchl.	74 622	nicht durchg.	0,02	0,11	0,40	1,14	2,77	4,62	6,81	10,52	15,05	20,61
2	»	»	»	»	32 942	»	—	—	0,02	0,11	1,29	2,52	4,28	5,25	6,51	8,03
							—	—	0,45	1,22	1,81	2,12	2,46	2,82	3,31	4,16
							—	—	0,47	1,33	3,10	4,64	6,74	8,07	9,82	12,19
3	Haupt-, Zweig-, Städte- u. Nebenbahn	freie Strecke u. Stations-gleise	»	»	439 330	durchg.	—	—	0,03	0,12	0,48	0,96	1,93	4,03	8,19	12,89
							0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,08	0,12	0,18	0,29
							0,01	0,01	0,04	0,14	0,51	1,02	2,01	4,15	8,37	13,18
4	Kojetein-Kalwarya	»	»	»	154 451	»	—	0,01	0,04	0,21	0,84	1,64	2,99	6,03	11,23	16,74
							0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,07	0,09	0,12	0,15	0,20
							0,01	0,02	0,05	0,24	0,88	1,71	3,08	6,15	11,38	16,94
5	Hauptb. (Bahnhofsgl.) und Krakauer Verbindgs.-Bahn	»	Rotbuche	»	10 224	»	—	—	0,17	0,17	1,23	3,18	4,33	4,94	7,67	19,74
							—	—	—	—	—	—	0,01	0,03	0,03	0,05
							—	—	0,17	0,17	1,23	3,18	4,34	4,97	7,70	19,79
6	Haupt-, Zweig- und Bergwerksbahn	»	Eiche	»	347 831	nicht durchg.	0,01	0,04	0,23	0,46	0,97	2,74	5,65	9,09	13,26	18,29
7	»	»	»	»	206 685	»	—	0,03	0,28	0,43	0,65	0,87	1,95	3,01	4.88	8,05
							0,01	0,02	0,04	0,18	0,27	0,48	0,77	1,05	1,33	1,90
							0,01	0,05	0,32	0,61	0,92	1,35	2,72	4,06	6,21	9,95
8	»	»	»	»	239 138	durchg.	—	—	0,01	0,01	0,03	0,12	0,62	2,07	2.90	3,71
							—	0,01	0,02	0,07	0,16	0,30	0,60	1,28	2,06	3,37
							—	0,01	0,03	0,08	0,19	0,42	1,22	3,35	4,96	7,08
9	Kojetein-Kalwarya	»	»	»	3 662	»	—	—	—	—	0,05	0,27	0,57	1,20	3,36	10,21
							—	—	—	—	—	0,52	0,52	0,63	0,90	0,90
							—	—	—	—	0,05	0,79	1,09	1,83	4,26	11,11
10	Haupt-, Zweig- und Bergwerksbahn	»	»	karbolsäurehaltiges Teeröl	163 512	nicht durchg.	0,01	0,01	0,02	0,14	0,38	1,24	4,14	7,09	12,41	19,66
11	»	»	»	»	22 707	»	—	—	—	—	0,10	0,10	0,10	2,18	8,20	15,16
							—	—	—	—	0,04	0,28	1,54	2,54	2,86	6.20
							—	—	—	—	0,14	0,38	1,64	4,72	11,06	21,36
12	Haupt- und Zweigbahnen	freie Strecke	»	»	48 390	durchg.	—	—	—	—	—	—	0,27	0,27	0,48	1,20
							—	0,03	0,06	0,57	0,68	0,92	1,06	1,23	1,58	2,53
							—	0,03	0,06	0,57	0,68	0,92	1,33	1,50	2,06	3,73

stellung

Kaiser Ferdinands-Nordbahn beobachteten Schwellen bis Ende 1900.

stellung einmal, — jene, welche sich auf die Auswechslung infolge mechanischer Zerstörung beziehen, dagegen unterstrichenen Ziffern bilden die Summe.

der ursprünglich verlegten Schwellen in % nach Verlauf des																		Durchschnittliche Dauer einer jeden Schwelle (Jahre)	Mittleres Auswechslungs-% für 1 Jahr
13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	
Jahres seit der Verlegung																			
27,45	34,53	40,46	47,80	54,35	59,79	63,58	70,11	75,47	80,88	82,75	87,56	90,76	92,80	95,57	96,76	97,26	97,26	99,37 im 32. Jahre 100,00	17,2	5,8
10,96	13,41	16,33	19,03	22,01	27,59	30,61	34,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,24	6,24	8,08	10,02	11,66	13,38	13,95	16,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17,20	19,65	24,41	29,05	33,67	40,97	44,56	50,96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21,82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23,76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23,98	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29,88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29,93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23,23	28,51	34,63	40,84	47,99	54,10	59,72	64,74	73,15	76,98	88,99	97,03	99,20	99,90	99 90	100,00	—	—	—	17,6	5,7
10,61	13,61	17,41	22,14	24,03	25,24	32,09	37,43	45.18	50,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,69	3,72	4,90	6,49	9,42	10,43	11,25	11,25	11.25	11.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13,30	17,33	22,31	28,63	33,45	35,67	43,34	48,68	56,43	61,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26,03	32,27	37,95	44,38	51,41	58,73	63,02	69,39	76,40	88,96	93,17	96,56	99,00	99,41	99,56	99,56	100,00	—	—	17,2	5,8
20,22	28,14	34,90	36,74	38,04	56,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9,50	12,54	17,86	18,74	20,20	25,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29,72	40,68	52,76	55,48	58,24	81,68	90,60	95,95	97,85	97,85	97,85	100,00	—	—	—	—	—	—	—	15,4	6,5
2,17	3,00	6,74	14,27	14,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,18	8,00	11,32	16,94	24,31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7,38	11,00	18,06	31,21	38,68	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

nicht begründet, weil beim Schwemmen der Saft ausgewaschen und dadurch das Eindringen des Tränkungsstoffes nur erleichtert wird.

Holzgattung und deren Dauer. Die Rottanne oder Fichte ist die schlechteste Schwellengattung (Dauer nicht getränkt $3^1/_2$ bis $4^1/_2$ Jahre in Hauptgleisen). Kiefer oder Föhre dauert nicht getränkt 3 bis 12, ausnahmsweise bis zu 15 Jahren in Hauptgleisen und kann dann noch weitere 4 bis 6 Jahre in Bahnhofsnebengleisen liegen. Mit Teeröl getränkte Kiefernschwellen dauern in Hauptgleisen 8 bis 25 und bis zu 30 Jahren. Kupfersulfat- und Zinkchloridtränkung geben geringere Dauer. Eichenschwellen aus dem Kernholz dauern ungetränkt 12 bis 25 Jahre in Hauptgleisen und überdies noch einige Jahre in Nebengleisen, mit Splintholz 6 bis 12 Jahre in Hauptgleisen und weitere 4 bis 6 Jahre in Nebengleisen. Das Tränken mit Teeröl verlängert die Dauer der Eichenschwellen (mit Splintholz) bis zu 13 bis 25 und selbst 30 Jahren, wobei sie überdies noch 6 bis 8 Jahre in Nebengleisen liegen können. Tränkung der Eichenschwellen mit Zinkchlorid ergab bei zwei Verwaltungen eine Dauer von 13 bis 16 Jahren in Haupt- und von weiteren 4 Jahren in Nebengleisen. Die Buchenschwelle muß getränkt werden. Mit Teeröl behandelt zeigt sie eine Dauer von 14 bis 15, 20, 25 und selbst 30 Jahren in den Hauptgleisen und von weiteren 5 bis 6 Jahren in den Nebengleisen. Die Kupfervitrioltränkung ergibt eine Dienstdauer der Buchenschwellen von 12 Jahren in den Hauptgleisen. Für die Erzeugung der Buchenschwellen dürfen nicht zu alte Hölzer verwendet werden, weil diese im Kern ein sogenanntes rotes Herz besitzen, das sich schlecht tränken läßt und leicht zugrunde geht. Die aus den vorgeführten Ziffern sich ergebende mittlere Dauer der mit Teeröl getränkten Schwellen verschiedener Holzgattung ist bereits früher angegeben worden. — Herzenstein hält die Buche für die Schwellengattung der Zukunft, weil sie am leichtesten zu tränken ist, weil sie billig ist und weil sie eine große Dauer hat. Auch erneuern sich die Buchenwaldungen am schnellsten, was in Anbetracht der großen von den Eisenbahnen verbrauchten Holzmengen von großer Bedeutung ist.

Bearbeitung des Schwellenholzes. Fast alle Verwaltungen lassen ihre Schwellen vierkantig bearbeiten. Hierbei sollte aber die Säge keine Anwendung finden, weil dabei die Flächen Rauhigkeiten erhalten, die der Feuchtigkeit die besten Angriffspunkte bieten. Bei Buchenschwellen sollte nur die obere und untere Fläche geebnet, die Seitenflächen aber sollten halbrund belassen werden, weil beim Buchenholze die äußeren Faserschichten besser sind als die Kernschichten.

Die mechanische Abnutzung der Schwellen wird am besten vermieden durch Vergrößerung der Stühle und der Unterlagsplatten; auch geteerte Filzplatten haben sich auf der französischen Ostbahn bewährt, da bei Anwendung derselben eine Auswechslung von mit Teeröl getränkten Eichenschwellen erst nach 200000 Zügen, bei getränkten Buchenschwellen erst nach 250000 Zügen erforderlich wurde.

Um den Widerstand der Schwellen gegen mechanische Abnutzung zu erhöhen, wird neben den bekannten Mitteln in der baulichen Anordnung des Gleises (breite Unterlagsplatten, Schraubennägel, geeignete Bettung) auch das von A. Collet eingeführte Verfahren der Einbringung von Dübeln aus besonders hartem, getränktem Holze empfohlen, die sich als eine Art hohle Holzschraube darstellen, die in minder widerstandsfähige Schwellen zur Aufnahme der Befestigungsschrauben oder Nägel eingeschraubt werden[93]).

Einzelne Bahnen erachten es für notwendig, daß die für die Aufnahme der Nägel oder Schrauben erforderlichen Löcher noch vor der Tränkung gebohrt werden. Um dies ohne Schwierigkeiten bewirken zu können, ist auf den preußischen Staatsbahnen versuchsweise eine verstellbare Unterlagsplatte für Holzschwellen eingeführt worden, die bei stets gleichem Abstande der Bohrlöcher die Spurweite in den erforderlichen Abstufungen zu verändern gestattet, doch ist von deren allgemeinerer Anwendung aus praktischen Gründen wieder abgesehen worden.

In der früher erwähnten sehr bemerkenswerten Studie Coüards, Bemerkungen über die Dauer hölzerner Schwellen, liegt ein Versuch vor, auf Grund der bei der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn geführten Schwellenstatistik den Einfluß zu beziffern, den die folgenden Umstände auf die Schwellendauer ausüben: Die Zugzahl für das Jahr, das Klima, die auf das Kilometer Gleis verlegte Schwellenzahl, die Neigungs- und die Krümmungsverhältnisse, die Holzgattung und das Tränkverfahren. Coüard kam dabei zu folgender Schlußfolgerung: Die Schwellendauer nimmt ab, wenn die Zugzahl für das Jahr steigt, sie ist geringer in warmen als in kalten Ländern; sie steigt mit

---

93) Berichte von Cartault und Sauvage. Paris, Dunod. Glasers Annalen, Berlin 1903, Heft 10. Über Schwellenverdübelungen usw. von Eppers, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1905, I.

der auf das Kilometer Gleis verlegten Schwellenzahl und wahrscheinlich auch mit dem Schienengewichte; sie ist in Gefällen geringer als in Steigungen; sie kann durch Krümmungen von kleinerem Halbmesser bis auf ein Drittel und selbst bis auf die Hälfte vermindert werden; sie schwankt endlich nach der Holzart und dem Tränkverfahren. Hingegen konnte Coüard den Einfluß der Bettung und der Tunnel auf die Schwellendauer nicht feststellen.

Aus den Mittelwerten der Ergebnisse der Schwellenstatistik der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn leitet Coüard nun nachstehende Formel für die Bezifferung der Schwellendauer ab:

$$D = 1{,}2\,\frac{250000}{12500 + n} \cdot L \cdot T \cdot P \cdot C \cdot E,$$

worin: D = Schwellendauer in Jahren;
n = Anzahl der Züge im Jahre;
L = Einflußzahl des Klimas — für Frankreich $\geqq 0{,}50$;
T = Einflußzahl der Schwellenzahl auf das Kilometer, diese schwankt von 0,8 (für 1125 bis 1250 Schwellen) bis 1,1 (für 1500 Schwellen);
P = Einflußzahl der Gefälle ($\geqq 0{,}75$);
C = Einflußzahl der Krümmungen ($\geqq 0{,}50$);

E = Einflußzahl der Holzart:

= 1,0	für	ungetränkte Eichen,
= 0,9	»	» Lärchen,
= 0,7	»	» Kastanien,
= 1,0	»	mit Kupfervitriol getränkte Buchen,
= 1,2	»	» » » Kiefern,
= 0,7	»	» » » Tannen (ohne Platten),
$\geqq$ 1,6	»	» Teeröl getränkte Buchen,
= 1,4	»	» » » Tannen (ohne Platten).

Die Ableitung dieser Formel und des Wertes der einzelnen Einflußzahlen erfolgte im allgemeinen in der Weise, daß für die Bestimmung einer jeden Einflußzahl alle jene Strecken zusammengestellt und miteinander verglichen wurden, in welchen alle Bedingungen bis auf eine, deren Einfluß eben ermittelt werden sollte, die gleichen sind. Wenn nun auch diese Formel wesentliche Umstände — wie Beschaffenheit der Bettung und des Untergrundes, Schwellenabmessungen, Zugbelastungen und Fahrgeschwindigkeit usw. — unberücksichtigt läßt und die angegebenen Ziffernwerte der Einflußzahlen, weil lediglich aus der Schwellenstatistik der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn abgeleitet, nicht ohne weiteres auf andere Bahnen angewendet werden können, so ist damit doch der Weg angegeben, auf dem die Schwellenstatistik für die Beurteilung der Schwellendauer in vollkommenerer Weise nutzbar gemacht werden kann, als dies bisher geschah.

b. Abnutzung und Dauer der Eisenschwellen. — Wenn auch die Geschichte des eisernen Oberbaues bis in das Jahr 1850 zurückreicht, so haben doch die ersten Versuche mit Eisenschwellen bekanntlich so ungünstige Ergebnisse geliefert, daß die betreffenden Strecken zumeist nach kurzem Bestande zum Umbau kamen. Aus den zahllosen zur Anwendung gelangten Bauarten des eisernen Oberbaues haben sich erst in neuester Zeit einige wenige Formen herausgebildet, die in verhältnismäßig längerer Benutzungsdauer sich dem verbesserten Holzschwellenoberbau nicht nur hinsichtlich der Sicherheit des Betriebes und einer guten Gleislage, sondern auch rücksichtlich der Unterhaltungskosten ebenbürtig, ja zum Teil überlegen erwiesen haben.

Zwar sind die anfänglichen Befürchtungen einer raschen Zerstörung der Eisenschwellen infolge von Rostbildung durch die seitherigen Erfahrungen nicht bestätigt worden; aber man hat früher der Festigkeit des Eisens nicht nur an und für sich zuviel zugemutet, sondern vor allem übersehen, daß die Form und die Abmessungen der Schwelle auch von wesentlichem Einfluß auf die Beanspruchung der Bettung sind, und daß bei Unterschreitung gewisser Grenzen eine ruhige und sichere Gleislage überhaupt nicht erreichbar ist.

Die Eisenschwelle hat denselben statischen Bedingungen zu genügen wie die

Holzschwelle, sie erleidet auch die gleichen — bereits früher geschilderten — mechanischen Angriffe, und auch das Eisen vermag gewissen Arten der Beanspruchung, wie Reiben, Schaben, Würgen u. a., nicht dauernd zu widerstehen. Für die Abnutzung und Dauer der Eisenschwelle sind daher — neben den von der Oberbauanordnung unabhängigen Einflüssen — vor allem deren Länge, Querschnittsform und Gewicht und die Art der Befestigung der Schiene auf der Schwelle von maßgebendster Bedeutung. Bei Oberbauformen, welche den gegebenen Bedingungen nicht entsprachen, traten verhältnismäßig rasch allerlei Schäden auf (z. B. Abnutzung der Schwellenkopfplatten am Schienenauflager, gegenseitiges Einfressen zwischen Schienenfuß und Befestigungsmittel, Verschleiß an den Lochungen, an Schrauben, Beilagen, Keilen und Klemmplatten, endlich Bruch der Befestigungsschrauben, Längsrisse und Querbrüche der Schwellen), die zumeist die vollständige Beseitigung solcher Anordnungen zur Folge hatten.

Die bisherige Statistik der Dauer eiserner Schwellen wird dadurch in erster Linie zu einer Kritik der betreffenden Oberbauarten. Es kann aus ihr eine allgemein zutreffende Beantwortung der Frage nach der Überlegenheit des Eisen- oder Holzschwellenoberbaues um so weniger abgeleitet werden, als die vorliegenden statistischen Aufzeichnungen sich nur auf Verwendungsgebiete von verhältnismäßig geringem Umfange erstrecken und auf so verschiedenartige und ungleichwertige Anordnungen beziehen, daß eine unmittelbare vergleichende Gegenüberstellung ihrer Ergebnisse nicht zulässig ist.

Ein anschauliches und lehrreiches Bild der im V. d. E. V. mit eisernem Oberbau der verschiedensten Bauarten gemachten Erfahrungen und erlittenen Enttäuschungen geben die Verhandlungen über die Frage des eisernen Oberbaues auf den Technikerversammlungen vom Jahre 1868 bis 1893. Insbesondere der auf der Technikerversammlung zu Straßburg 1893 von der kgl. Eisenbahndirektion Berlin und der Kaiser Ferdinands-Nordbahn erstattete Bericht über die Frage nach Bewährung des eisernen Oberbaues gibt eine übersichtliche Zusammenstellung der von 28 Bahnverwaltungen bekannt gegebenen Erfahrungen über die Langschwellenoberbauarten von Hilf, Haarmann, Hohenegger, der Rheinischen Eisenbahn u. a., die Querschwellenoberbauarten von Vautherin, Haarmann, Hilf, Post, Atzinger, Heindl, Schwind, der preußischen Staatsbahnen u. a., und den Schwellenschienenoberbau von Haarmann, welche sehr beachtenswerte Mitteilungen über die mit diesen Oberbauarten im Betriebe gemachten Erfahrungen enthält[94]). Die genannte Technikerversammlung gelangte auf Grund dieser Mitteilungen zu nachstehenden Schlußfolgerungen:

Die bisher mit der Anwendung des eisernen Oberbaues gemachten Erfahrungen ergeben, daß im allgemeinen der Langschwellenoberbau dem Querschwellenoberbau nachsteht. Insbesondere scheint nach dem übereinstimmenden Urteil vieler Bahnverwaltungen der eiserne Langschwellenoberbau nach den Bauarten Hilf und nach damit verwandten Bauarten sich für Hauptbahnen nicht bewährt zu haben, da er zumeist aus den von Schnellzügen befahrenen Hauptgleisen entfernt wurde oder noch beseitigt werden wird. Ein wesentlich günstigeres Urteil wird nur über den Langschwellenoberbau der Bauart Hohenegger kundgegeben; es scheint also diese Bauart den derzeitigen Anforderungen des Betriebes zu genügen.

Der eiserne Querschwellenoberbau hat bei gutem Untergrunde und entsprechendem Bettungsmaterial allen Anforderungen genügt, wenn Schwellen von nicht zu geringer Länge, einem Gewichte von 58 bis 75 kg und mit zweckmäßiger Anordnung der Verbindungsteile zwischen Schiene

[94]) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893.

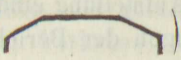
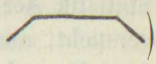
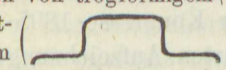
und Schwelle in Anwendung kamen. Die neueste Bauart der preußischen Staatsbahnen mit 2,7 m langen, geraden trogförmigen Schwellen von 58 kg Gewicht und die Bauart Heindl mit Schwellen von 60 bis 72 kg Gewicht scheinen sich insbesondere gut bewährt zu haben.

Schwellenschienen (Bauart Haarmann) sind bisher nur von drei Verwaltungen versuchsweise verwendet worden und haben sich bis jetzt im allgemeinen bewährt. —

Im besonderen ergibt sich aus den Beantwortungen der einzelnen Fragepunkte das Folgende: Die Sicherheit des Betriebes ist beim Langschwellenoberbau der vorerwähnten Bauart (Hilf und verwandten Bauarten) nur bei vorzüglichem Untergrund und Bettungsmaterial und bei sorgfältiger Aufmerksamkeit in der Unterhaltung zu erreichen, beim eisernen Querschwellenoberbau dagegen ebenso gewährleistet wie bei Holzschwellen. Die Erhaltung der guten Lage des Gleises in Höhe und Richtung ist beim Langschwellenoberbau im allgemeinen schwieriger als beim Querschwellenoberbau. Die richtige Spurweite ist bei ersterem — namentlich in Krümmungen — nur durch Einziehen zahlreicher Verbindungsstangen zwischen den Schienen zu erhalten, bei Querschwellen durch mindestens 10 Schwellen auf 9 m Gleis von selbst gesichert. Das Wandern der Schienen führt bei Langschwellenoberbauten, welche Verbindungsstangen zwischen den Schienen besitzen, eine Schiefstellung der Verbindungsstangen herbei und erschwert die Erhaltung der richtigen Spurweite. Bei starkem Frost ist das Beseitigen der Frosthebungen bei Langschwellen umständlicher und kostspieliger als bei Querschwellen.

Über die Kosten der Erhaltung sind aus den vorliegenden ziffermäßigen Angaben verläßliche Anhaltspunkte nicht zu gewinnen, doch sind im allgemeinen die Kosten an Arbeitslohn beim eisernen Querschwellenoberbau in den ersten Jahren zumeist höher, nach eingetretener Festigung der Bettung aber wesentlich geringer als beim Holzschwellenoberbau.

Schlägelschotter von nicht zu grobem Korn aus hartem Gestein verdient, anscheinend sowohl für Lang- als für Querschwellen, den Vorzug vor Fluß- oder Grubenschotter (Kies). Sandbettung hat sich nicht bewährt.

Gerade eiserne Querschwellen von trogförmigem  Querschnitt haben sich besser bewährt als solche von trapezförmigem  oder hutförmigem  Querschnitt. Gewichte von 58 bis 75 kg haben sich bewährt. Die Verwendung von keilförmigen Unterlagsplatten auf eisernen Querschwellen hat sich als zweckentsprechend erwiesen. Als Befestigung der Schienen auf den Schwellen erscheinen bei eisernen Langschwellen die Befestigung mit Klammerschrauben (Haarmann) und jene nach Bauart Hohenegger, bei eisernen Querschwellen die Hakenplatten und die Heindlsche Befestigungsart empfehlenswert.

Die Sicherheit gegen Schienenbruch und seitliche Verschiebung ist bei eisernem Lang- und Querschwellenoberbau nicht geringer als bei Holzschwellen.

Über die Dauer der eisernen Schwellen und den Einfluß der Materialgüte auf dieselbe liegen noch keine genügenden Erfahrungen vor. Der Verschleiß tritt bei Lang- und Querschwellen zumeist auf den Kopfplatten und unter dem Schienenfuße und in den Lochungen ein, kann jedoch beim Querschwellenoberbau durch Verwendung von Unterlagsplatten und durch geeignete Befestigungsart wesentlich eingeschränkt werden. —

Können aus diesen Mitteilungen auch ziffermäßige Angaben über die Dauer eiserner Schwellen nicht abgeleitet werden, so geht aus denselben doch hervor, daß eine gut geformte und richtig bemessene Eisenschwelle eine ungleich längere Dauer besitzt als die beste Holzschwelle. Dies folgt insbesondere auch aus den Ergebnissen eines von der Kaiser Ferdinands-Nordbahn im Jahre 1883 unternommenen Versuches mit eisernem Oberbau der Bauart Heindl, welcher in der Absicht unternommen wurde, eine verläßliche Grundlage für die Beurteilung dieser Bauart zu gewinnen. Zu diesem Zwecke wurden auf der Nordbahn zwischen den Stationen Angern und Dürnkrut eine 2 km lange Strecke mit eisernen Querschwellen, Bauart Heindl, und eine 5,6 km lange Strecke mit getränkten Eichenschwellen, beide Strecken mit gleichen Schienen, gleichen Stoßverbindungen und gleicher Schwellenteilung verlegt. Es werden diese seit dem Jahre 1883 einer genauen Beobachtung unterzogen und über die Unterhaltungskosten beider Strecken sorgfältige Aufschreibungen geführt. Obgleich nun über diese Versuchsstrecken in zwanzigjährigem Betriebe bis Ende 1904 in Summe 248269 Züge — darunter 41297 Schnellzüge mit Fahrgeschwindigkeiten bis zu 90 km in der Stunde — mit einer Gesamtlast von 138,8 Millionen Tonnen gerollt sind, zeigen die Eisenschwellen keine meßbaren Abnutzungen, sondern nur blank geriebene Berührungsstellen. Einen geringen Verschleiß zeigen bloß die Seitenflächen der an Schienenstößen liegenden Klemmplatten und Beilagen, gegen

die sich die Winkellaschen beim Wandern stemmen. Das gute Verhalten dieses Oberbaues kommt auch in den durchschnittlichen Erhaltungskosten zum Ausdrucke, die sich für den Eisenschwellenoberbau in den ersten 20 Jahren um 37,2 v. H. geringer als beim Holzschwellenoberbau stellen[95]). Vergleichende Versuche mit eisernem Querschwellenoberbau verschiedener Bauarten wurden von 1881 bis 1898 auch auf dem Lüttich-Limburger Eisenbahnnetze auf Posts Anregung ausgeführt, über die Ch. Renson[96]) und Moreau[97]) ausführlich berichteten. Diese Beobachtungen, welche sich auf 57 Versuchsstrecken beziehen, haben insbesondere zur Klärung der Frage, unter welchen Verhältnissen die Überlegenheit des eisernen Querschwellenoberbaues gegenüber dem Holzschwellenoberbau zur Geltung kommt, wesentlich beigetragen.

Die Überlegenheit des Eisenschwellenoberbaues ist trotz dieser günstigen Ergebnisse noch nicht allseitig anerkannt, wenigstens dort nicht, wo nur minderwertiger Bettungsstoff zur Verfügung steht. Auch ist nicht zu verkennen, daß der Holzschwellenoberbau in neuester Zeit Vervollkommnungen erfahren hat, welche ihn zu erhöhter Leistung befähigen, so daß für die Wahl der einen oder andern Oberbauart wesentlich nur wirtschaftliche Erwägungen maßgebend sind. Neben den Kosten der ersten Anschaffung kommen mithin die Schwellendauer und die Höhe der Unterhaltungskosten wesentlich in Frage.

Indem wir einen Vergleich der Unterhaltungskosten des eisernen und Holzschwellenoberbaues dem § 14 dieses Kapitels vorbehalten, möge hier nur darauf hingewiesen werden, daß ein solcher Vergleich nur unter Zugrundelegung gleicher Verhältnisse gemacht werden darf. Es hat deshalb der internationale Eisenbahnkongreß im Jahre 1889 zu Paris die Grundlagen für eine einheitliche internationale Statistik der Gleisunterhaltungskosten durch Aufstellung eines Fragebogens zu schaffen versucht, aus dessen seitherigen Beantwortungen der Berichterstatter Kowalski auf dem Petersburger Kongresse 1892 und auf dem Londoner Kongresse 1895 zu der gleichlautenden Schlußfolgerung gelangte: »Aus den geführten Aufzeichnungen geht hervor, daß die Eisenschwelle, wenn sie richtig angewendet wird, eine Verminderung der Kosten der Unterhaltungsarbeit herbeiführen kann. Dennoch ist es vorteilhaft, weiterhin Erfahrungen über die Erfolge zu sammeln, welche durch die Anwendung der eisernen Schwelle erreicht worden sind.«

§ 9. Abnutzung und Dauer der Schienen und Befestigungsmittel. — a. Abnutzung und Dauer der Schienen im allgemeinen. — Die Schienen sind der kostspieligste Bestandteil des Gleisbaues und ihre möglichst lange Dauer ist mithin die wesentlichste Voraussetzung einer wirtschaftlichen Gleisunterhaltung.

Die vielen Enttäuschungen, welche die ersten Jahrzehnte des Eisenbahnbetriebes hinsichtlich der vorausgesetzten Schienendauer brachten, hatten die Eisenbahnverwaltungen zunächst darauf geführt, der Herstellungsart der Schienen ein besonderes Augenmerk zuzuwenden, ferner aber auch veranlaßt, eine Klarstellung

---

95) Ausführliche Mitteilungen über die auf diesen Versuchsgleisen gemachten Erfahrungen hat der Baudirektor der Nordbahn W. Ast in der Rev. génér. d. chem. d. fer, Juni 1892, dann in der Zeitschr. des Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892 veröffentlicht. Es erscheint dort durch Gegenüberstellung dieser Erfahrungen und der von Jansen mitgeteilten Mißerfolge, die auf den belgischen Staatsbahnen mit dem eisernen Oberbau von Post und Breat gemacht wurden, klargelegt, daß für das Verhalten des eisernen Oberbaues eine richtige Anordnung und Ausführung von entscheidender Bedeutung sind. Siehe hierüber auch: Der eiserne Oberbau, System Heindl, verglichen mit Holzschwellenoberbau, Zeitschr. des Österr. Ing. u. Arch.-Ver. 1895.

96) Verhandlungen d. internat. Eisenb.-Kongr. 1898, bearbeitet von Birk im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899.

97) Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France, Nov. 1899.

der anderen die Schienendauer beeinflussenden Umstände zu versuchen, da sich bald ergab, daß auch Schienen gleicher Art und Herkunft im Betriebe oft ein ganz verschiedenes Verhalten zeigten. Die Schwierigkeiten der Gewinnung eines klaren Einblickes in alle die Schienendauer bestimmenden Umstände haben sich jedoch so groß erwiesen, daß wir die Frage nach der voraussichtlichen Dauer einer Eisenbahnschiene — bei gegebener Form und Güte, und unter bestimmter Beanspruchung — auch jetzt noch nicht zuverlässig beantworten können. Ja, wir vermögen nicht einmal die Forderungen, die wir an die Stoffeigenschaften einer Schiene zu stellen haben, damit sie Gewähr für eine möglichst lange Dauer biete, vollständig darzulegen. Dies wird nicht verwundern, wenn wir die mannigfaltige Art der Beanspruchung der Schienen, die große Anzahl der ihr Verhalten beeinflussenden Umstände erwägen und uns vergegenwärtigen, daß es einer langen Reihe von Jahren und sehr umfassender, auf gleicher Grundlage bewirkter statistischer Aufzeichnungen bedarf, um zuverlässige Schlußfolgerungen aus den Beobachtungen und Erfahrungen ziehen zu können.

Betrachten wir zunächst die Art der Beanspruchung der Schienen, so sehen wir diese allen Druck-, Schlag- und Reibungswirkungen der Fahrzeuge unmittelbar ausgesetzt und unter diesen Angriffen — sowie unter den Witterungseinflüssen — Durchbiegungen, seitliche Ausbiegungen, Verdrehungen, Auswalzungen und Streckungen, Querschnittsveränderungen, Abnutzungen der Oberfläche, endlich Veränderungen im Stoffgefüge erleiden, welche schließlich die Auswechslung erforderlich machen. Entscheidend für die Größe dieser Wirkungen ist vor allem das Verhältnis zwischen dem Schienenquerschnitt, bzw. der gesamten Gleisanordnung und der Art und Größe des darauf abzuwickelnden Verkehrs, d. h. der darüber rollenden Lasten. Es ist schon auf der Technikerversammlung im Jahre 1865 klar zum Ausdrucke gelangt, daß ein Mißverhältnis zwischen diesen sich gegenseitig bedingenden Größen zu vorzeitigen Schienenauswechslungen führt. Aber auch dort, wo die Querschnittsform der Schienen und die Gleisanordnung im ganzen ein günstiges Verhalten und eine lange Dauer der Schienen zu verbürgen scheinen, können diese doch rasch unbrauchbar werden, wenn dem Schienenstoff jene physikalischen und chemischen Eigenschaften fehlen, welche vorhanden sein müssen, wenn das Gleis auch unter den Schlagwirkungen der Fahrzeuge und bei ungünstigen Witterungsverhältnissen imstande sein soll, den Wirkungen der gleitenden und rollenden Reibung zwischen Rad und Schiene den erforderlichen Widerstand entgegenzusetzen.

Aus dieser Verschiedenartigkeit der Beanspruchung und des Widerstandes der Schienen ergeben sich jene mannigfaltigen Formen der Schienenabnutzung, die wir, insofern sie regellos und als örtlich begrenzte Beschädigungen der Schienen auftreten, als Schienenzerstörungen (unregelmäßige Abnutzungen), insofern sie aber in allmählicher, mit einer gewissen Gesetzmäßigkeit sich vollziehender Verminderung des Schienenquerschnittes, insbesondere des Schienenkopfes, sich äußern, als Schienenabnutzung schlechthin (oder regelmäßige Abnutzung) bezeichnen. Die Schienenzerstörung tritt oft sehr bald nach Befahrung der Schienen ein und äußert sich je nach dem Stoffe und der Art der Herstellung der Schienen in Platt- und Breitdrückungen, Auswalzungen, Abblätterungen, Ausbröckelungen und Abtrennungen ganzer Teile des Schienenkopfes, in Rissen, Sprüngen, Ausbrüchen, endlich Brüchen durch den ganzen Querschnitt der Schienen. Diese Zerstörungen sind es, welche zumeist die Auswechslung der Schienen veranlassen, ehe noch ihr Querschnitt ganz ausgenutzt ist.

Für die Schienendauer — oder die Schienenausnutzung — ist der Widerstand maßgebend, welchen die Schienen den beiden Arten der Abnutzung entgegenzusetzen vermögen. Als Maßstab hierfür kann einerseits die Auswechslung, anderseits die durchschnittliche Querschnittsverminderung der Schienen bei einer bestimmten Beanspruchung angenommen werden. Diese und die Widerstandsfähigkeit der Schienen werden aber von so vielen Umständen mitbestimmt, deren Einfluß aus den statistischen Aufzeichnungen bisher gar nicht, oder doch nicht mit genügender Zuverlässigkeit beziffert werden konnte, daß zurzeit allen statistischen Ergebnissen nur eine bedingte Richtigkeit und verhältnismäßig geringe praktische Verwertbarkeit zugesprochen werden kann. Die älteren von einzelnen Bahnen geführten Aufschreibungen über das Verhalten der Schienen erfolgten zumeist ohne nähere Kenntnis der die Schienendauer beeinflussenden Umstände, entbehrten einer gleichartigen Grundlage und ließen deshalb Vergleiche nicht zu.

b. Schienenstatistik des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen. — Es ist ein hervorragendes Verdienst des V. d. E. V., rechtzeitig dieser wichtigen Frage näher getreten zu sein und erkannt zu haben, daß brauchbare Ergebnisse nur aus einer auf gleichen Grundsätzen groß angelegten Statistik über das Verhalten der Schienen zu gewinnen sind.

Nachdem zum ersten Male auf der Technikerversammlung zu Dresden im Jahre 1865[98]) bei Erörterung der Frage nach der Dauer der Schienen unter »Angabe der etwaigen Zahl der Züge und der über dieselben beförderten Lasten« die Unzulänglichkeit der bis dahin vorliegenden Erhebungen erkannt worden war, haben sich die Techniker des V. d. E. V. fortdauernd und immer gründlicher mit dieser Frage beschäftigt. Da auch die den Technikerversammlungen zu München im Jahre 1868[99]) und zu Hamburg 1871[100]) vorgelegten Beobachtungsergebnisse keine zuverlässigen Schlußfolgerungen gestatteten, wurde in der VI. Technikerversammlung zu Düsseldorf im Jahre 1874[101]) die Einführung einer allgemeinen Statistik der in der freien Bahn verlegten Eisen- und Stahlschienen zur Ermittlung einer durchschnittlichen Schienendauer für notwendig erklärt, um über die Bedeutung derjenigen Umstände, welche außer der über die Schienen bewegten Last auf die Zerstörung derselben von Einfluß sind, Klarheit zu erhalten. Zugleich wurden Grundsätze für die Art der statistischen Nachweisungen und für die Bearbeitung des Ergebnisses der Beobachtungen aufgestellt, nach welchen als Vergleichseinheit und eigentliche Grundlage die bewegte Last und die Zahl der durch diese schadhaft gewordenen Schienen angenommen wurde, und ferner durch vergleichende Beobachtungen die größere Beanspruchung der Schienen durch die Bahnneigungen und Krümmungen gegenüber der wagerechten und geraden Bahn, dann durch die wirkliche mittlere Radbelastung gegenüber einer aus den mittleren Radbelastungen aller Bahnen ermittelten durchschnittlichen Radbelastung, endlich durch die wirkliche mittlere Geschwindigkeit gegenüber einer aus den mittleren Geschwindigkeiten aller Bahnen ermittelten durchschnittlichen Geschwindigkeit festgestellt und genau beziffert werden sollte. Mit Hilfe der so gewonnenen Zahlen sollten dann die auf den Bahnstrecken mit verschiedenen Anlage- und Verkehrsverhältnissen bewegten Lasten und die damit in Zusammenhang stehenden Schienenauswechslungen auf eine gerade, wagerechte Bahn und eine einheitliche Radbelastung und Geschwindigkeit, d. h. auf eine dann allen Bahnen gemeinschaftliche Grundlage zurückgeführt und die sich ergebenden Durchschnittsziffern zu Vergleichen über die Schienengüte im allgemeinen und zur Ermittlung einer durchschnittlichen Schienendauer benutzt werden.

Die sich bald aufdrängende Erkenntnis, daß eine Schienenstatistik von solchem Umfange nur mit Schwierigkeiten ausführbar sein würde, führte die VII. Technikerversammlung zu Konstanz im Jahre 1876 zu einer Ermäßigung der an die Eisenbahnverwaltungen zu stellenden Anforderungen, indem fortan die Schienenstatistik nicht auf alle in der freien Bahn verlegten Eisen- und Stahl-

98) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. I. Ergänz.-Bd. 1865

99) Ebenda, III. Ergänz.-Bd. 1869.

100) Ebenda, 1871.

101) Ebenda, V. Ergänz.-Bd. 1874.

schienen ausgedehnt, sondern bei jeder Bahnverwaltung auf mehrere Versuchsstrecken mit möglichst großem Verkehr beschränkt wurde. Der erste Jahrgang der »Statistik über die Dauer der Schienen«[102] lieferte indes — hauptsächlich infolge der unvollkommenen Fassung des Fragenheftes — nur wenig brauchbare Ergebnisse und veranlaßte den technischen Ausschuß des V. d. E. V. zu Koblenz im Jahre 1879 zu einer gründlichen Vervollkommnung und Durchbildung der Grundlagen dieser Statistik. Da die Schweißeisen-, Puddelstahl- und Stahlkopfschienen immer allgemeiner durch die aus Gußblöcken hergestellten Schienen verdrängt wurden, sollte sich die weitere Statistik grundsätzlich nur auf die letztere Schienengattung beziehen. Es erlangte nun neben der Schienenauswechslung auch die Beobachtung der Schienenabnutzung eine erhöhte Bedeutung.

Eine Bearbeitung dieser Statistik fand seither alle drei Jahre statt.

Es liegen sechs von der geschäftsführenden Verwaltung des Vereins herausgegebene umfangreiche Zahlenwerke vor, umfassend die Erhebungsjahre 1879 bis 1896. Mit der letztgenannten Veröffentlichung hat der ältere Teil dieser Statistik, bei welcher der Einfluß der Stoffbeschaffenheit auf das Verhalten der Schienen im Betriebe mangels bezüglicher Unterlagen leider nicht in Berücksichtigung gezogen werden konnte, seinen Abschluß gefunden. Das Schlußergebnis besteht in der Festlegung von Zahlenwerten für die durch eine übergerollte Gesamtlast von 1 Million Tonnen verursachte Abnutzung und in der Ermittlung von Auswechslungsziffern für 1 km Gleis bei einer Beanspruchung durch ebenfalls 1 Million Tonnen Gesamtlast.

Im Jahre 1891 hat der Ausschuß für technische Angelegenheiten durch Herausgabe von Vorschriften für die Einrichtung und Bearbeitung einer mit besonderer Rücksichtnahme auf die Materialgüte geführten Schienenstatistik die Einrichtung neuer Versuchsgleise herbeigeführt und im Jahre 1905 hat die geschäftsführende Verwaltung über das Ergebnis der Beobachtungen bis zum Jahre 1903 berichtet, doch bieten die vorliegenden Aufzeichnungen noch keine Grundlage zu bestimmten Schlußfolgerungen.

Diese Bestrebungen erhielten Anregung und Förderung insbesondere durch die Untersuchungen über Abnutzung und Dauer der Eisenbahnschienen[103], die im Jahre 1872 der damalige Zentralinspektor der Kaiser Ferdinands-Nordbahn, Franz Stockert, auf Grund der bei dieser Bahn seit dem Jahre 1855 geführten Aufzeichnungen veröffentlichte. Diese Untersuchungen, welche Stockert im Jahre 1890 durch neuere Mitteilungen[104] ergänzte, werden im folgenden noch besprochen.

Wertvolle Beiträge zur Schienenstatistik im Vereinsgebiete lieferten außerdem Funk[105], Heusinger[106], Rüppell[107], Rybarž[108], Post[109] u. a.

c. Internationale Schienenstatistik. — Die Wichtigkeit dieser Frage ist in neuerer Zeit auch in ausländischen Kreisen erkannt worden und der internationale Eisenbahnkongreß zu Paris 1889 hat die Einführung einer internationalen Schienenstatistik anzubahnen versucht, allerdings ohne bis jetzt die großen Schwierigkeiten und Bedenken, die sich der Durchführung einer solchen entgegenstellen, überwunden zu haben, wie aus der letzten im Kongresse zu London 1895 aufgestellten Schlußfolgerung deutlich hervorgeht. Immerhin sind aber hierdurch wertvolle Berichte und Mitteilungen aus dem Kreise der außerdeutschen Bahnen veranlaßt worden, auf welche wir noch Bezug nehmen. Insbesondere sei auf die Berichte von Bricka[110] und Busschere[111] und die Bemerkungen von Petroff, Werschovsky und Anitschkow, sowie die zugehörigen Mitteilungen der belgischen Staatsbahnen, der Gotthardbahn,

102) Bearbeitet von F. Kiepenheuer, Wiesbaden 1879.
103) Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1872; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1873.
104) Beiträge zur Schienenstatistik usw., Wiesbaden 1890.
105) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1886, 1887, 1888 u. a.
106) Ebenda, 1874 usf.
107) Ebenda, 1880; Zeitschr. f. Baukunde 1879; Glasers Annalen 1890 u. a.
108) Wochenschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1889 und Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892.
109) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890.
110) Internat. Eisenb.-Kongr. Paris 1889, Frage I/A, und London 1895.
111) Bericht zur Frage VIII/A auf dem internat. Eisenb.-Kongr. Petersburg 1892.

der französischen Ostbahn und der italienischen Südbahn verwiesen. — Einen beachtenswerten Beitrag zur Frage der Stahlschienenabnutzung lieferte auch Coüard[112]).

Über das Verhalten der Schienen auf den englischen Bahnen liegen uns Mitteilungen vor, die ein verhältnismäßig günstigeres Verhalten der Doppelkopfschienen gegenüber Breitfußschienen ausweisen, was auf deren leichtere Walzbarkeit und die größere Gleichförmigkeit des englischen Stahles zurückgeführt wird. In Amerika, wo in neuerer Zeit der rasche Verschleiß der Schienen dazu zwang, der Frage nach zweckentsprechender Gestaltung und Herstellung der Schienen eine erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden, haben insbesondere Dudley[113]), dann ein Ausschuß der amerikanischen Gesellschaft der Zivilingenieure[114]) sich eingehend mit der Frage des Einflusses des Schienenquerschnitts und der Stoffbeschaffenheit auf die Abnutzung der Schienen beschäftigt.

d. Abhängigkeit der Schienendauer von verschiedenen Einflüssen. Ergebnisse der Statistik. — Ehe wir nun auf die ziffermäßigen Ergebnisse der Schienenstatistik und die Verwertung der angeführten Untersuchungen näher eingehen, mögen zunächst die verschiedenen Einflüsse, die für die Schienendauer wesentlich bestimmend sind, im einzelnen erörtert werden; auch ist darzulegen, inwieweit eine Klarstellung derselben bisher erfolgt ist. Es kommen insbesondere in Betracht:

1. Die Güte des Schienenstoffes, die Herstellungsart der Schienen und die Behandlung derselben beim Versenden und Verlegen. — Die großen Schwankungen im Verhalten der Schienen gleichen Querschnittes und gleicher Benutzungsart sind wesentlich auf deren verschiedenartige Stoffgüte zurückzuführen. Hierbei ist neben der Zugfestigkeit, Zähigkeit, Härte und Dichte des Schienenstahles besonders die Reinheit und Gleichförmigkeit des Gefüges der Schienen von Einfluß. Diese Eigenschaften hängen ihrerseits vornehmlich von der Reinheit, also der chemischen Zusammensetzung des Rohstoffes, sowie von der Art der Erzeugung und Verwalzung des Stahles und der dabei geübten Vorsicht ab. Bei den älteren Schweißeisen- und Puddelstahlschienen ist es insbesondere die stellenweise mangelhafte Schweißung, welche Längsrisse und Abtrennungen veranlaßte; bei den neueren Flußstahlschienen aber sind es vornehmlich die Blasenbildungen, die den nächsten Anlaß zur Bildung von Vertiefungen am Schienenkopfe geben und dadurch Angriffspunkte für verstärkte Einwirkungen der Radreifen schaffen.

Die Ungleichmäßigkeit des Schienengefüges kann durch Ätzungen einzelner Schienenquerschnitte mit Säuren, welche die Hartadern (Aussaigerungen) und Blasenwandungen auflösen, zur Anschauung gebracht werden. Solche Ätzproben, die zunächst Ast bei der Kaiser Ferdinands-Nordbahn vornahm und welche seither als ein vorzügliches Mittel für die Beurteilung des Schienengefüges eine immer allgemeinere Anwendung fanden[115]), lassen — wie z. B. die nachstehende Abbildung des geätzten Querschnittes einer Bessemerstahlschiene aus dem Jahre 1876 zeigt — vielfach einen inneren, von Verunreinigungen oft durchsetzten Kernstahl von scheinbar lockerem

---

[112]) Revue géńer. d. chem. d. fer 1889.

[113]) Dudley, Die Schienenabnutzung mit Bezug auf den Schienenquerschnitt, Verhandl. d. amerik. Instit. d. Bergingenieure 1889; Railr. Gaz. 1889; Bullet. d. internat. Eisenb.-Kongr. Brüssel, März 1891.

[114]) Amer. Soc. of Civ. Ing., Verhandl. 1891; Engineering News 1891.

[115]) Die vom V. d. E. V. im Jahre 1902 und 1905 veröffentlichten statistischen Aufzeichnungen über das Verhalten der Schienen usw. enthalten eine große Zahl von Abbildungen von geätzten Schienenquerschnitten.

Gefüge und einen äußeren, reineren, zäheren und scheinbar dichteren Randstahl erkennen. Dabei ist die Trennungslinie (Erstarrungslinie) zumeist scharf ausgeprägt und manchmal durch einen Blasenkranz gekennzeichnet. Die Abnutzungsfähigkeit und der Widerstand gegen Bruch wird bei solchen Schienen je nach der Lage der Trennungslinie sehr verschieden sein[116].

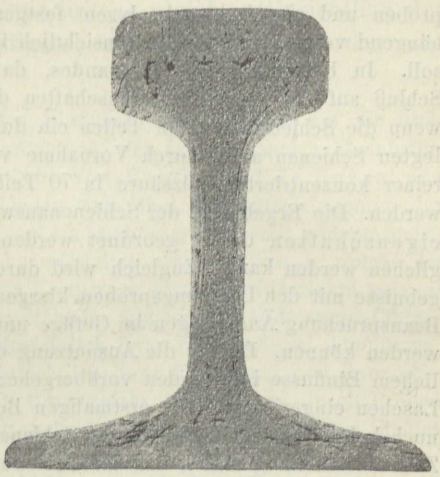


Abb 14.

Inwieweit die bei den Bahnen heute bestehenden Vorschriften über die Stoffbeschaffenheit der Schienen und die gegenwärtigen Herstellungsarten der letzteren genügende Gewähr bieten für ein gutes Verhalten derselben im Betriebe, ist aus den bisherigen Erfahrungen nicht mit Sicherheit festzustellen[117]. In der älteren Schienenstatistik des V. d. E. V. mangelt es an den hierfür nötigen Grundlagen. Das Ergebnis einer Umfrage bei den deutschen Vereinsbahnen führte die Technikerversammlung des Jahres 1893 zu der Schlußfolgerung, daß die vorliegenden Erfahrungen nicht ausreichen, um die geeignetste Zerreißfestigkeit der Schienen mit Rücksicht auf deren Abnutzung und Bruch mit Sicherheit feststellen zu können, daß jedoch im allgemeinen Schienen aus härterem Stahl widerstandsfähiger gegen Abnutzung, hingegen — insbesondere bei zu geringer Dehnung und nicht genügender Reinheit und Durcharbeitung des Stahles — mehr zum Bruche geneigt zu sein scheinen; ferner daß sich nach den bisherigen Erfahrungen Schienen aus Bessemer- und Martinstahl besser als solche aus Thomasstahl zu verhalten scheinen. Doch reichen die Erfahrungen nicht aus, um erkennen zu lassen, inwieweit dieses Verhalten durch die Verschiedenheit der Stahlgattungen oder durch die größere oder geringere Reinheit und die mehr oder minder gute Durcharbeitung des Stahles, sowie durch die Sorgfalt bei der Herstellung der Schienen beeinflußt ist. — Eine zuverlässigere Beantwortung der Frage nach dem Einfluß der Stoffgüte auf die Schienendauer wird erst erhofft von der im deutschen Eisenbahnverein auf Antrag der Kaiser Ferdinands-Nordbahn im Jahre 1891 erfolgten Einrichtung einer mit besonderer Rücksichtnahme auf die Stoffgüte geführten Schienenstatistik.

---

116) v. Dormus, Studien u. Betrachtungen über Ungleichmäßigkeitserscheinungen d. Stahlschienenmateriales, Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1896.

117) Siehe Ast, Bericht zur Frage I auf dem internat. Eisenb.-Kongr. zu London 1895. Hiernach wird bei den österreichischen und italienischen Bahnen, der Gotthardbahn, der belgischen Staatsbahn und den holländischen Bahnen eine Festigkeit von 55 bis 67 kg/qmm mit Dehnungen von 15 bis 20 v. H., bei den französischen und ägyptischen Bahnen von 70 bis 80 kg, ja bis 98 kg/qmm mit Dehnungen von 10 bis 15 v. H., mitunter allerdings von nur 1 bis 4 v. H. erreicht. Im V. d. E. V. wird zumeist eine Festigkeit von 55 kg und darüber verlangt. Siehe ferner die Mitteilungen von Rybarž in der Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892. Vgl. auch das II. Kap. des II. Bandes. Aus dem der Technikerversammlung zu Triest im Jahre 1903 zur Frage »Schienenmaterial« erstatteten Berichte ist zu ersehen, daß auf den Vereinsbahnen Zugfestigkeiten von mindestens 50 bis 65 kg/qmm bei Längendehnungen von mindestens 10 bis 20 v. H. gefordert werden. (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XIII. Ergänz.-Bd. 1903.) Die vom Verein englischer Zivilingenieure in jüngster Zeit festgestellten einheitlichen Lieferungsbedingungen für Eisenbahnschienen fordern für Doppelkopfstahlschienen eine Zerreißfestigkeit von 60 bis 71 kg/qmm bei einer Dehnung von wenigstens 15 v. H. für die festgestellten Normalprobestäbe. (Glasers Annalen 1905.)

Hiernach ist die Einrichtung und Beobachtung von Versuchsgleisen unter nahezu gleichen Anlageverhältnissen empfohlen, in welchen die Stoffgüte der Schienen vor ihrer Verlegung durch satzweise Erprobung nach einheitlichem Verfahren (Vornahme von Zerreiß-, Biege- und Schlagproben und chemischen Analysen) festgestellt, eine Anzahl Schienen desselben Satzes zusammenhängend verlegt und sodann hinsichtlich ihres Verhaltens im Betriebe sorgfältig beobachtet werden soll. In Erkenntnis des Umstandes, daß die Güteprobenergebnisse nur dann einen richtigen Schluß auf die Festigkeitseigenschaften der ganzen Schiene zulässig erscheinen lassen würden, wenn die Schienen in allen Teilen ein durchaus gleichförmiges Gefüge aufwiesen, sollen die verlegten Schienen auch durch Vornahme von Ätz- (Beiz-) Proben mit einer Lösung von 30 Teilen reiner konzentrierter Salzsäure in 70 Teilen Wasser auf die Beschaffenheit ihres Gefüges geprüft werden. Die Ergebnisse der Schienenauswechslung und Abnutzung sollen sodann nach den Stoffeigenschaften derart geordnet werden, daß das Verhalten von Schienen gleicher Güte verglichen werden kann. Zugleich wird durch spätere Stoffprüfungen und Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Ursprungsproben klargestellt werden können, ob und inwieweit durch wiederholte Beanspruchung Änderungen im Gefüge und in den Festigkeitseigenschaften des Stahles herbeigeführt werden können. Da für die Ausnutzung der Schienen auch das Verhalten der Laschen von wesentlichem Einflusse ist, wurden vorübergehend auch Versuchsgleise zum Zwecke der Beobachtung der Laschen eingerichtet. Die erstmaligen Bearbeitungen dieser Statistik (Berlin 1902 und 1905) ließen noch keine Gesetzmäßigkeit in der Schienenabnutzung erkennen, indem sich aus der vergleichenden Zusammenstellung ergab, daß die Schienenabnutzung mit keiner der Güteziffern stetig ab- oder zunimmt. Die Kürze der Beobachtungszeit und die Ungleichmäßigkeit des Schienenstahles, welche den Vergleich der aus den üblichen Güteproben sich ergebenden Festigkeitseigenschaften unverläßlich macht, sowie der Umstand, daß die Versuchsstrecken in zu weiten Grenzen zusammengefaßt erscheinen, und daß auch die Feststellung der über die Versuchsgleise gerollten Gesamtlasten, sowie die Messung der Schienenabnutzungen nicht zuverlässig und einheitlich genug erfolgte, erklären, daß eine Nutzbarmachung dieser Statistik noch nicht möglich ist. Diesen Mängeln soll in der Folge durch verbesserte Vorschriften begegnet werden.

Eine neuerliche Umfrage bei den deutschen Vereinsbahnen im Jahre 1901, deren Beantwortung der Technikerversammlung des Jahres 1903[118]) vorlag, ergab, daß die Vereinsverwaltungen im Hinblick auf die fortgesetzte Steigerung der Fahrgeschwindigkeiten und Achsdrücke sowie der Verkehrsstärke eine weitere Verbesserung der Stoffbeschaffenheit der Schienen anstreben und daß die heute üblichen Güteproben vielfach als nicht ausreichend erachtet werden, um einen möglichst bruchsicheren und gegen Abnutzung möglichst widerstandsfähigen Schienenstoff zu gewährleisten.

In der Schlußfolgerung zu dieser Frage werden auch Vorschläge für die weitere Ausgestaltung der Prüfungs- und Abnahmeverfahren erstattet und wird insbesondere den Bahnverwaltungen empfohlen, der Materialerzeugung mehr Aufmerksamkeit zu schenken und durch Wahl eines entsprechenden Herstellungsverfahrens sowie durch unmittelbare Beeinflussung gewisser Abschnitte der einzelnen Herstellungsarten auf Verbesserung des Schienenstoffes hinzuwirken. Gegen letzteren Vorschlag wurde allerdings in der Technikerversammlung seitens des Verfassers das Bedenken erhoben, daß durch eine derartige bahnseitige Einflußnahme auf die Herstellungsart der Schienen den Eisenbahnverwaltungen auch die Verantwortung für eine gute Stoffbeschaffenheit der Schienen zugeschoben und damit den Eisenwerken eine kaum beabsichtigte Entlastung gewährt werden, also diesen ermöglicht würde, sich der Haftung für solche Schienen zu entziehen.

Hinsichtlich des Verhaltens der Schienen aus den verschiedenen Stahlgattungen sagt die Schlußfolgerung: »Mit Bezug auf Abnutzung verhielten sich nach den bis-

[118]) Fortschritte der Technik des deutschen Eisenbahnwesens in den letzten Jahren. VII. Abteilung. Wiesbaden 1903.

herigen Erfahrungen der meisten Verwaltungen die Bessemerstahlschienen günstiger als Schienen aus Martin- und Thomasstahl; doch kommen auch harte Martin- und Thomasstahlschienen den Bessemerstahlschienen mindestens gleich. Hinsichtlich der Bruchsicherheit zeigt der Martinstahl das günstigste, der Bessemerstahl das ungünstigste Verhalten.«

Sehr beachtenswerte Beiträge zur Beurteilung des Einflusses der Stoffgüte auf die Ausnutzungsfähigkeit der Schienen bringen die bereits erwähnten, auf den internationalen Eisenbahnkongressen zu Paris 1889, Petersburg 1892 und London 1895 von Bricka und de Busschere erstatteten Berichte über die Stoffbeschaffenheit der Schienen und über die Aufzeichnungen der Schienenbrüche und die Abnutzung der Stahlschienen, wenn sie auch zum Teil sehr widerspruchsvolle Mitteilungen enthalten und so recht deutlich die Schwierigkeiten erkennen lassen, welche die Klarstellung dieser Frage bietet[119]). In dem dem Pariser Kongresse erstatteten Berichte gelangt Bricka zu der Schlußfolgerung, daß Schienen aus hartem Stahl im allgemeinen widerstandsfähiger sind als solche aus weichem Stahl, und zwar sowohl hinsichtlich ihrer regelmäßigen Abnutzung, wie ihrer zufälligen Zerstörung, vorausgesetzt, daß sie hinsichtlich ihrer Erzeugung und ihrer chemischen Zusammensetzung hinreichende Sicherheit gegen Bruchgefahr bieten, was durch Proben festgestellt werden müsse. Die Doppelkopfschienen gestatten die Verwendung eines härteren Stahles als die Breitfußschienen.

Die Möglichkeit der Herstellung guter, harter Stahlschienen nach dem Thomas- oder basischen Martin-Verfahren erschien dem Berichterstatter des Pariser Kongresses zweifelhaft, hingegen erklärte Bricka in dem dem Londoner Kongresse 1895 erstatteten Berichte diese Schwierigkeiten durch die Vervollkommnungen, welche in den letzten Jahren bei der Erzeugung basischen Stahles erzielt wurden, für beseitigt. In letzterem Berichte wird auch die Bedeutung der Gleichförmigkeit des Schienengefüges für den Widerstand der Schiene gegen Bruch und die Notwendigkeit chemischer und mikroskopischer Untersuchungen des Gefüges der Schienen für die Erforschung der Ursachen der Schienenbrüche dargelegt[120]).

Der internationale Eisenbahnkongreß in Paris 1900 beschäftigte sich auf Grund der Berichte von Bricka, Dudley, Poulet und Post[121]) neuerlich eingehend mit der Frage des geeignetsten Schienenstahles. Die Besprechung dieser Frage zeigte, wie widersprechend die Meinungen der Fachgenossen hierüber derzeit noch sind. Dudley vertrat die Ansicht, daß schwere Schienen aus zähem und hartem Stahl anzuwenden seien, während Siegler meinte, daß sich schwere Schienen rascher abnutzen als leichte, und Post nach Beobachtungen auf Versuchsstrecken mitteilte, daß durch die ersten 30000 Züge weiche Schienen sich mehr abnutzen als harte, während durch die folgenden 65000 Züge die harten Schienen eine größere Abnutzung erfahren haben als die weichen. Der internationale Eisenbahnkongreß zu Paris 1900 kam auf Grund der erwähnten Berichte zu der Schlußfolgerung, daß es dermalen nicht möglich erscheine, genau die Beschaffenheit des Stoffes festzustellen, der für die Anfertigung von Schienen zu empfehlen wäre.

Ein von der Gesellschaft der amerikanischen Zivilingenieure erwählter Schienenausschuß klagt in seinem im American Manufacturer (1903) veröffentlichten Bericht über die infolge der übertriebenen Massenerzeugungen zutage tretenden Verschlechterung in der Güte der amerikanischen Schienen. Insbesondere haben die neuerdings gewalzten schweren Schienen den Erwartungen der Eisenbahnverwaltungen nicht entsprochen, da die durch das höhere Gewicht verursachten Mehrkosten nicht durch eine längere Dauer der Schienen ausgeglichen wurden. Bessere Anordnung des Schienenquerschnittes, gründliche Durcharbeitung des Schienenstoffes bei niedriger Temperatur werden zur Besserung der Schienendauer empfohlen. Auf dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Washington 1905 gelangte die Frage des geeigneten Schienenstahles auf Grund der Berichte von Post, Bogaert und Dudley neuerlich zur Erörterung, und hat insbesondere Bogaert in

---

[119]) Bricka, Bericht zur Frage I/A auf dem internat. Eisenb.-Kongr. 1889; Bricka und Busschere, Bericht zur Frage VIII/A auf dem internat. Eisenb.-Kongr. 1892, mit 4 Noten; Bricka, Bericht zum Formular A, betr. Stahlschienenbrüche, auf dem internat. Eisenb.-Kongr. zu London 1895.

[120]) Siehe hierzu auch Werschovsky, Über die Natur des Stahles für Schienen, Anmerkung zur Frage I/A des internat. Eisenb.-Kongr. 1889; ferner J. W. Post, Über Abnutzung von Stahlschienen verschiedener Härte, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890 und 1899.

[121]) Internat. Eisenb.-Kongr. Paris 1900, Allgem. Bericht, Brüssel 1901.

seinem zur Frage II erstatteten Berichte auf die Fortschritte in der Erzeugung von Thomasstahlschienen aufmerksam gemacht und auf deren gutes Verhalten hingewiesen. Bogaert empfiehlt gleichfalls das Walzen der Schienen bei niedrigerer Temperatur.

Neben der ursprünglichen Güte des Schienenstahles spielen aber auch die Behandlung der Schienen bei der Herstellung (Art der Kalibrierung der Walzen, Wärme des Blockes und der fertigen Schiene, mehr oder minder rasche Abkühlung derselben, Art des Geraderichtens, Herstellung der Bolzenlöcher usw.) und beim Versenden und Verwenden (Verletzungen beim Abladen, Biegen und Kürzen) eine wesentliche Rolle in der Schienendauer und besonders als Ursachen von Schienenbrüchen.

Schutz gegen eine aus allen diesen Umständen sich ergebende zu rasche Schienenzerstörung suchen die Bahnen zu finden in Beaufsichtigung der Herstellung im Werke, in Vervollkommnung und strenger Handhabung der Prüfungsverfahren, in Festsetzung einer ausreichenden Haftpflicht der liefernden Eisenwerke und in sorgfältiger Behandlung der Schienen beim Versenden und Verlegen.

2. Die Art der Gleisanordnung und die Sorgfalt der Gleisunterhaltung. — Daß die Gleisanordnung der Größe der Lastwirkungen angepaßt sein muß, ist selbstverständlich. Es wird daher für die Dauer der Schienen auch nicht gleichgültig sein, ob bei eintretenden wesentlichen Änderungen in der Verkehrsstärke das Gleis eine genügende Verstärkung erfahren hat oder nicht. In den statistischen Aufzeichnungen ist der Einfluß der Änderungen der Gleisanordnung während der Benutzungsdauer des Gleises deutlich wahrnehmbar. Er darf bei Bildung von Durchschnittswerten nicht außer acht gelassen werden. Nicht minder ist für die Schienendauer die Sorgfalt in der Gleisunterhaltung wichtig. Ihrem Einfluß ist jedoch in den statistischen Ermittlungen zumeist nicht Rechnung getragen. Für die Schienenabnutzung sind aber noch von besonderer Bedeutung der Schienenquerschnitt und die Schienenstoßverbindung.

Hinsichtlich des Schienenquerschnittes weisen die von Stockert[122]), Hawks[123]), Ast[124]) u. a. mitgeteilten Beobachtungen, wonach das günstigere Verhalten statisch minderwertiger Schienen — in Abnutzung und Bruch — wesentlich auf deren bessere Stoffverteilung zurückzuführen ist, darauf hin, daß die Schienenform eine gute Durcharbeitung des Stahles und günstige Abkühlung ermöglichen muß. Nach diesen Erfahrungen, welche durch die mikroskopischen Untersuchungen Dr. Weddings[125]) über das Gefüge verschiedener Schienenquerschnitte und die Ätzversuche Asts ihre Erklärung finden, erweisen sich die breiten und dünnen, weniger massigen Schienenköpfe widerstandsfähiger, als solche von verhältnismäßig zu großer Kopfhöhe.

Von Bedeutung für die Schienenabnutzung ist auch die Form der Lauffläche des Schienenkopfes und dessen seitliche Abrundung. Die Abnutzung wird um so geringer sein, je mehr die Form der Fahrfläche des Schienenkopfes jener der Radreifen sich anschmiegt, da mit der Größe der Berührungsflächen der Druck auf die Flächeneinheit geringer wird. Insbesondere ist wichtig, daß die seitliche Abrundung des

---

122) Stockert, Beiträge zur Schienenstatistik, Wiesbaden 1890.

123) Hawks, Bericht des Schienenkomitees der amerikanischen Gesellschaft der Zivilingenieure, Railroad Gazette, April 1892.

124) Ast, Bericht zur Frage V/A auf dem internat. Eisenb.-Kongr. 1892.

125) Wedding, Das Gefüge des Schienenkopfes, Glasers Annalen 1890.

Schienenkopfes der Hohlkehle des Radreifens angepaßt und nicht kleiner als diese bemessen ist[126]).

Von der größten Bedeutung für die Schienendauer ist aber der Widerstand der Stoßverbindung[127]), da die Zerstörung der Schienen zuerst am Stoße auftritt. An dieser Stelle sind die Schienen den Hammerschlägen der Räder am meisten ausgesetzt; sie erleiden deshalb hier die stärksten Beschädigungen. Die dabei entstehenden Plattdrückungen, Auswalzungen und Streckungen des Schienenkopfes können die Längenausdehnung der Schienen verhindern und seitliche wie senkrechte Ausbiegungen veranlassen. Diese Zerstörungen der Schienenenden steigern sich, sobald durch die Abnutzung der Laschenanlageflächen die Schienenverbindung schlottrig wird. Insbesondere erhöht sich dann die Bruchgefahr der Schienen an dieser Stelle. Eine sorgfältige Gleisunterhaltung kann aber gerade hier — durch Einlegung passender Futterbleche in schlottrige Stöße, durch sorgfältige Auswahl beim Einlegen von Ersatzschienen, fleißiges Nachziehen der Laschenschrauben und gutes Unterstopfen der Stoßschwellen — wesentlich zur Verlängerung der Schienendauer beitragen.

3. Die über die Schienen gerollte Last, die Radbelastung der Fahrzeuge, die Zahl und Fahrgeschwindigkeit der Züge. — Den bisherigen Bearbeitungen der Schienenstatistik des V. d. E. V. liegt — wie bereits erwähnt — als Vergleichseinheit die Beanspruchung des Gleises durch die darüber gerollte Gesamtlast zugrunde. Stockert hat jedoch schon im Jahre 1872 aus der Schienenstatistik der Kaiser Ferdinands-Nordbahn nachgewiesen, daß auch die Größe des Raddruckes von wesentlichem Einflusse auf die Schienendauer ist[128]). Nach den neueren Mitteilungen General Petroffs auf dem Pariser internationalen Eisenbahnkongresse 1890 wäre bei verschiedenen Achsdrücken der Wagen die Schienenabnutzung der Quadratwurzel des Achsdruckes proportional anzunehmen[129]).

Stockert ermittelte jedoch in seinen neueren Beiträgen zur Schienenstatistik (1890), daß nur bei Eisenschienen die Zerstörungsgefahr im umgekehrt quadratischen Verhältnis zur Radlast stehe. Bei Puddelstahl- und Flußstahlschienen soll dieses Verhältnis annähernd ein umgekehrt einfaches sein.

Über den Einfluß der Zugzahl äußert sich Coüard in seiner bemerkenswerten Untersuchung »Über Stahlschienenabnutzung« dahin, daß die Zahl der seit

---

126) Siehe hierüber Wöhler, Beziehungen zwischen Schienenkopf- und Radreifenprofil, Centralbl. d. Bauverw. 1881, 1884; Bericht des Ausschusses über die Beziehungen zwischen Schienen- und Radreifenform, Verhandl. der Amer. Soc. of Civ.-Eng.; Über die Berührungsflächen zwischen Rad und Schiene, Railw. Eng., März 1895. In den letztgenannten Mitteilungen wird über Versuche berichtet, die J. B. Johnson über die Größe der Berührungsflächen zwischen Rad und Schiene und über die Größe des auf die Flächeneinheit entfallenden Druckes anstellte. Das Bemerkenswerteste ist, daß die Größe der Berührungsfläche in gleichem Verhältnis mit dem Drucke wuchs und daß daher der auf die Flächeneinheit entfallende Druck sich immer gleich blieb. Bei einer Anfangsbelastung der Räder mit 2,3 t, und dann um je 2,3 t bis zu 27 t ansteigend, betrug der mittlere Druck 5600 kg/qcm. Der Druck auf der berührten Fläche nimmt aber gegen deren Mitte zu und ist hier etwa doppelt so groß, also etwa 11 200 kg/qcm. — Vgl. auch das II. Kap. des II. Bandes, § 12.

127) Siehe hierzu auch Asts Bericht zur Schienenstoßfrage auf dem internationalen Eisenbahnkongresse zu Paris 1900 und Bericht der Kaiser Ferdinands-Nordbahn über die Frage: Welche Mittel zur Beseitigung oder Minderung des schädlichen Einflusses des Schienenstoßes haben sich als geeignet erwiesen? Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1900. Neuer Bericht an den technischen Ausschuß des V. d. E. V. 1905.

128) Siehe Stockert, Über Abnutzung und Dauer der Eisenbahnschienen, Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1872.

129) Siehe Kislanski, Anmerkung zur Frage I/B des intern. Eisenb.-Kongr. zu Paris 1890.

Verlegung der Bahn beschädigten Schienen sich im Verhältnis des Quadrates der Anzahl der darüber gerollten Züge vergrößert[130]).

Durch die Erfahrung ist ferner festgestellt, daß die Schienenabnutzung unter sonst gleichen Umständen mit der Fahrgeschwindigkeit wächst.

Die Mannigfaltigkeit dieser Einflüsse bereitet der Ableitung eines Gesetzes für das Verhalten der Schienen aus den bisherigen Aufzeichnungen um so größere Schwierigkeiten, als sich gerade in den letzten Jahren eine wesentliche Änderung in den Verkehrsverhältnissen dadurch vollzog, daß Güterwagen mit sehr erhöhter Radbelastung in Verkehr gesetzt wurden und daß die Fahrgeschwindigkeit der Züge allenthalben nicht unbedeutende Steigerungen erfahren hat.

4. Die Bauart der Fahrzeuge und die Sorgfalt ihrer Erhaltung. — Hierbei kommen insbesondere in Betracht der Radstand und die Möglichkeit einer radialen Einstellung der Achsen in den Krümmungen, sodann der Raddurchmesser, sowie die Stoffbeschaffenheit und die Form der Radreifen[131]).

Der Radstand beeinflußt die Schienenabnutzung nach Maßgabe des Verhältnisses zwischen seiner Größe und jener des Halbmessers der Bahnkrümmungen, bzw. der Größe der in letzteren angewandten Spurerweiterung und Schienenüberhöhung, da von diesem Verhältnis der Widerstand abhängt, welchen die Fahrzeuge der Fortbewegung in Krümmungen entgegensetzen. Demgemäß wächst die Schienenabnutzung mit der Größe fester Radstände und nimmt ab mit dem Grade der Schmiegsamkeit, welche durch Lenkachsen und Drehgestelle geboten wird.

Die Schienenabnutzung steht weiter in umgekehrtem Verhältnis zur Größe des Raddurchmessers, da mit dieser der Berührungsgrad von Rad und Schiene wächst, die Beanspruchung der Flächeneinheit mithin geringer wird.

Hinsichtlich der Form der Radreifen kommt nicht nur deren ursprüngliche Gestalt in Betracht, sondern auch die mehr oder minder große Sorgfalt in der Erhaltung durch rechtzeitiges Nachdrehen derselben; denn die schädlichsten Einwirkungen auf die Schiene gehen von den abgenutzten, insbesondere den unrunden und mit Plattdrückungen versehenen Radreifen aus[132]).

Von Wichtigkeit für die Abnutzung der Räder wie der Schienen ist aber ganz besonders auch die Stoffbeschaffenheit der Radreifen, vor allem deren Härte, welche mit der Schienenhärte tunlichst übereinstimmen soll, da, je verschiedener diese sind, um so rascher eine Formänderung bei diesen oder jenen eintritt. Mit Rücksicht auf die Wechselwirkungen zwischen Rad und Schiene würden Festigkeiten von 65 bis 75 kg für das Quadratmillimeter und Dehnungen von 15 bis 17 v. H. sich für beide als wünschenswert ergeben[133]).

5. Die Neigungs- und Krümmungsverhältnisse des Gleises. — Da die Schienenbeanspruchung unter sonst gleichen Umständen mit der Größe der Bewegungswiderstände, mit der Fahrgeschwindigkeit und mit der Benutzung der Bremsen wächst, so ist in stärkeren Neigungen und Krümmungen die Schienenabnutzung eine größere, als in wagerechten oder in schwach fallenden Strecken. Aus der Vereinsschienenstatistik — Erhebungsjahre 1879/1893, Berlin 1897 — ist ersichtlich, daß

130) Revue génér. d. chem. d. fer 1889.

131) Vgl. das II. Kap. des I. Bandes, § 16 und 17.

132) Nach Rüppell besitzt nur ein Sechstel aller laufenden Radreifen die regelmäßige Form.

133) Siehe Anitschkow, Über die Natur des Stahles für die Radreifen, Bericht zur Frage V/A des intern. Eisenb.-Kongr. zu St. Petersburg 1892.

die geringsten Abnutzungen nicht auf der geraden wagerechten Strecke, sondern auf schwach fallenden Strecken (Neigung 1 : 333⅓ bis 1 : 200) vorkommen, was darin seine Erklärung findet, daß auf diesen Strecken die Zugkraft der Lokomotive nicht in Wirkung tritt, während anderseits die Bremsen hier nur selten oder garnicht in Benutzung genommen werden. In stärkeren Gefällen beeinflussen jedoch die größere Fahrgeschwindigkeit und die Anwendung der Bremsen die Schienenabnutzung in sehr nachteiliger Weise[134]).

In Krümmungen sind es vorzugsweise die seitlichen Angriffe der Spurkränze, welche die Außenschienen an der Innenseite des Kopfes beanspruchen[135]). Das Vorderrad wird mit dem Spurkranze an die Außenschiene angepreßt und übt hier infolge der wechselnden Richtung des Angriffes eine feilende und schabende Wirkung aus, die eine rasche Zerstörung der Schienenoberfläche herbeiführt. Da die Größe dieser Angriffe sich steigert mit dem Krümmungswiderstande und mit dem Wachsen des Winkels, unter welchem das Vorderrad an die äußere Schiene anläuft, sich dagegen vermindert mit dem Grade, in welchem die Wirkungen der Fliehkraft durch die Überhöhung der äußeren Schiene abgeschwächt werden, so wird im allgemeinen die Außenschiene um so mehr abgenutzt, je kleiner der Krümmungshalbmesser, je weniger schmiegsam die Fahrzeuge, je geringer die Schienenüberhöhung und je größer die Spurerweiterung bzw. die Spielräume zwischen Rad und Schienen sind. Die Innenschiene erleidet in Krümmungen dadurch, daß infolge der seitlichen Verschiebung der Räder andere Laufkreise zur Einwirkung gelangen und bei zu großer Überhöhung der äußeren Schiene der Spurkranz des inneren Hinterrades auf die innere Schiene Angriffe ausübt, ebenfalls andere Arten der Abnutzungen, als in geraden Gleisstrecken[136]).

Die Abbildungen 15 und 16 veranschaulichen die Formen der Schienenabnutzungen in Krümmungen. Dieselben sind einem Paare Bessemerstahlschienen entnommen, aus einer Gleisstrecke vom Krümmungshalbmesser $R = 758$ m, die im Gefälle von 1 : 240 liegt und über welche in 16 Jahren eine Last von 84,94 Millionen Tonnen gerollt ist.

Eine Bezifferung des Einflusses der Neigungen und Krümmungen des Gleises auf den Schienenverbrauch hat Stockert in seiner bereits erwähnten Schrift über Abnutzung und Dauer der Eisenbahnschienen durch Zahlen zu geben versucht, welche das Verhältnis zwischen der Last kennzeichnen sollen, die auf dem betreffenden Gleis und auf einem damit verglichenen wagerechten und geraden Gleis bis zu deren gänzlicher Ausnutzung befördert werden kann. Ergibt sich z. B. für das Gefälle 1 : 200 eine Verhältniszahl c, so heißt dies, daß in diesem Gefälle ein Verkehr von x Tonnen dieselbe Wirkung herbeiführen wird, wie ein Verkehr von $x_1 = x(1 + c)$ Tonnen auf wagerechter Bahn, oder $x = \frac{x_1}{1 + c}$ Tonnen, wenn die Ausnutzungslast auf wagerechter Bahn für bestimmte Schienen bekannt ist. Die von Stockert aus der Schienenstatistik der Kaiser Ferdinands-Nordbahn abgeleiteten Verhältniszahlen gelten indes nur für die älteren geschweißten Schienen; ihre Anwendung auf andere Schienen und andere Verhältnisse ist nicht zulässig. Die Aufstellung ähnlicher Werte für Flußstahlschienen ist bisher nicht versucht worden und nach dem heutigen Stande der Schienenstatistik auch wohl nicht angängig.

---

134) Siehe Rüppell, Über Abnutzung der Stahlschienen auf der geneigten Ebene bei Aachen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1880.

135) Theoretische Erörterungen hierüber finden sich in Scheffler, Die Wirkung zwischen Schiene und Rad, Braunschweig 1868; Boedeker, Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene, Hannover 1887; R. Helmholtz, Die Ursachen der Abnutzung von Spurkränzen und Schienen in Bahnkrümmungen und die konstruktiven Mittel zu deren Verminderung, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1888. Vgl. auch das II. Kap. des I. Bandes, § 16 und § 17.

136) Vgl. das II. Kap. des II. Bandes, § 8.

Es sei in dieser Hinsicht auf die Schlußfolgerungen aus der Schienenstatistik des V. d. E. V. (Erhebungsjahre 1879/1893) hingewiesen, welche sagen: »Eine nähere Betrachtung des Endergebnisses der Ermittlungen über die Auswechslungen der Stahlschienen läßt erkennen, daß, obgleich hier die Versuchsstrecken nach ihrer verschiedenartigen Beanspruchung in Neigung und Krümmung getrennt aufgeführt erscheinen, der Abgang der Schienen ganz ungleichmäßig erfolgt und daß weder mit zunehmender Neigung noch mit zunehmender Krümmung der Strecken ein stetiges Wachsen der Auswechslungsziffer eintritt.« Dies Ergebnis ist hier erklärlich, da in den Auswechslungsziffern auch die Schienenbrüche — also ganz zufällige Vorkommnisse — enthalten sind und weil die verglichenen Versuchsstrecken in Länge, Stoffgüte der Schienen, Fahrgeschwindigkeit der Züge, Radbelastungen usw. wesentliche Verschiedenheiten aufweisen. Hingegen sind die über die Abnutzung der Schienen mitgeteilten Ergebnisse — weil von Zufälligkeiten weniger beeinflußt — verläßlicher. Es wird aus ihnen gefolgert, daß sowohl in eingleisigen, als auch in zweigleisigen Bahnstrecken die Abnutzung der Schienen mit größer werdender Neigung und Krümmung der Strecken stetig im Wachsen begriffen ist. Die Frage, ob bei zweigleisigen Strecken die Abnutzung im Gefälle oder in der Steigung erheblicher ist, läßt sich aus den vorliegenden Mitteilungen mit Sicherheit nicht beantworten. Für die in Krümmungen liegenden Versuchsstrecken ergibt sich, daß die Flächen-

Abnutzung von Bessemerstahlschienen
in einer Gleisstrecke vom Halbmesser $R = 758$ m im Gefälle 1:240.
Verwendungszeit: 1875 bis 1891. Verkehrslast im ganzen: 84,94 Millionen Tonnen.

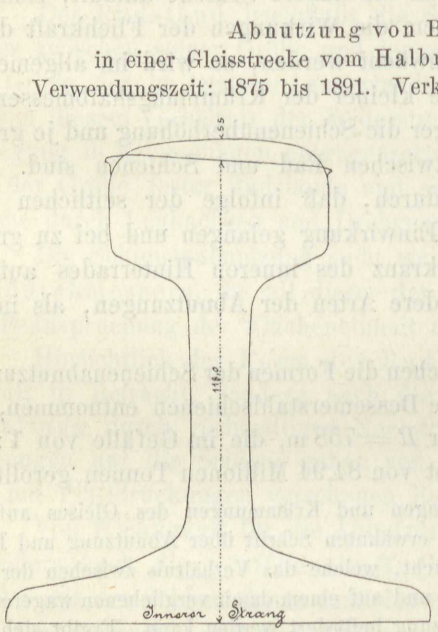


Abb. 15. Abnutzung des Schienenkopfes an Höhe: 5,5 mm, Fläche: 231,8 qmm.

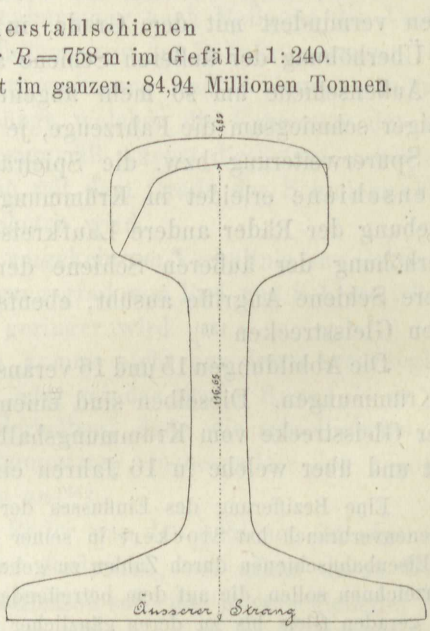


Abb. 16. Abnutzung des Schienenkopfes an Höhe: 6,85 mm, Fläche: 477 qmm.

abnutzung nicht in demselben Verhältnis zunimmt wie die Höhenabnutzung; die Flächenabnutzung ist im allgemeinen im äußeren Schienenstrange größer als im inneren. Die Gesamtabnutzung der Schienen erscheint vielfach am geringsten, wenn die Überhöhung des äußeren Schienenstranges derart gewählt ist, daß die Flächenabnutzung im äußeren Schienenstrange größer wird als im inneren, die Höhenabnutzung aber im inneren Schienenstrange größer wird als im äußeren. Dieser Wahrnehmung soll in der Vereinsstatistik in Zukunft noch besondere Beachtung geschenkt werden. Einige ziffermäßige Angaben über die aus der Vereinsstatistik sich ergebenden Abnutzungswerte sollen im folgenden noch mitgeteilt werden.

6. Die Witterungs- und örtlichen Verhältnisse. Was diese betrifft, so kann auf die bereits im § 7 erfolgte Darlegung des Einflusses der Witterungsverhältnisse auf das Verhalten des Oberbaues im ganzen verwiesen werden. Aus diesen geht hervor, daß insbesondere Frost bei mangelhafter Entwässerung der Bettung und des Untergrundes Störungen im Gleisgefüge veranlaßt, welche die Wirkungen der Fahrzeuge erhöhen und im Verein mit der bei niedrigen Wärmegraden eintretenden

Verminderung der Zähigkeit des Stahles die Bruchgefahr für die Schienen erhöhen. Neuere Beobachtungen weisen darauf hin, daß besonders jede Verletzung der Schienen bei niedriger Wärme Brüche veranlassen kann. Auch ist bereits die Schädlichkeit der Wärmeausdehnung der Schienen bei nicht ausreichender Wärmelücke, sowie der zerstörende Einfluß der Rostbildung in Tunneln dargelegt worden[137]).

e. Schienenbrüche. — Es ist bereits darauf hingewiesen worden, daß die verschiedenartigen Formen der Schienenzerstörung, welche die Schienenauswechslung veranlassen, ehe noch eine volle Querschnittsausnutzung der Schienen erfolgte, wesentlich durch die Stoffbeschaffenheit derselben veranlaßt sind. Insbesondere gilt dies von den Schienenbrüchen. Der Schienenbruch ist die bedenklichste Form der Schienenzerstörung, da er unter ungünstigen Umständen schwere Betriebsunfälle veranlassen kann. Bei den früher verwendeten Eisenschienen war die Zahl der Brüche verhältnismäßig gering; mit Einführung der Stahlschienen aber ist die Bruchgefahr wesentlich gestiegen. Die statistischen Aufzeichnungen zeigen, daß Puddelstahlschienen mehr als Eisenschienen, und Flußstahlschienen mehr als Schweißstahlschienen brechen. Anfänglich waren es insbesondere die gleich in der ersten Zeit nach dem Verlegen der Stahlschienen eintretenden Brüche, die in hohem Grade beunruhigten. Da man erkannte, daß diese Brüche hauptsächlich durch zu große Sprödigkeit des Stahles und durch mechanische Verletzungen veranlaßt sind, suchte man dagegen Schutz in vorsichtigerem Abkühlen der Schienen, in Änderungen in der Art des Geraderichtens derselben, in Vermeidung von Einklinkungen, in Bohren der Löcher für die Laschenbolzen und in vorsichtiger Behandlung beim Abladen und Verlegen der Schienen[138]). Die weitere Erfahrung lehrte, daß die Pause, die nach Ausscheidung der schon mit Gebrechen in die Gleise verlegten Schienen einzutreten pflegt, keine dauernde ist. Sobald eine gewisse Abnutzung der Schienen erreicht ist, beginnt die Brüchigkeit derselben von neuem; und diese ist, wie neuere Untersuchungen vermuten lassen, hauptsächlich in der Ungleichartigkeit des Stoffgefüges der Flußstahlschienen zu suchen, welche ihrerseits durch die chemische Zusammensetzung und die Herstellungsart des Schienenstahles beeinflußt ist.

Die Einblicke in das Schienengefüge, die uns die schon erwähnten mikroskopischen Untersuchungen Weddings, Osmonds und Sauveurs[139]), sowie die Ätzversuche Asts gewähren, zeigen, daß nach Abnutzung der äußeren widerstandsfähigeren Stahlschicht ein blasenreicherer und anscheinend spröderer Kernteil der Schiene zum Tragen kommt, der den Lasteinwirkungen nicht mehr den erforderlichen

---

137) Daß auch in freier Strecke die Schienenabnutzung durch die Witterung beeinflußt wird, sucht eine Abhandlung darzutun, welche der Bahnerhaltungsingenieur Footner der London and North-Western-Bahn 1886 in den Minutes of Proceedings of the Inst. of Civ.-Eng. in London veröffentlicht hat. Dort führt Footner die ungleiche Dauer von Schienen gleichen Stoffes auf den ungleichen zerstörenden Einfluß der Luft in ländlicher Umgebung und in der Nähe der Fabriken zurück. Der ganze Schienenquerschnitt erleide unter diesen chemischen Einflüssen eine Verminderung; besonders seien die blanken Stellen der Schienenoberfläche einem gesteigerten Angriffe durch Rost ausgesetzt. Footner will damit erklären, warum manchmal bei Schienen desselben Bezirkes die Abnutzung des Kopfes sehr wesentlich verschieden ist und nicht im richtigen Verhältnis zur darüber gerollten Last und dem Schienenalter steht.

138) Vgl. die Äußerungen der Technikerversammlung zu Düsseldorf 1874 über die Ursache der Brüche von Gußstahlschienen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. V. Ergänz.-Bd. 1874; ferner: Der Schienenbruch im Eisenbahnbetrieb, Ziviling. 1884.

139) A. Sauveur, Das Kleingefüge von Stahlschienen, Bericht auf dem Ingen.-Kongr. Chicago 1893; siehe auch die Zeitschrift »Stahl und Eisen« 1894.

Widerstand entgegenzusetzen vermag. Der Bruch tritt dann um so leichter ein, wenn, wie dies in den Wintermonaten bei nicht genügender Entwässerung des Schotterbettes — insbesondere in nassen Einschnitten — der Fall ist, durch Frosthebungen die Schläge der Räder gesteigert und die Unterstützungsweiten der Schienen vergrößert werden. Daß überdies Kälte (zwischen 0° und —20°) auch das Stoffgefüge der Schienen im Sinne größerer Brüchigkeit beeinflußt, scheint — nach den Mitteilungen Steiners, der sich hierbei auf die Arbeiten Dewars, Rudloffs und seine eigenen stützt — nicht zweifelhaft[140]). Diese zeigen, daß dann insbesondere die geringsten Verletzungen der Schienen den Bruch leicht herbeiführen. Der Einfluß der Jahreszeit und Witterung auf die Zahl der Schienenbrüche ist in den statistischen Aufzeichnungen deutlich wahrnehmbar und weist auf wesentlich größere Brüchigkeit der Schienen in den Wintermonaten hin[141]).

Der Einfluß der Gleisanordnung macht sich insbesondere am Schienenstoße geltend. Das Verhältnis zwischen den Schienenbrüchen in der Nähe des Stoßes und jenen in der Schienenmitte ist beim festen Stoße größer als beim schwebenden, und die Zahl der Schienenbrüche am Stoße wächst, sobald die Stoßverbindung schlotterig wird. Das Anwachsen der Schienenbrüche von einem bestimmten Zeitpunkte an kann übrigens auch dadurch veranlaßt sein, daß nach den Wöhlerschen Versuchen eine häufige Wiederholung der Spannung schließlich den Bruch herbeiführt.

Wie groß die Zahl der Schienenbrüche noch immer ist, und deren Anwachsen in den letzten 20 Jahren, zeigt nachstehende auf Grund der statistischen Nachrichten des V. d. E. V. bearbeitete Zusammenstellung der auf den Vereinsbahnen in den Jahren 1883 bis 1902 erfolgten Schienenbrüche. Die Gesamtzahl der Brüche stieg hiernach von 3690 im Jahre 1883 auf 15547 im Jahre 1902, d. i. um 321 v. H., während in der gleichen Zeit die Betriebslänge nur um 57 v. H., die Gleislänge um 67 v. H. gestiegen ist. Allerdings erhöhte sich in der gleichen Zeit die durchschnittliche Anzahl der über diese Bahnen beförderten Züge um 46 v. H. und die durchschnittliche Belastung jeder Lastwagenachse um etwa 16 v. H., doch reicht dies allein zur Erklärung des Anwachsens der Schienenbrüche nicht aus. Diese Erscheinung ist vielmehr auch auf das gleichzeitige Anwachsen der Fahrgeschwindigkeiten, die Einführung von Lokomotiven und Wagen mit wesentlich größeren Achsdrücken, sowie auf die Mängel der Stoßverbindung und die ungleichmäßigere Stoffgüte der Schienen zurückzuführen. Ein Vergleich der für den Zeitabschnitt 1893 bis 1902 vorgeführten Ziffern mit jenen des Zeitabschnittes 1883 bis 1893[142]) läßt jedoch erkennen, daß im letzten Jahrzehnt eine gewisse Besserung in diesen Verhältnissen eingetreten ist; denn während vom Jahre 1883 bis 1893 die Gesamtzahl der Brüche um 200 v. H. — bei einem Gleiszuwachs von 32 v. H. — gestiegen war und im 11jährigen Durchschnitte ein Schienenbruch auf 14,9 km Gleislänge

---

140) Siehe Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1896.

141) Bemerkenswert ist besonders ein von Funk im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1887 mitgeteilter Fall des Bruches einer Bessemerstahlschiene in 17 Stücke, der im Dezember 1879 bei —3° R. nach anhaltender Kälte von —12° R. durch einen die Strecke befahrenden Schnellzug herbeigeführt wurde. Die nachträglich mit den Stücken angestellten Proben zeigten durchaus zufriedenstellende Ergebnisse. Auch die chemische Zusammensetzung ergab keinen Grund für das Zerbrechen der Schiene. — Nach Stockerts Mitteilungen verhalten sich die im Januar vorkommenden Brüche zu denen im Mai ungefähr wie 30 : 1; nach den in den Statistischen Nachrichten des V. d. E. V. von den Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen mitgeteilten Schienenbrüchen (1889 bis 1893) entfällt auf den Monat Januar die größte, auf den Monat Juli die geringste Zahl derselben. Die italienische Südbahn teilt in einer Note zur Frage VIII/A auf dem internat. Eisenb.-Kongr. zu Petersburg 1892 mit, daß die Zeit vom Dezember bis März 55 v. H., Oktober bis November und April bis Mai 31 v. H., und Juni bis September bloß 14 v. H. der Schienenbrüche umfaßt.

142) In der ersten Auflage dieses Handbuches (2. Abt., S. 340) sind die bezüglichen Ziffern für die Jahre 1885 bis 1894 einzeln ausgewiesen.

Zusammenstellung

der auf den Vereinsbahnen in den Jahren 1883 und 1893 bis 1902 erfolgten Schienenbrüche.

Jahre		1883	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	Im 10jährigen Durchschnitte
Betriebslänge der Vereinsbahnen in km		59 835	76 948	78 177	79 713	81 924	84 286	86 468	89 150	91 084	92 679	93 936	85 436
Gesamtlänge aller Gleise der Vereinsbahnen in km		93 436	123 710	126 712	130 187	133 887	137 141	142 764	146 644	150 034	153 416	156 371	140 087
Von der Gesamtlänge aller Gleise entfallen km auf	Eisenschienen	44 683	26 297	25 193	23 635	22 941	21 844	20 924	20 108	19 402	18 824	18 396	21 756
	Stahlschienen	41 446	91 481	95 838	101 372	106 145	110 523	117 209	122 076	126 331	130 469	134 020	113 546
	Eisen- und Stahlschienen	7 307	5 932	5 681	5 180	4 801	4 773	4 631	4 460	4 301	4 123	3 955	4 784
Anzahl der Schienenbrüche im ganzen		3 690	11 082	11 259	11 793	12 770	12 865	13 504	14 634	17 392	17 326	15 547	13 817
Von der Gesamtzahl der Schienenbrüche entfallen Stück auf	Eisenschienen	612	337	314	312	225	313	219	303	250	240	475	299
	Stahlschienen	2 901	10 302	10 574	11 132	12 183	12 178	12 845	13 969	16 646	16 423	14 547	13 080
	Eisen- und Stahlschienen	177	443	371	349	362	374	440	362	496	663	525	439
Durchschnittliche Anzahl der über die ganze Bahn beförderten Züge auf das km, und zwar	Personenzüge	2 647	3 565	3 638	3 693	3 766	3 806	3 929	3 975	4 077	4 172	4 192	3 881
	Güter- und gemischte Züge	3 056	3 300	3 310	3 339	3 478	3 581	3 926	4 028	4 178	4 145	4 138	3 733
	Zusammen	5 703	6 865	6 948	7 032	7 244	7 387	7 855	8 003	8 255	8 317	8 330	7 614
Durchschnittliche Belastung jeder Lastwagenachse in t		2,15	2,35	2,38	2,38	2,40	2,46	2,50	2,52	2,53	2,50	2,50	2,45
Somit entfällt ein Schienenbruch auf km Betriebslänge		16,2	6,9	6,9	6,8	6,4	6,6	6,4	6,1	5,2	5,3	6,0	6,2
» » Gleislänge		25,3	11,2	11,3	11,0	10,5	10,7	10,6	10,0	8,6	8,8	10,0	10,1
» » Eisenschienen		73,0	78,1	80,2	75,8	102,0	69,8	95,5	66,4	77,6	78,4	38,7	72,8
» » Stahlschienen		14,3	8,9	9,1	9,1	8,7	9,1	9,1	8,7	7,6	7,9	9,2	8,7
» » Eisen- und Stahlschienen		41,3	13,4	15,3	14,8	13,3	12,8	10,5	12,3	8,7	6,2	7,5	10,9

Zusammenstellung

der auf den Vereinsbahnen in den Jahren 1883 und 1893 bis 1902 durch Schienenbrüche erfolgten Unfälle.

Jahre		1883	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	Im 10jährigen Durchschnitte
Betriebslänge der Vereinsbahnen in km		59 835	76 948	78 177	79 713	81 924	84 286	86 468	89 150	91 084	92 679	93 936	85 436
Gesamtlänge aller Gleise der Vereinsbahnen in km		93 436	123 710	126 712	130 187	133 887	137 141	142 764	146 644	150 034	153 416	156 371	140 087
Anzahl der Entgleisungen	auf freier Strecke	204	251	269	287	298	280	289	306	319	322	290	291
	auf Bahnhöfen	783	739	691	682	648	755	811	863	862	770	793	761
	zusammen	987	990	960	969	946	1 035	1 100	1 169	1 181	1 092	1 083	1 052
Anzahl der Schienenbrüche	im ganzen	3 690	11 082	11 259	11 793	12 770	12 865	13 504	14 634	17 392	17 326	15 547	13 817
	für je 1 Million Wagenachskilometer	0,26	0,52	0,51	0,52	0,53	0,51	0,51	0,52	0,60	0,60	0,52	0,53
	für jedes km Betriebslänge	0,06	0,14	0,14	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16	0,19	0,19	0,17	0,16
Zahl der Unfälle, die nachweisbar oder mutmaßlich durch Schienenbrüche veranlaßt sind		24	9	8	9	10	17	5	11	10	10	5	9
Somit entfällt ein Unfall auf km Betriebslänge		2 493	8 550	9 772	8 857	8 192	4 958	17 294	8 105	9 108	9 268	18 787	9 493
» » Gleislänge		3 893	13 746	15 839	14 465	13 389	8 067	28 553	13 331	15 003	15 342	31 274	15 565
» Anzahl von Entgleisungen in freier Bahn		8	28	34	32	30	16	58	28	32	32	58	32
» Anzahl von Schienenbrüchen		154	1 231	1 407	1 310	1 277	756	2 701	1 330	1 739	1 733	3 109	1 535

entfiel, stieg vom Jahre 1893 bis 1902 die Gesamtzahl der Brüche nur um 40 v. H. — bei einem Gleiszuwachs von 26 v. H. —. Dabei entfiel allerdings im 10jährigen Durchschnitte ein Schienenbruch schon auf 10,1 km Gleis. Dieses Verhältnis blieb im letzten Zeitabschnitte ziemlich gleich. Eine weitere Besserung ist von den teils durchgeführten, teils noch im Gange befindlichen Gleisverstärkungen und dem rascheren Ausscheiden älterer, den gesteigerten Verkehrsanforderungen nicht mehr gewachsenen Schienen zu erwarten. Immerhin muß es bei diesem Stande der Schienenbrüche als erfreulich bezeichnet werden, daß die Zahl der durch solche veranlaßten Betriebsunfälle eine verhältnismäßig geringe ist.

Wie die Zusammenstellung auf Seite 366 nachweist, veranlaßten in den Jahren 1893 bis 1902 von durchschnittlich 13817 Schienenbrüchen im Jahre nur 9 Brüche einen Unfall und entfiel auf 15565 km Gleislänge ein durch Schienenbruch herbeigeführter Unfall. Auch hierbei ist eine Besserung gegen den Zeitabschnitt 1883 bis 1893 zu erkennen, da in diesem 11jährigen Durchschnitte von 7610 Schienenbrüchen 14 Brüche einen Unfall veranlaßten und auf 7806 km Gleislänge ein durch Schienenbruch herbeigeführter Unfall entfiel.

Gerade zur Zeit der häufigsten Brüche im Winter vermindert der feste gefrorene Boden die unmittelbare Gefahr. Im übrigen sind die Verbesserung der Stoffgüte der Schienen und eine sorgfältige Entwässerung des Schotterbettes die wesentlichsten Mittel gegen Schienenbrüche. Die Aussetzung von Belohnungen für die Entdeckung von Schienenbrüchen dient zur Hintanhaltung von schädlichen Folgen. Bei eingetretenen Brüchen kann das Gleis zumeist durch Unterlegen von Schwellenstücken und Hilfsverlaschungen für das langsame Befahren mit Zügen brauchbar gemacht und dadurch eine Verkehrsstörung vermieden werden.

f. Abnutzung der Schienenverbindungs- und Befestigungsmittel. — Von den Verbindungs- und Befestigungsmitteln erfahren jene, welche die Schienenstoßverbindung bilden, die rascheste Abnutzung. Dies ist erklärlich, weil die üblichen Laschenverbindungen ihren Zweck, eine stetige Bahn herzustellen, nur unvollkommen erfüllen und diese Unzulänglichkeit der Oberbauanordnung gerade am Schienenstoße vermehrte und verstärkte Stoßwirkungen der Fahrzeuge veranlaßt, so daß der schwächste Punkt des Gleises zugleich die größte Inanspruchnahme erfährt. Da zwischen Laschen und Schienen von Anfang an ein genauer Anschluß in den Anlageflächen nicht stattfindet, und da die unvermeidlichen Spielräume unabhängige Bewegungen beider gestatten, so nutzen sich Schienen und Laschen zunächst an jenen Stellen ab, an welchen die Übertragung der (meist sehr hohen) Druckkräfte stattfindet. Demgemäß ist die Abnutzung der Laschen keine gleichmäßige, sondern am stärksten in der Mitte der oberen und an den Enden der unteren Anlageflächen, wie dies nebenstehende Abbildung andeutet. Die dadurch herbeigeführten Vergrößerungen der Spielräume erhöhen die Stoßwirkungen der Fahrzeuge, welche sich nun in Lockerungen der Stoßschwellen, in Laschenbrüchen und in beschleunigtem Verderb der Schienenenden geltend machen und nicht nur häufigere Unterstopfung des Schienenstoßes, Auswechslung der Laschen und Schrauben, sondern auch vorzeitige Auswechslung der Schienen veranlassen, ehe noch deren volle Ausnutzung erfolgt ist. Diese Erscheinungen treten insbesondere bei den älteren Laschenverbindungen auf, welche zu geringe Steifigkeit und schwache Schrauben besitzen. Durch Ausfüllung der Spielräume mit entsprechend geformten und bemessenen Futterblechen und Einziehung stärkerer Schrauben können diese schädlichen Wirkungen wenigstens für einige Zeit verzögert werden. Auch hat sich der Ersatz der verschlissenen Laschen durch neue von etwas größerer Höhe zwischen den Anlageflächen, in Verbindung womöglich mit einer Verminderung des Abstandes der Stoßschwellen, bei den preußischen Staatseisenbahnen als ein brauchbares Mittel zur längeren Erhaltung der Schienen sowie zur Wiederherstellung einer besseren

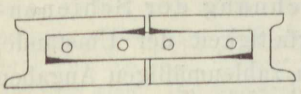


Abb. 17. Laschenabnutzung.

Stoßlage erwiesen. Die Laschen und Laschenschrauben erleiden überdies durch das Wandern der Schienen Beanspruchungen, die sich in Angriffen der Befestigungsmittel in den Laschenschlitzen und Klinkungen äußern, dort Verletzungen, mitunter selbst ein Abreißen des Laschenfußes veranlassen und auch Verbiegungen und Querschnittsschwächungen der Schraubenbolzen verursachen.

Wesentlich mitbedingt wird die Raschheit der Abnutzung und die Häufigkeit der Brüche der Laschen durch die Güte des Stoffes und die Art der Anarbeitung; insbesondere erhöht eine zu geringe Zähigkeit des Stahles und das Stanzen — anstatt des Bohrens — der Bolzenlöcher die Bruchgefahr beträchtlich. Der Einfluß der Stoffgüte ist z. B. erkennbar in den statistischen Aufzeichnungen der Kaiser Ferdinands-Nordbahn, welche ergaben, daß von 8885 im Jahre 1890 eingelegten Flußstahllaschenpaaren bis Ende 1894 zusammen 296 Stück äußere, d. i. 0,74 v. H. im Jahre, und 33 Stück innere Laschen, d. i. 0,08 v. H. im Jahre, brachen, und daß von 12328 in den Jahren 1891 und 1892 verlegten Laschenpaaren ganz gleicher Form, die aber von einem anderen Eisenwerke geliefert waren, bis Ende 1894 kein Bruch eingetreten war.

Die Unterlagsplatten erleiden im Holzschwellenoberbau Durchbiegungen und Brüche zumeist erst dann, wenn die Abnutzung der Schwellenauflageflächen so weit fortgeschritten ist, daß ein Hohlliegen der Platten eintritt. Ferner erweisen sich insbesondere gußeiserne Platten und Stühle den Stoßwirkungen der Fahrzeuge wenig gewachsen, wie dies bei den älteren Stuhlschienenoberbauarten durch zahlreiche Brüche in Erscheinung trat. Bei den neueren Formen und Abmessungen der Stühle ist jedoch die Anzahl der Brüche eine verhältnismäßig geringe.

Die Abnutzung der Nägel und Schienenschrauben besteht hauptsächlich in Verbiegungen und Abschleifungen des Schaftes und in Verdrückung des Kopfes, von denen die ersteren sodann Spurerweiterungen begünstigen. Bei Anwendung von Unterlagsplatten sind diese Abnutzungen wesentlich eingeschränkt; sie treten dann hauptsächlich nur an den Schienenstößen auf, und zwar als Folge der beim Wandern der Schienen entstehenden Angriffe der Laschen, welche die Befestigungsmittel abzubiegen und abzudrücken streben.

§ 10. Ermittlung der Schienendauer. — a. Berechnung der Schienendauer nach der Auswechslung. — Die große Mannigfaltigkeit der Umstände, welche die Schienendauer beeinflussen, erklärt es, daß allen zahlenmäßigen Angaben über die Dauer der Schienen nur eine bedingte Richtigkeit zukommt. Immerhin geben uns die bisher vorliegenden statistischen Mitteilungen des V. d. E. V. über die Auswechslung doch schon ein annäherndes Bild des Verhaltens der Schienen unter verschiedenen Anlage- und Betriebsverhältnissen.

1. Nach der die Erhebungsjahre 1879 bis 1896 umfassenden Vereinsstatistik sind bei Beanspruchung des Gleises durch 1 Million Tonnen durchschnittlich auf 1 km 3,054 m Schienen ausgewechselt, 1,844 m Schienen unbrauchbar geworden und 0,060 Stück Schienen gebrochen, gegenüber 2,77 m, 1,758 m und 0,053 Stück nach den Ermittlungen bis einschließlich des Jahres 1893 und gegenüber 2,44 m, 1,57 m und 0,051 Stück nach den Ermittlungen bis einschließlich des Jahres 1890. Der durchschnittliche Schienenabgang wird also, wie diese Ziffern zeigen, mit den Jahren größer.

Wie sehr diese Durchschnittsziffern durch die Anlageverhältnisse der Bahn beeinflußt sind, zeigt der nachstehende Vergleich der durchschnittlichen Auswechslungen in Strecken mit günstigen, mittleren und ungünstigsten Neigungs- und Richtungsverhältnissen. Die Angaben beziehen sich auf 1 km Länge und auf die Beanspruchung des Gleises durch 1 Million Tonnen.

In Neigungen von	0 bis 3/1000		7,5/1000 bis 10/1000	20/1000 bis 25/1000	25/1000 und mehr
bei einem Krümmungshalbmesser = ...	∞ bis 1000 m		400 bis 300 m	200 m und weniger	300 bis 200 m
sind auf 1 km in	eingleisiger Strecke	zweigleisiger Strecke	eingleisiger Strecke	zweigleisiger Strecke in der Steigung	zweigleisiger Strecke im Gefälle
ausgewechselt (m)	1,227	2,233	11,053	29,241	21,938
unbrauchbar geworden (m) . .	0,553	1,473	10,782	14,059	19,134
gebrochen (Stück)	0,042	0,060	0,074	0,041	0,038

Auch der Umstand, daß der Abgang der Schienen vom Beginne der Einlegung bis zu deren voller Ausnutzung keineswegs gleichmäßig fortschreitet, sondern immer mehr zunimmt, je mehr die ursprünglich verlegten Schienen abgenutzt und je mehr Ersatzschienen in ein Gleis eingelegt worden sind, macht eine Schlußfolgerung aus der Auswechslungsziffer auf die Größe jener Last, welche die vollständige Zerstörung eines Gleises herbeiführt, und auf die Dauer desselben sehr schwierig. Es ist klar, daß beim Einlegen einer jeden Ersatzschiene — infolge des nicht passenden Anschlusses — die benachbarten beiden Schienen der Zerstörung an den Enden in erhöhtem Grade ausgesetzt sind; es ist auch bereits darauf hingewiesen worden, daß das innere Gefüge des Schienenkopfes zumeist derart beschaffen ist, daß sich dieser schneller abnutzt, sobald Blasen bloßgelegt sind und der weniger widerstandsfähige Kern den Angriffen der Räder unmittelbar ausgesetzt ist. In welchem Maße diese Umstände die Schienenauswechslung während der Benutzungsdauer der Schienen beschleunigen, zeigt die schon erwähnte Untersuchung Stockerts über Abnutzung und Dauer der Stahlschienen.

2. Stockert fand, daß, wenn in einem rechtwinkligen Achsenkreuz die in einzelnen Zeitabschnitten über ein Gleis beförderten Lasten als Grundlinien und die Summe der durch diese Lasten zerstörten und aus der Bahn entfernten Schienen in Hundertteilen des Gesamtbestandes als Höhen aufgetragen werden, die Verbindungslinie der Endpunkte der Höhen eine Viertel-Ellipse bildet, deren wagerechte Halbachse (a) diejenige Last bedeutet, welche bis zur Zerstörung des ganzen Bestandes über die Schienen befördert werden könnte, während die senkrechte Halbachse (b) die Summe aller in dem betreffenden Gleis liegenden Schienen darstellt. Hiernach drückt die Gleichung $b^2x^2 + a^2(y^2 - 2by) = 0$ das Gesetz aus, nach dem sich die Schienenauswechslung vollzieht. Es läßt sich mithin die zu erwartende Ausnutzungsfähigkeit der Schienen eines Gleises berechnen, sobald man weiß, wieviel vom Hundert derselben — jedenfalls aber mehr als 1 v. H. — durch eine bis dahin darüber gerollte Last in Tonnen (ausschließlich der gebrochenen) unbrauchbar geworden sind. Die wahrscheinliche Zerstörungslast des ganzen Schienenbestandes ergibt sich zu $a = \frac{100x}{\sqrt{200y - y^2}}$. Diese Rechnung wird um so genauer, über je mehr solche Angabenpaare man verfügt. Aus dem Verhältnis der so berechneten Zerstörungslast zu der wirklich schon übergerollten kann dann auf die Benutzungszeit geschlossen werden, wenn nicht wesentliche Änderungen der Verkehrsverhältnisse eintreten. Dieses von Stockert ursprünglich aus der bei der österreichischen Kaiser Ferdinands-Nordbahn seit 1855 geführten Statistik der Eisenschienen abgeleitete Gesetz fand derselbe in späterer Anwendung auf Flußstahlschienen immerhin soweit zutreffend, daß er dasselbe für eine annähernde Ermittlung der Ausnutzungsfähigkeit auch dieser brauchbar erklärt. Hierbei ist noch zu beachten, daß es sich nicht empfiehlt, ein Gleis noch weiter durch Einlegung von Ersatzschienen zu erhalten, sobald mehr als etwa 20 bis 30 v. H. der ursprünglich eingelegten Schienen unbrauchbar geworden sind, weil aus den früher erwähnten Gründen die letzten 70 v. H. nur mehr einem unverhältnismäßig geringen Teile der gesamten Ausnutzungslast Widerstand leisten.

Nach der Vereinsstatistik 1879 bis 1896 ergibt sich die durchschnittlich über die 479 Versuchsstrecken mit Querschwellenoberbau beförderte Last zu 29,765 Millionen Tonnen und die hier-

durch hervorgerufene Auswechslung — mit Ausschluß der Brüche — zu 4,426 v. H. des ursprünglichen Schienenbestandes, somit nach Stockert

$$a = \frac{100 \times 29{,}765}{\sqrt{200 \times 4{,}426 - 4{,}426^2}} = 101{,}2 \text{ Millionen Tonnen.}$$

Nimmt man an, daß die Auswechslung einer ganzen Strecke aus den erwähnten wirtschaftlichen Gründen vorgenommen wird, sobald 25 v. H. des ursprünglichen Bestandes ausgewechselt sind, so berechnet sich die wahrscheinliche Last, die bis zur tatsächlich erfolgenden Auswechslung des Schienenbestandes über die genannten Versuchsstrecken befördert werden könnte, aus der Gleichung $101{,}2 = \frac{100 \times x}{\sqrt{200 \times 25 - 25^2}}$, d. h. $x = 66{,}9$ Millionen Tonnen[143]).

3. Die uns bekannt gewordenen Beobachtungen über die tatsächliche Dauer von Stahlschienen stimmen mit diesem Durchschnittsergebnis gut überein. In Hauptbahnstrecken mit günstigen Anlageverhältnissen beträgt bei einer jährlichen Betriebslast von etwa 5 Millionen Tonnen die tatsächliche durchschnittliche Dauer der Stahlschienen etwa 15 bis 20 Jahre[144]). Diese Benutzungsdauer kann jedoch unter ungünstigen Anlageverhältnissen und außergewöhnlichen Verkehrsverhältnissen auf wenige Jahre herabgemindert werden, wie die auf den Berliner und Londoner Stadtbahnen gemachten Erfahrungen beweisen.

Nach den uns vorliegenden Mitteilungen über die Schienendauer auf englischen Bahnen erfolgt auch auf diesen bei nicht ungewöhnlichen Verkehrsverhältnissen die Schienenauswechslung im Mittel nach 15 bis 17 Jahren; sie wird aber in der Nähe Londons auch schon nach 6 Jahren und weniger notwendig[145]).

b. Berechnung der Schienendauer nach der Abnutzung. — Zuverlässigere Schlüsse als aus den statistischen Ergebnissen über die Auswechslungen der Schienen sind aus den bisherigen Beobachtungen über die regelmäßige Abnutzung der Schienen zu ziehen, da diese von Zufälligkeiten weniger beeinflußt sind. Eine erstmalige Schlußfolgerung aus den bezüglichen Erfahrungen zog bereits die Technikerversammlung zu Düsseldorf 1874, indem sie die Betriebslast, welche 1 mm Höhenabnutzung des Schienenkopfes herbeiführt, wie folgt bezifferte:

1. bei Bahnen mit schwachen Steigungen (weniger als 1 : 180) und großen Krümmungshalbmessern, für Strecken, auf welchen nicht gebremst wird, auf 10 bis 20 Millionen Tonnen;

2. auf Strecken mit mittleren Gefällen (1 : 120 bis 1 : 150) und Krümmungen von großen Halbmessern, wo teilweise gebremst wird, auf 6 bis 7 Millionen Tonnen;

3. auf Strecken mit Gefällen von 1 : 60 bis 1 : 100 und Krümmungen von etwa 500 m Halbmesser auf ungefähr 4 Millionen Tonnen; und

4. auf Gebirgsstrecken mit Steigungen bis 1 : 40 und Krümmungen von etwa 200 m auf 1 bis 2 Millionen Tonnen.

Durch die seither veröffentlichten Ergebnisse der Vereinsschienenstatistik von 1879 bis 1896 erscheinen diese Ziffern für die einzelnen Gruppen von Neigungen und Krümmungen nun näher bestimmt und enger begrenzt, zugleich aber im großen und ganzen bestätigt. Wir haben zum Vergleiche mit den bis zum Jahre 1874 gesammelten Erfahrungen aus der im Jahre 1899 veröffentlichten Zusammenstellung der Ermittlungen

---

143) Die während der Betriebszeit im Jahresdurchschnitt über die Versuchsstrecken gerollten Lasten schwanken zwischen 0,5 bis 6 Millionen Tonnen.

144) Die Beobachtungen über die tatsächliche Dauer von Flußstahlschienen in den verkehrsreichsten zweigleisigen Strecken der Kaiser Ferdinands-Nordbahn ergaben für die Beobachtungszeit von 1872 bis 1895 eine durchschnittliche Dauer der Flußstahlschienen von 18,4 Jahren bei einer durchschnittlichen Ausnutzungslast von 91 Millionen Tonnen, oder 4,94 Millionen Tonnen im Jahre.

145) Reitler, Über englischen und nordamerikanischen Oberbau, Wien 1895.

über die durchschnittliche Abnutzung der Stahlschienen für die ungefähr gleichwertigen Strecken die Lasten berechnet, welche 1 mm Höhenabnutzung des Schienenkopfes herbeiführten, wobei nur solche Ermittlungen, denen eine größere Anzahl von Versuchsstrecken zugrunde liegt, berücksichtigt wurden. Hiernach ergeben sich die nachstehenden Zahlen:

1. für 74 Strecken mit Neigungen von $1:\infty$ (0) bis $1:333\frac{1}{3}$ (3/1000) und Krümmungshalbmessern von ∞ bis 1000 m die Lasten von 18,5 bis 19,6 Millionen Tonnen, und bei gleichen Neigungen, jedoch mit Krümmungshalbmessern von 1000 bis 600 m (17 Strecken) 9,6 bis 20,8 Millionen Tonnen;

2. für Strecken mit mittleren Neigungen von $1:133\frac{1}{3}$ bis $1:100$ (7,5/1000 bis 10/1000) und Krümmungshalbmessern von ∞ bis 1000 m Lasten von 9,8 (in 27 eingleisigen Strecken) bis 9,2 (in 3 zweigleisigen Strecken in der Steigung) Millionen Tonnen, und bei gleichen Neigungen, jedoch mit Krümmungshalbmessern von 1000 bis 600 m (in 8 eingleisigen Strecken) eine Last von 6,7 Millionen Tonnen;

3. für (14 eingleisige) Strecken mit Neigungen von $1:100$ bis $1:66\frac{2}{3}$ (10/1000 bis 15/1000) und Krümmungshalbmessern von 600 bis 400 m eine Last von 8,5 Millionen Tonnen;

4. für Strecken mit Neigungen von $1:40$ und Krümmungshalbmessern von 200 m und weniger liegen nur vereinzelte Erfahrungen vor, die eine allgemeinere Schlußfolgerung nicht gestatten.

Wir verweisen im übrigen auf die genannten statistischen Mitteilungen, die nicht nur die Höhen-, sondern auch die Flächenabnutzungen für die einzelnen Gruppen enthalten, und führen wir hier noch an, daß sich aus 486 Versuchsstrecken als Gesamtdurchschnittszahl für 1 Million Tonnen Betriebslast eine Schienenhöhenabnutzung von 0,091 mm und eine Schienenquerschnittsabnutzung von 4,49 qmm ergibt; oder daß umgekehrt 1 mm Höhenabnutzung durch 11,0 Millionen Tonnen und 1 qcm Flächenabnutzung durch 22,3 Millionen Tonnen bewirkt wird. Läßt also z. B. eine Schiene bis zu ihrer vollen Ausnutzung eine Höhenverminderung um 6 mm zu, so kann die durchschnittliche Zerstörungslast auf etwa 65,9 Millionen Tonnen beziffert werden, was bei einer durchschnittlichen Betriebslast von 3 bis 4 Millionen Tonnen im Jahre wieder eine durchschnittliche Schienendauer von 16 bis 22 Jahren ergibt.

Bemerkenswert ist noch der Versuch Coüards[146], aus der Vereinsstatistik 1879 bis 1884 das Gesetz der Abnutzung des Schienenkopfes durch die folgende Formel auszudrücken:

$$N = \frac{10^6}{T \cdot v} \cdot \frac{J}{L^3} \cdot \frac{1}{1 + \alpha D^2} \cdot C,$$

wobei N = Anzahl der Züge, durch welche die Schienenkopfhöhe um 1 mm vermindert wird,
T = mittlere Betriebslast eines Zuges in Tonnen,
v = mittlere Zuggeschwindigkeit in Kilometern in der Stunde,
J = Trägheitsmoment des Schienenquerschnittes,
L = Schwellenentfernung in Metern,
D = Neigung in Millimetern für das Meter,
α = { 0,023 für Gefälle, / 0,012 für Steigungen,
C = eine die Herstellungsart bezeichnende Verhältniszahl, die nach der Vereinsstatistik 1879 bis 1884 zwischen 0,37 und 1,20, für die französischen Bahnen zwischen 1,0 und 1,5 schwankt.

146) Revue génér. d. chem. d. fer 1889.

Diese Formel fand Coüard durch verschiedene Gruppierung der Ergebnisse aller Versuchsstrecken derart, daß Strecken in Vergleich gestellt wurden, in welchen alle Bedingungen bis auf eine die gleichen waren, und daß so nach und nach der Einfluß eines jeden Umstandes beziffert wurde. Bei der Unsicherheit, die der Bestimmung der einzelnen Verhältniszahlen, insbesondere des die Stoffgüte kennzeichnenden C, anhaftet, kann diese Formel wohl nicht unmittelbar verwertet werden, doch ist damit immerhin gekennzeichnet, wie die Ergebnisse einer vollkommeneren Statistik für die Ermittlung der Schienendauer nutzbar zu machen wären.

Die Bedeutung und der Wert einer genauen Bestimmung der durch eine gegebene Beanspruchung (Betriebslast oder Zugzahl) herbeigeführten Schienenabnutzung liegen hauptsächlich darin, daß wir bei genauer Kenntnis und Bezifferung aller dieselbe beeinflussenden Umstände rechnungsmäßig ermitteln könnten, inwieweit diese Inanspruchnahme gesteigert werden kann, ohne daß die dadurch erreichten Betriebsvorteile durch eine raschere Schienenauswechslung aufgewogen werden, und daß wir ferner daraus auch die Höhe jener Rücklagen ableiten könnten, die erforderlich sind, um rechtzeitig die für die Erneuerung des Gleises notwendigen Geldmittel verfügbar zu haben. So läßt sich z. B. unter Zugrundelegung der Stockertschen Ausnutzungslinie die für einen bestimmten Zeitraum erforderliche Anzahl von Ersatzschienen ermitteln, indem aus der Gleichung der Ausnutzungslinie der Unterschied $(y_2 - y_1)$ als Zahl der durch die Lasten $(x_2 - x_1)$ zerstörten Schienen berechnet werden kann. — Eine wertvolle Untersuchung über die zweckmäßigste Ablaufhöhe und die beste Ansammlung der Erneuerungsmittel für die Schienen veröffentlichte Professor Mohr 1892 im Zivilingenieur (Band XXXVII, Heft 1). Dort wird die günstigste Rücklage für die Erneuerungsmittel gleich dem Anschaffungswerte der in einem Jahre abgenutzten Eisenmenge gefunden.

c. Vorrichtungen zum Messen der Schienenabnutzung. — Beim Vergleiche der beobachteten Schienenabnutzungen sind viele Widersprüche und Auffälligkeiten auf den sehr verschiedenen Grad der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der zur Messung der Schienenabnutzung verwendeten Vorrichtungen zurückzuführen. Es sollen darum auch diese hier noch eine kurze Besprechung erfahren. Von jeder derartigen Vorrichtung muß gefordert werden, daß sie die Meßwerte bis zu 0,1 mm mit Sicherheit verzeichnet, und daß bei jeder späteren Messung die Vorrichtung genau am gleichen Orte und in derselben Lage wie früher an der Schiene angelegt und befestigt werden kann.

Die verschiedenen Vorrichtungen zur Messung der Schienenabnutzung lassen sich wie folgt einteilen:

1. Vorrichtungen, bei welchen die Schienenkopfform mittels Stichmaß bestimmt wird. Hier sind die folgenden zu nennen:

α. Die Meßvorrichtung von Pollitzer, zurzeit wegen der geringen Genauigkeit der Messungsergebnisse wenig mehr in Verwendung[147]).

β. Der Abnutzungsmesser von Fr. Bischoff (Taf. III, Abb. 1), welcher mittels eines an einem geteilten Gradbogen verschiebbaren Meßstiftes (M) eine Messung der Schienenkopfform an jedem beliebigen Punkte des Schienenkopfes ermöglicht[148]).

γ. Die Meßvorrichtung von Hattemer (Profilindikator von W. Horn in Berlin, Taf. III, Abb. 2)[149]). Ein eiserner Bügel (B) trägt an dem einen Ende drei gehärtete Stahlspitzen, für welche mittels einer besonderen Schablone und eines Dornes drei Löcher in den Schienensteg eingekörnt werden. Am anderen Bügelende ist ein Griffstück G, dessen Drehpunkt exzentrisch zum Kreisbogen ab sitzt und das daher ein Anpressen der Vorrichtung an die Schiene gestattet.

147) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1877.

148) Ebenda, 1878.

149) Ebenda, 1879.

An dem Bügel ist ein Messingstück angeschraubt, in welches neun der Umrißlinie des Schienenkopfes entsprechende Schlitze zur Führung des Meßstiftes eingefräst sind. Ein Nonius läßt Ablesungen von 0,1 mm zu. Das Stück r, das mittels des Kopfes k um die Achse c derart drehbar ist, daß der Stahlanschlag r an der Außenseite des Schienenkopfes anstößt, wobei dessen Stellung durch einen Nonius angegeben ist, gestattet eine Prüfung, ob die Stellung der Meßvorrichtung in jedem Falle dieselbe ist.

δ. Die Meßvorrichtung von Zimmermann und Buchloh (neuere Bauart, Taf. III, Abb. 3)[150]. An einer Zange (A), deren Maul sich beim Zusammendrücken so weit öffnet, daß die Vorrichtung auf den Schienenkopf aufgesetzt werden kann, ist ein Meßbogen (B) befestigt, dessen Festlegung durch eine Klemmschraube (e) erfolgt. An dem Meßbogen sind 10 Stück Meßstifte so angebracht, daß ihre Längsachse senkrecht zur Berührungsstelle des Schienenquerschnittes steht. Die Meßstifte, deren Nonien die Ablesung von 0,1 mm gestatten, werden bei der Messung an den Schienenkopf angedrückt, wobei die Meßergebnisse, unabhängig von den zurückfedernden Meßstiften, durch die in der Meßlage verbleibenden Druckhülsen (i) festgelegt bleiben. Zum Ablesen kann sodann entweder der Meßbogen allein oder die ganze Vorrichtung mit Meßbogen von der Schiene abgehoben werden. Die Meßstelle wird durch eine Körnermarke bezeichnet. Die mittels der Einstellschraube (m), der Stahlspitzen (n) und der Gleitrollen (o) erfolgende Feststellung der Zange gibt Gewähr, daß die Lage der aufgesetzten Zange bei jeder Messung genau dieselbe bleiben muß.

ε. Schienenabnutzungsmesser von E. Kraft & Sohn in Wien. Diese auf Taf. III in Abb. 4 dargestellte Meßvorrichtung besteht aus einem auf eine Grundplatte (a) aufgesteckten Messingbogen (B), auf welchem 10 Meßstifte befestigt sind, deren Nonien die Ablesung von 0,1 mm gestatten. Die Stifte werden bei Vornahme der Messung an den Schienenkopf angedrückt und sodann durch eine Feder selbsttätig wieder zurückgeschoben, während der Maßstab in der verschobenen Lage verbleibt. Die Ablesung kann daher nach Abnahme des Bogens von der Grundplatte wesentlich leichter und zuverlässiger erfolgen, als bei den vorhergenannten älteren Apparaten. Zu beachten ist, daß vor Anlage der Meßvorrichtung der Schienenfuß von Sand oder erdigen Ansätzen gereinigt, jede der drei Klemmschrauben stets gleich stark angezogen und der Ständer, in welchen der Meßbogen einzuschieben ist, vor Stoß oder Seitendruck geschützt wird, damit die senkrechte Stellung gewahrt bleibt. Eine zeitweise Prüfung der Richtigkeit der Vorrichtung an der Hand des vorgeschriebenen Schienenquerschnittes ist deshalb notwendig. Diese Meßvorrichtung ist die am häufigsten angewandte und hat sich bei entsprechender Vorsicht am brauchbarsten erwiesen.

Hierher gehören weiter noch die Meßvorrichtung von Luckow & Co. in Breslau und die im XI. Ergänz.-Bd. des Org. f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893 beschriebenen Meßvorrichtungen der Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen, der Großh. mecklenburgischen Friedrich Franz-Eisenbahn, der Buschtěhrader Eisenbahn u. a., welche indes nur vereinzelte Anwendung fanden.

2. Vorrichtungen, welche die Schienenkopfform unmittelbar aufzeichnen. Zu diesen zählen die folgenden:

α. Die Meßvorrichtung der badischen Staatseisenbahnen (Taf. III, Abb. 5), eine Art Storchschnabel, bei welchem ein an der Schiene befestigtes Gestell eine Zeichentafel trägt, auf der ein Stift die Schienenkopfform aufzeichnet[151].

β. Die Schienenabnutzungslehre der ehemaligen böhmischen Westbahn, bei welcher die Schienenkopfform mittels 16 Stellstiften abgenommen und unmittelbar auf eine vorbereitete Querschnittszeichnung abgedrückt wird. Die auf dieselbe Querschnittszeichnung nach und nach aufgetragenen Querschnitte zeigen sodann den Grad der vorschreitenden Abnutzung.

γ. Die Vorrichtung von Schubert und Hattemer, welche in ähnlicher Weise wie die unter 1 genannte Vorrichtung ein vergrößertes Bild des Schienenkopfquerschnittes liefert[152].

δ. Die Brüggemannsche Meßvorrichtung (Taf. III, Abb. 6)[153]. Mit dem Gestelle A ist das Zahnrad z fest verbunden. Auf diesem rollt das Zahnrad z', während der Stift S' durch eine Geradführung in der Verbindungslinie der beiden Radmittelpunkte gehalten wird. Die Bewegung der Spitze S' wird vom Stifte sr' auf ein 0,5 mm starkes Zinkblech übertragen. Die Ent-

---

150) Bericht des besonderen Ausschusses für Schienenstatistik des V. d. E. V., Frankfurt a. M. 1905.

151) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1879.

152) Ebenda, 1881.

153) Ebenda, 1884.

fernung der Stahlspitzen muß gleich dem Teilkreisdurchmesser der beiden gleichen Zahnräder sein. Die Aufstellung der Vorrichtung erfolgt mittels der zwei Körnerspitzen auf dem Fuße der Schiene, der Stellschraube D und Libelle L; die Befestigung mittels des Bügels B und der Stellschraube E.

ε. Der Schienenumrißmesser von Schilling (Taf. III, Abb. 7)[154]. Der Schieber m ist längs der Rundstangen w wagerecht verschiebbar, diese selbst gleiten längs der im Rahmen l befestigten Rundstangen v senkrecht. Die Feststellung des Schiebers erfolgt durch die Klemmschrauben x und y. Der Rahmen l ist an der Schiene mittels des Bügels z und der Schrauben o befestigt. Der Schieber m trägt in p einen auf dem Papier der Tafel q zeichnenden Stift, ferner die mit der Klemmschraube t befestigte Führungsstange u. Die zwei je nach Bedarf zu verwendenden Spitzen r und r' der Führungsstange u bilden einen zweiarmigen Hebel, der so durchgeschlagen werden kann, daß r genau in die Lage von r' kommt.

Hier sind weiter zu nennen: die Haarmannsche Meßvorrichtung[155], der Profilzeichner von O. Frühling[156], die Vorrichtung von Ulbricht und Stieberitz[157], der Schienenumrißmesser von Scheidt und Bachmann[158], der Schienenumrißzeichner der Adriatischen Eisenbahnen[159] (Trochitomograph), der die zeichnerische Aufnahme des ganzen Schienenquerschnittes ermöglicht, was für die Feststellung der Querschnittsverminderung der Schienen durch Abrosten am ganzen Umfange von Wichtigkeit ist, u. a.

3. Vorrichtungen, welche nur die Abmessung der Höhenabnutzung in der Schienenkopfmitte gestatten. Es sind dies Schublehren mit Nonien, oder Tastervorrichtungen mit Mikrometerschrauben.

Erwähnenswert ist noch, daß man auch versucht hat die Schienenquerschnitte durch Herstellung von Gipsabgüssen zu messen, dieses Verfahren jedoch — obgleich dasselbe gute Ergebnisse lieferte — in neuerer Zeit nicht mehr anwendet, da es sehr zeitraubend und demgemäß auch kostspielig ist.

Ein beachtenswertes Urteil über die Brauchbarkeit der in Verwendung stehenden Meßvorrichtungen hat die Technikerversammlung zu Straßburg in der Schlußfolgerung zur Frage I/2 abgegeben, welche lautet: »Unter den in Verwendung stehenden Vorrichtungen zur Messung der Schienenabnutzung hat sich die Vorrichtung von Kraft & Sohn in Wien am geeignetsten und brauchbarsten erwiesen. Für die genaue Feststellung besonderer Formen der Schienenabnutzung erscheint die gleichzeitige Verwendung einer Vorrichtung, welche eine Zeichnung des Schienenquerschnittes unmittelbar liefert, von diesen insbesondere die Vorrichtung von Brüggemann in Breslau, empfehlenswert.« Dieses Urteil findet eine Ergänzung durch das Gutachten, welches der Ausschuß für die Schienenstatistik im V. d. E. V. im Jahre 1905 über die neue Meßvorrichtung von Zimmermann und Buchloh dahin erstattete, daß diese Meßvorrichtung die Vorteile der Kraftschen Vorrichtung (Erleichterung der Ablesung durch Abnehmbarkeit des Meßbogens) mit den Vorteilen der älteren Vorrichtung von Zimmermann und Buchloh (Vermeidung der Schienenunterfläche beim Befestigen der Vorrichtung) verbindet.

Die Zuverlässigkeit und der Grad der Genauigkeit beider Meßvorrichtungen sollen durch vergleichende Versuchsmessungen im Vereine noch festgestellt werden.

§ 11. Unterhaltung des Oberbaues im allgemeinen. — a. Aufgaben der Oberbauunterhaltung. — Da die Sicherheit des Eisenbahnbetriebes wesentlich auf einer guten Gleislage beruht, so ist eine beständige Überwachung des Gleiszustandes und die rechtzeitige Behebung aller auftretenden Mängel unerläßlich. Letztere Maß-

154) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1890.

155) Techn. Mitteil. d. Georgs-Marien-Bergw.- u. Hütten-Ver. Nr. 4, 1888.

156) Dinglers Polyt. Journ. 1882.

157) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1901.

158) Zentralblatt der Bauverwaltung 1902, Nr. 31.

159) Ebenda, 1899, Nr. 76.

regel ist aber auch aus wirtschaftlichen Gründen notwendig, um eine möglichst lange Dauer des Gleises zu erzielen. Es soll dieselbe deshalb in einer Weise erfolgen, welche die baldige Wiederkehr der Mängel möglichst hintanzuhalten geeignet ist. Dies wird nur gelingen, wenn dafür gesorgt wird, daß sich Beanspruchung und Widerstand des Gleises dauernd auf gleicher Höhe befinden, daß also nicht nur der ursprüngliche Bauzustand des Gleises erhalten bleibt, sondern daß, sobald eine erhöhte Belastung des Gleises eintritt, auch rechtzeitig eine Verstärkung desselben veranlaßt wird. Hiernach kann als Aufgabe der Oberbauunterhaltung bezeichnet werden, das Gleis dauernd in einem den Forderungen der Verkehrssicherheit und der Wirtschaftlichkeit entsprechenden Zustande zu erhalten.

Die Verkehrssicherheit erfordert insbesondere, daß

1. die vorgeschriebene Spurweite, Richtung und Höhenlage des Gleises stets vorhanden sind, und daß

2. der Widerstand des Gleises niemals unter jenes Maß sinke, welches noch eine sichere Unterstützung und Führung der Fahrzeuge verbürgt.

Die Wirtschaftlichkeit aber erfordert insbesondere die Wahrnehmung des richtigen Zeitpunktes und Umfanges, in welchem die Mängel zu beheben, die Gleisteile zu erneuern oder zu verstärken sind.

Im einzelnen ergeben sich mithin als Aufgaben der Oberbauunterhaltung:

1. die Instandhaltung der Bettung;

2. die rechtzeitige Behebung aller Mängel in der Schienenbefestigung, Schienenverbindung und Schwellenlage;

3. die Wiederherstellung der vorschriftsmäßigen Spurweite, Richtung und Höhenlage des Gleises, sobald die Abweichungen gewisse Grenzmaße erreichen;

4. die rechtzeitige Erneuerung schadhafter und unbrauchbar gewordener Bestandteile des Gleises;

5. die rechtzeitige Vorsorge für eine Verstärkung des Gleises bei eintretenden Änderungen in der Belastung desselben.

Die Bedeutung und wirtschaftliche Tragweite dieser Aufgaben sind bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel gekennzeichnet worden. Im nachfolgenden sollen nunmehr die üblichen Arten der Überwachung und Unterhaltung des Oberbaues im allgemeinen und sodann die Durchführung der Unterhaltungsarbeiten im einzelnen kurz besprochen werden.

b. Überwachung des Gleiszustandes und Arten der Oberbauunterhaltung. — Eine Voraussetzung für die rechtzeitige Durchführung aller vorgenannten Arbeiten und Maßnahmen ist die ständige Überwachung des Gleiszustandes. Zum Zwecke der Bahnüberwachung und der Bahnunterhaltung werden die Bahnstrecken in Überwachungs- und Erhaltungsbezirke (Baukreise, Bahn- und Bauinspektionen, Ingenieursektionen, Streckenleitungen) eingeteilt, deren Länge, je nachdem die Strecken ein- oder zweigleisig sind und mehr oder weniger Unterhaltungsschwierigkeiten bieten, zwischen 30 bis 100 km beträgt. Diese Bezirke sind auf den deutschen und österreichischen Bahnen in Bahnmeister-(Bahnaufseher-)strecken von 7 bis 20 km Länge, und diese wieder in Wärter-(Bahnwächter-)strecken von 1 bis 8 km Länge untergeteilt.

Dem Wärter liegt bei seinen mehrmals im Tage zu wiederholenden Streckenbegehungen die unmittelbare Überwachung des Gleiszustandes und die Besorgung kleinerer Oberbauunterhaltungsarbeiten ob, so insbesondere: Beseitigung der wahrgenommenen Mängel in der Schienenbefestigung, wie Nachziehen der Schienen- und

Laschenschrauben, Nachtreiben der Schienennägel, Auswechseln gebrochenen Kleineisenzeuges, dann Regelung des Schotterbettes, Beseitigung des Graswuchses u. dgl. Je nach dem Umfange des dem Wärter neben der Streckenbegehung obliegenden Dienstes kann auch die Freihaltung der Entwässerungsgräben, das Unterstopfen einzelner loser Schwellen und das Auswechseln einzelner Schienen und Schwellen von demselben, unter Mitwirkung der Nachbarwärter oder Streckenarbeiter, besorgt werden.

Für die Bemessung der Länge des durch einen Streckenwärter zu begehenden Bahnabschnittes ist zunächst maßgebend, ob dem Wärter die Besorgung des gesamten Bahnaufsichtsdienstes — d. i. Signal- und Schrankendienst, Zugüberwachung, Streckenbegehung zum Zwecke der Prüfung des Bahnzustandes, Beseitigung von Fahrhindernissen, Vornahme kleinerer Erhaltungsarbeiten, Überwachung der Arbeiterrotten usw. — obliegt, oder ob der Signal- und Schrankendienst vom Streckenbegehungsdienst getrennt ist. Nach den der Technikerversammlung zu Berlin im Jahre 1884[160]) hierüber mitgeteilten Erfahrungen hat sich auf den Bahnen des V. d. E. V. die Trennung des Streckendienstes vom Schrankendienst überall, wo sie Anwendung gefunden hat, bewährt. Zugleich empfahl die Versammlung, die Länge des durch einen Streckenwärter zu begehenden Bahnabschnittes bei großem Verkehr auf eingleisigen Bahnen nicht über 2,5 km und bei zweigleisigen Bahnen nicht über 2 km anzunehmen. Die Technikerversammlung im Jahre 1903[161]) stellte bei Erörterung der Frage über den Bahnbewachungsdienst als bemerkenswerteste Erscheinung die fortschreitende Trennung des Bahnaufsichts- und Schrankendienstes im Bereiche vieler und großer Bahnverwaltungen fest, die diese Trennung sowohl zum finanziellen als zum Vorteile der Betriebssicherheit ein- und durchgeführt haben.

Über die Grundsätze, nach welchen bei den Bahnen des V. d. E. V. die Diensteinteilung der Streckenwärter erfolgt, geben die der Technikerversammlung zu Straßburg im Jahre 1893[162]) gemachten Mitteilungen von 31 Bahnverwaltungen ausführlichen Aufschluß. Die Diensteinteilung der Streckenwärter erfolgt hiernach verschieden, je nach der Art und Dichte des Verkehrs. Auf Strecken mit ununterbrochenem Tag- und Nachtdienst wird bei den meisten Verwaltungen die längste Dienstzeit zu 12 Stunden, die kürzeste Ruhe gleichfalls zu 12 Stunden innerhalb 24 Stunden bemessen, doch kamen auch längste Dienstzeiten bis zu 24 Stunden (!) vor.

Die Überwachung des Bahnbegehungsdienstes erfolgt durch die Bahnmeister und die Streckenvorstände bei regelmäßigen und unvermuteten Begehungen, sowie durch das Zugbegleitungspersonal bei den Fahrten, und bei vielen Bahnverwaltungen auch durch das Austragen von Nummerntafeln, welche zu bestimmten Zeiten an den Grenzpfählen der Wächterstrecken aufgehängt werden müssen.

Dem Bahnmeister liegt neben der Überwachung der Wärter die Prüfung des Gleiszustandes durch dessen tägliche Besichtigung[163]) und durch zeitweise Vornahme

---

160) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. IX. Ergänz.-Bd. 1884.

161) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XIII. Ergänzungs-Bd. 1903. — Über die Entwicklung des Bahnüberwachungsdienstes und die durch Trennung des Bahnaufsichts- und Schrankendienstes bei den bayerischen Staatseisenbahnen erzielte Vereinfachung des Dienstes berichteten neuerdings Weikard und E. Ebert im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903.

162) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänzungs-Bd. 1893.

163) Auf der Technikerversammlung vom Jahre 1884 wurde die tägliche Begehung der den Bahnmeistern zugewiesenen Strecken durch dieselben oder durch deren Vertreter von der Mehrzahl der Verwaltungen für wünschenswert oder für erforderlich erachtet. Dies setzt voraus, daß die einzelnen Strecken

von Messungen, sowie die Anordnung aller dringenden kleineren Unterhaltungsarbeiten ob. Zur Ausführung der letzteren — insoweit sie nicht durch den Streckenwärter selbst besorgt werden — erhält zumeist jeder Bahnabschnitt eine Rotte von mindestens drei bis vier Mann zugewiesen. Es ist dies die sogenannte Bahnunterhaltung mit fliegenden Rotten.

Der Streckenvorstand (Bauinspektor, Bezirksingenieur), welchem die Beurteilung der Notwendigkeit und die Anordnung aller größeren Unterhaltungsarbeiten zukommt, soll die Gleise seines Bezirkes in der Regel allwöchentlich einmal begehen oder befahren. Zur Gewinnung eines sicheren Urteils über die Gleislage ist neben der Prüfung durch unmittelbare Messungen und durch Benutzung der im § 6 genannten besonderen Vorrichtungen zur Feststellung schadhafter Gleisstellen auch das Befahren der Strecken mit der Lokomotive ein wichtiges Mittel. Beim Befahren mit Lastzuglokomotiven werden insbesondere Fehler in der Höhenlage und mangelhafte Schwellenlagerung, beim Befahren mit Schnellzuglokomotiven insbesondere Mängel in der Spurweite, Richtung und Überhöhung des Gleises durch den unruhigen Gang der Lokomotiven fühlbar. Diese Art der Gleisprüfung ist besonders nach raschem Witterungswechsel angezeigt.

Auf den französischen und holländischen Bahnen ist der Bahnbegehungsdienst unmittelbar den Bahnunterhaltungsarbeitern übertragen. So besteht auf der französischen Ostbahn die Einrichtung, daß je ein Rottenarbeiter an jedem Ende des Bahnabschnittes wohnt, dessen Unterhaltung seiner Rotte überwiesen ist, während die übrigen möglichst nahe der Mitte des Abschnittes wohnen. Die ersteren Arbeiter haben täglich am Arbeitsbeginne die Strecke zu begehen, bis sie mit ihrer Rotte zusammenstoßen, wo sie dann dem Vorarbeiter Bericht erstatten. Auf Linien mit Tag- und Nachtverkehr ist auch eine nächtliche Begehung vorgeschrieben; diese wird abwechselnd durch Rottenarbeiter derart versehen, daß die Bahn wöchentlich zwei- bis dreimal bei Nacht begangen wird. Der Vorarbeiter ist verpflichtet, jeden Sonntag seinen Abschnitt zu begehen. Diese Einrichtung ermöglichte es, daß auf der französischen Ostbahn die Bahnwärter, deren Aufgabe es war, die Linie täglich mehrmals zu begehen, ganz überflüssig wurden.

Auf den englischen Bahnen[164]) liegen die Bahnbewachung und laufende Gleisunterhaltung fliegenden Rotten von vier bis sechs Mann ob, welche kurze Strecken ständig zugewiesen haben. Die Länge der Strecken ist meist so bemessen, daß im Mittel auf einen Mann etwa 1,2 km Hauptgleise und 0,4 km Stationsnebengleise, also etwa eine englische Meile (1,6 km) eingleisiger Bahn entfällt. Die Rottenführer haben an Wochentagen zweimal, an Sonntagen dort, wo Personenzüge verkehren, einmal die zugewiesene Strecke zu begehen. Sie berichten dem Bahnaufseher (Inspektor), dem 30 bis 60 km zweigleisiger Bahn zugewiesen sind. Die Aufseher unterstehen Oberaufsehern (Chief-Inspectors), welche für die Unterhaltung von 300 bis 400 km Gleis verantwortlich sind und über besondere Arbeitergruppen für größere Gleisumgestaltungen und Auswechslungen verfügen. Diese Oberaufseher sind den Streckenvorständen (Divisional-Engineers) zugewiesen, welchen die gesamte Bahnunterhaltung von gleichfalls 300 bis 400 km Bahn obliegt.

---

nicht über 15 km lang sind, und daß die Bahnmeister nicht zu sehr mit schriftlichen Arbeiten beansprucht werden.

164) Siehe Ernst Reitler, Über englischen und nordamerikanischen Oberbau, Wien 1895.

Auf den nordamerikanischen Bahnen wird der Bahnunterhaltungsdienst in ähnlicher Weise mittels fliegender Rotten besorgt, die gewöhnlich acht bis zwölf Mann stark sind; die Länge der ihnen zugeteilten Strecken (Subdivisions) ist gleichfalls so bemessen, daß im Mittel eine englische Meile (1,6 km) auf einen Mann entfällt. Ein Arbeiter der Rotte besorgt die Streckenbegehung.

Bei der geschilderten, fast allgemein üblichen Art der Bahnunterhaltung ist die Wahrung des betriebssicheren Zustandes des Gleises in erster Linie dem untersten Überwachungspersonal anvertraut; es ist deshalb von größter Wichtigkeit, daß dieses gut geschult ist und verläßlich und gewissenhaft seinen Obliegenheiten nachkommt. Da dies nicht immer zu erreichen ist und die Gefahr besteht, daß einerseits einzelne Schäden zu spät wahrgenommen werden, und daß anderseits nur deshalb, weil gerade an einer bestimmten Gleisstelle gearbeitet wird, noch betriebssichere Teile vorzeitig ausgewechselt werden, so sind auf französischen Eisenbahnen sogenannte Hauptuntersuchungen des Gleises eingeführt worden, welche bezwecken, die durch die regelmäßigen Betriebs- und Witterungseinwirkungen herbeigeführten Veränderungen des Gleises rechtzeitig, d. h. bevor sie die zulässige Grenze überschritten haben, zu entdecken und unschädlich zu machen. Diese Art der Bahnunterhaltung ist insbesondere auf der französischen Ostbahn auf Vorschlag des Ingenieurs Freund im Jahre 1885 allgemein zur Anwendung gelangt, auf dessen unter der Bezeichnung »Note sur la méthode d'entretien par révisions générales« veröffentlichte Mitteilungen verwiesen werden möge[165]). Bei solchen Hauptuntersuchungen wird das Gleis vollständig freigelegt, indem die Bettung bis auf Schwellenunterfläche gänzlich entfernt wird und alle Verbindungsstellen im Gleise sorgfältig mit Besen und Kratzeisen gereinigt werden. Sodann erfolgt eine genaue Feststellung der Schäden und die Behebung derselben.

Da eine solche Hauptuntersuchung immerhin einen größeren Arbeits- und Kostenaufwand erfordert, wird sie nur dann wirtschaftlich gerechtfertigt sein, wenn sie in einem Zeitpunkte erfolgt, in welchem bei allen Bestandteilen des Gleises gleichzeitig jener Abnutzungsgrad erreicht ist, der ihre Auswechslung oder Ausbesserung erforderlich macht. Dieser Zeitpunkt ist auf der französischen Ostbahn durch die Festsetzung von Grenzzahlen für die Abweichungen von der Spurweite, Höhenlage und Richtung des Gleises, sowie für die Schwellenauswechslung gegeben, derart, daß eine Hauptuntersuchung stattfinden muß, sobald eine dieser Grenzzahlen erreicht ist.

Es sollen vor Eintritt in die Hauptuntersuchung zugelassen werden: 10 mm für die Abweichung der Schienenstöße von der Winkelrechten zur Bahnachse, 5 mm für Änderungen der Spurweite, 0,5 mm für die auf den Laschen an den Stößen sich bildenden Wülste, 10 bis 15 mm Pfeilhöhe auf 5 m Länge im Längenschnitt der Hauptgleise und desgleichen 20 mm in Nebengleisen, ± 10 mm für Änderungen der Überhöhung, ± 3 mm für Änderungen der Schienenneigung, 10 mm für die Abnutzung des Schienenkopfes bei Schienen von 30 kg/m und 25 mm bei solchen von 44 kg/m, 9 cm für die Mindeststärke der Schwellen unter dem Schienenauflager, 1 bis 2 mm Spielraum je nach der Fahrgeschwindigkeit für die einzelnen miteinander verbundenen Bestandteile des Gleises an den Berührungsstellen in Hauptgleisen, sowie desgleichen 2 bis 3 mm in Nebengleisen. Für die zulässige Zahl der bis zur Hauptuntersuchung ausgewechselten Schwellen ist festgesetzt: In Hauptgleisen 5 v. H., höchstens aber eine von 10 aufeinanderfolgenden, bei einem Hauptuntersuchungszwischenraum von 1 bis 2 Jahren; und 10 v. H. höchstens, aber eine von 7 bis 8 aufein-

165) Nur als Umdruck erschienen. Vgl. auch Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1892 und Österr. Eisenb.-Ztg. 1893.

anderfolgenden Schwellen bei einem Zwischenraume von 3 bis 6 Jahren. Für Nebengleise sind die Ziffern zu 10 v. H. oder 1 von 10 aufeinanderfolgenden, bzw. 15 v. H. und höchstens 1 von 5 aufeinanderfolgenden Schwellen festgesetzt.

Auf der französischen Ostbahn werden solche Hauptuntersuchungen in nachstehenden Zeiträumen für erforderlich gehalten:

1. Hauptgleise: alle Jahre für Strecken mit mehr als 15000 Zügen im Jahre; alle 2 Jahre für Strecken mit 7500 bis 15000 Zügen im Jahre; alle 3 Jahre für Strecken mit 2500 bis 7500 Zügen im Jahre; alle 4 Jahre für Strecken mit weniger als 2500 Zügen im Jahre.

2. Nebengleise: alle Jahre, wenn die Gleise mehr als 30000mal im Jahre befahren werden; alle 2 Jahre bei 15000- bis 30000maliger Befahrung im Jahre; alle 3 Jahre bei 2500- bis 15000maliger Befahrung im Jahre; alle 4 Jahre bei Gleisen mit weniger als 2500maliger Befahrung im Jahre; in unbestimmten Zeitabschnitten bei Gleisen, die nicht mit Lokomotiven befahren werden.

Bei richtig gewählten Zeiträumen zwischen den einzelnen Hauptuntersuchungen sollen in der Zwischenzeit örtliche Ausbesserungen des Gleises nur in geringem Maße erforderlich werden. Es wird aber anderseits bei dieser Art der Gleisunterhaltung auch leicht überflüssige Arbeit getan; dieselbe erscheint deshalb in wirtschaftlicher Hinsicht keineswegs einwandfrei.

Die zweckmäßigste Art der Gleisunterhaltung hat auch auf dem vierten internationalen Eisenbahnkongresse zu St. Petersburg im Jahre 1892 eine eingehende Erörterung in dem Berichte von F. Bruneel zur Frage III erfahren. Demselben ist unter anderem zu entnehmen, daß die Paris-Orléans-Bahn ein gemischtes Verfahren der Gleisunterhaltung anwendet, indem sie nach Bedarf Ausbesserungen auf Längen von je 100 m anordnet, derart, daß jede Arbeiterrotte die Arbeitsstelle grundsätzlich nicht verlassen darf, ohne alle laufenden Unterhaltungsarbeiten in diesem Streckenteil ausgeführt zu haben. Der Kongreß sprach sich in seiner Schlußfolgerung dahin aus, daß beide Arten der Bahnunterhaltung — also sowohl jene der Ausbesserungen von Fall zu Fall, wie der Hauptuntersuchungen — die Sicherheit des Betriebes aufrechtzuerhalten imstande sind, und daß die Wahl zwischen diesen Arten der Gleisunterhaltung je nach den Bahn- und Verkehrsverhältnissen und je nach Beschaffenheit des Oberbaues zu treffen ist. Der internationale Eisenbahnkongreß zu Paris im Jahre 1900 stellte auf Grund der von Post, Tettelin und Denys erstatteten Berichte fest, daß gegenwärtig eine große Anzahl von Bahngesellschaften das Verfahren der teilweisen Ausbesserung verlassen und sich der Bahnerhaltungsart mit Hauptuntersuchungen zugewandt hat, und daß beide Arten der Gleisunterhaltung ohne Störung des Zugsverkehrs durchgeführt werden können. Um diese Störungen möglichst herabzumindern, wird insbesondere empfohlen: 1. die gleichzeitige Auswechslung sämtlicher Teile des Gleises, also Schienen, Schwellen und Bettung; 2. die Anordnung von Gleissperren, wodurch der dreifache Arbeitsfortschritt erreicht werden kann; 3. bei nicht gesperrtem Gleise möglichst starke Arbeitergruppen anzustellen; 4. Anfang und Ende der Arbeitsstelle durch Signale zu kennzeichnen. Hauptuntersuchungen werden unseres Erachtens insbesondere dann wirtschaftlich gerechtfertigt sein, wenn eine Gleisanordnung den veränderten Verkehrsansprüchen nicht mehr voll entspricht und die Notwendigkeit erkannt ist, mit der Behebung der wahrgenommenen Schäden im Gleise zugleich eine Verstärkung desselben zum Zwecke der Herstellung des Gleichgewichtes zwischen Beanspruchung und Widerstand des Gleises durchzuführen.

c. Veranschlagung der jährlichen Unterhaltungskosten. — Nach welcher Art immer die Oberbauunterhaltungsarbeiten ausgeführt werden, stets soll dies aus Grundsätzen der Wirtschaftlichkeit nur nach einem sorgfältig aufgestellten Kostenvor-

anschlage erfolgen, welcher sich in der Regel auf das ganze Rechnungsjahr erstrecken wird. Hierbei ist der voraussichtliche Materialbedarf nach den im früheren besprochenen allgemeinen Erfahrungen über das Verhalten und die Dauer der Gleisbestandteile und nach den hierüber von jeder Bahn zu führenden besonderen Aufzeichnungen zu veranschlagen, während die voraussichtlichen Arbeitskosten nach dem durchschnittlichen Aufwande in den Vorjahren zu beziffern sind. Bei Feststellung des Gelderfordernisses ist sodann zu unterscheiden zwischen den regelmäßig wiederkehrenden und den außergewöhnlichen Unterhaltungsarbeiten. Zu den ersteren gehören die Instandhaltung der Entwässerungsanlagen und des Bettungskörpers, die Behebung aller Mängel in der Spurweite, Richtung und Höhenlage des Gleises, in der Schienenbefestigung und Schienenverbindung und die Ergänzung von unbrauchbar gewordenen Teilen in kleinem Umfange; zu letzteren die gänzliche Erneuerung der Bettung, Schwellen und Schienen, sowie wesentliche Verstärkungen des Gleises auf längeren Strecken.

Ein unentbehrliches Hilfsmittel für die Aufstellung eines richtigen Voranschlages über den Umfang und die Kosten der Unterhaltungsarbeiten, sowie für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer stattgehabten Ausführung ist die Statistik. Es sei hier an die Worte Webers erinnert: »Die Statistik ist die in Zahlen ausgedrückte Erfahrung im großen, und der Schluß vom Großen und Allgemeinen auf das Spezielle wird immer sehr viel Aussicht haben, der Wahrheit nahe zu kommen.« Der V. d. E. V. hat das Verdienst, die Grundlagen für eine allgemeine Statistik der Bahnunterhaltung geschaffen und die Ergebnisse der statistischen Aufzeichnungen, wie sie hiernach von den Vereinsbahnen geführt werden, allgemein zugänglich gemacht zu haben. Diesem Vorbilde folgten die meisten der europäischen Bahnen, und so wird derzeit alljährlich ein reicher Ziffernschatz veröffentlicht, der einen allgemeinen Vergleich der Art und der Kosten der Oberbauunterhaltung bei den verschiedenartigsten Bahnen ermöglicht. Da indes diese Kosten durch die mannigfachsten örtlichen Umstände und persönlichen Einflüsse mitbestimmt werden, so ist eine genaue Beurteilung und Veranschlagung derselben doch nur aus sehr ins einzelne gehenden Aufschreibungen und Nachweisungen zu gewinnen; es sollte daher keine Bahnverwaltung die Mühe und den Aufwand für solche Nachweisungen scheuen. Es möge deshalb die Art der Aufzeichnungen des in jeder einzelnen Strecke erfolgten Geld- und Tagschichtenaufwandes mitgeteilt werden, welche Ast bei der österreichischen Kaiser Ferdinands-Nordbahn eingeführt hat.

Hiernach werden in zwei bildlichen Darstellungen die Bahnlängen und Streckeneinteilungen als Längen, die Arbeitskosten für das Meter Bahnlänge und die Zahl der in je 100 m aufgewendeten Arbeitsschichten als Höhen aufgetragen; der Geld- und Arbeitsaufwand wird für jeden Monat durch eine andere Farbe zum Ausdrucke gebracht. Die Auftragung erfolgt auf Grund der halbmonatlich bei der Direktion eintreffenden Aufschreibungen der Streckenleitungen. Wie Abbildungen 18 und 19 zeigen, genügen für die Darstellung der Arbeitskosten als Längenmaßstab 1 mm = 1 km, als Höhenmaßstab 1 cm = 10 Heller (10 Pfennige) und für die Darstellung der Arbeitsschichten der zehnfache Längenmaßstab, also 1 mm = 100 m, und als Höhenmaßstab 1 mm = 1 Tagschicht. Die verschiedenfarbige Darstellung der einzelnen Monate ist in den Abbildungen durch Ziffernbezeichnung ersetzt. In der Darstellung der Arbeitskosten ist auch der für jede Strecke vorgesehene Geldaufwand eingetragen und dadurch leicht erkennbar, ob die tatsächlichen Ausgaben die bewilligten Geldmittel über- oder unterschreiten.

Diese Art der Darstellung ermöglicht einen raschen Überblick und Vergleich der gesamten Arbeitsleistungen, zeigt, in welchen Monaten und in welchem Umfange an jeder Gleisstelle im Jahre

Unterhaltungsarbeiten stattfanden, und läßt alle außergewöhnlichen Arbeiten sofort erkennen[166]). Jene Stellen des Gleises, welche besonders häufige Arbeiten erforderten, müssen besonders geprüft werden, um festzustellen, wodurch der größere Aufwand veranlaßt wurde und ob er gerechtfertigt ist. Je nach dem Ergebnis dieser Prüfung werden die weiteren Maßnahmen zu treffen sein. Die Häufigkeit der Gleisberichtigung gibt zugleich dem Bahnerhaltungsingenieur den besten Maßstab dafür, ob die Gleisanordnung noch dem Verkehr gewachsen ist, oder ob dieselbe einer Erneuerung oder einer Verstärkung bedarf.

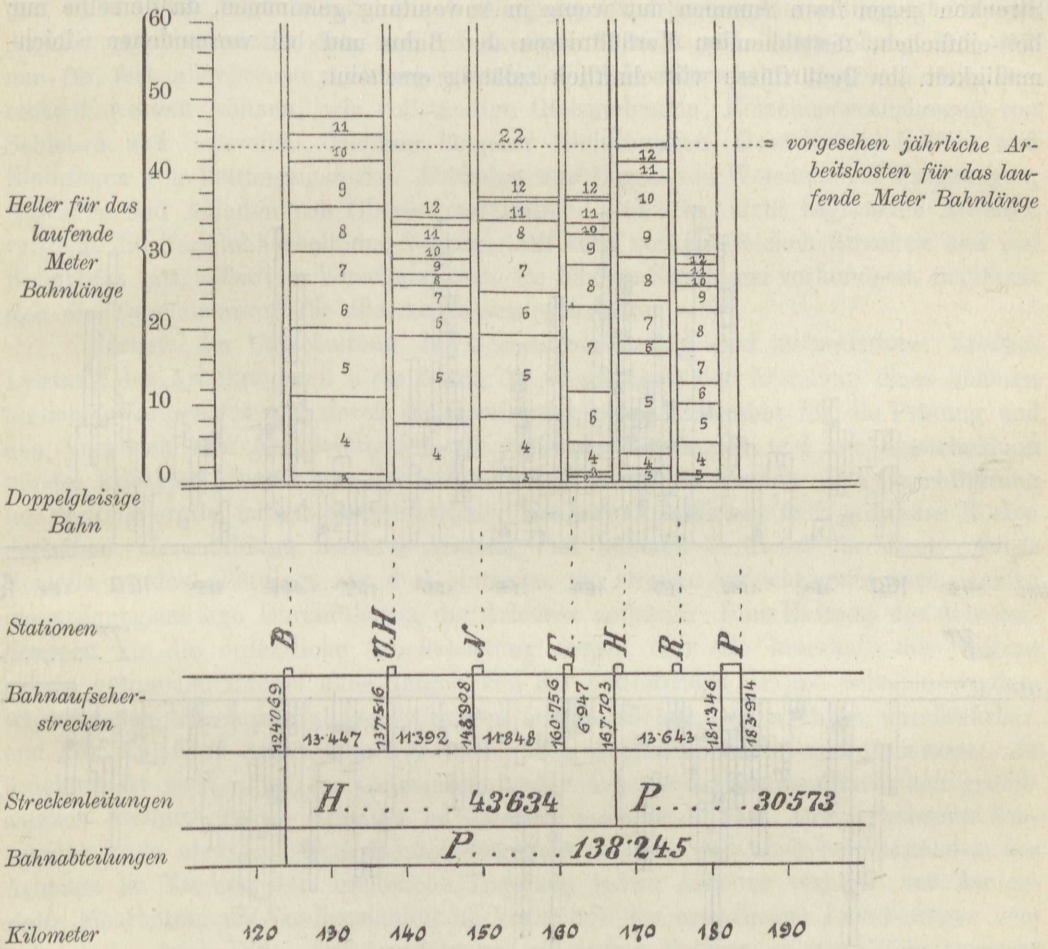


Abb. 18. Bildliche Darstellung der Arbeitskosten für Unterhaltung des Oberbaues im Jahre 1895.
Maßstab für die Längen: 1 mm = 1 km, für die Höhen: 1 cm = 10 Heller (Pfennige). Die eingeschriebenen Ziffern bedeuten die Monate.

§ 12. Die einzelnen Arbeiten der Oberbauunterhaltung. — a. Durchführung der gewöhnlichen Oberbauunterhaltungsarbeiten. Ehe wir die Arbeiten der Oberbauunterhaltung im einzelnen besprechen, ist noch die Frage zu erörtern, ob die Durchführung dieser Arbeiten am zweckmäßigsten im Tagelohn, im Einzelverding oder im Gesamtverding erfolgt. Diese Frage ist wegen ihrer großen

166) So zeigt z. B. die Abb. 19, daß im Gleis I in Kilometer 151 $^2/_4$, 152 $^8/_9$, 155 $^2/_6$, 156 $^4/_7$, 158 $^4/_8$, 159 $^8/_9$ gar keine, hingegen in Kilometer 153 $^7/_8$ dreimal im Jahre Unterhaltungsarbeiten erforderlich wurden, und daß in Kilometer 152 $^3/_7$ ein größerer Arbeitsaufwand durch Reinigung der Bettung erforderlich wurde, während an den bezüglichen Stellen des Gleises II der Arbeitsaufwand sich wesentlich anders gestaltete.

wirtschaftlichen Tragweite seit langem Gegenstand eingehendster Erörterungen sowohl in der technischen Literatur, wie auf den Technikerversammlungen des V. d. E. V. Wir verweisen in dieser Hinsicht besonders auf die Abhandlung von Früh über Unterhaltung des Bahngleises im Akkord[167]) und auf die Technikerversammlungen zu Hamburg 1871[168]), Düsseldorf 1874[169]), Stuttgart 1878[170]) und Straßburg 1893[171]).

Hiernach ist die Unterhaltung der Gleise im Gesamtverding für längere Strecken gegen feste Summen nur wenig in Anwendung gekommen, da derselbe nur bei einfachen, feststehenden Verhältnissen der Bahn und bei vorhandener Gleichmäßigkeit der Bedürfnisse wirtschaftlich zulässig erscheint.

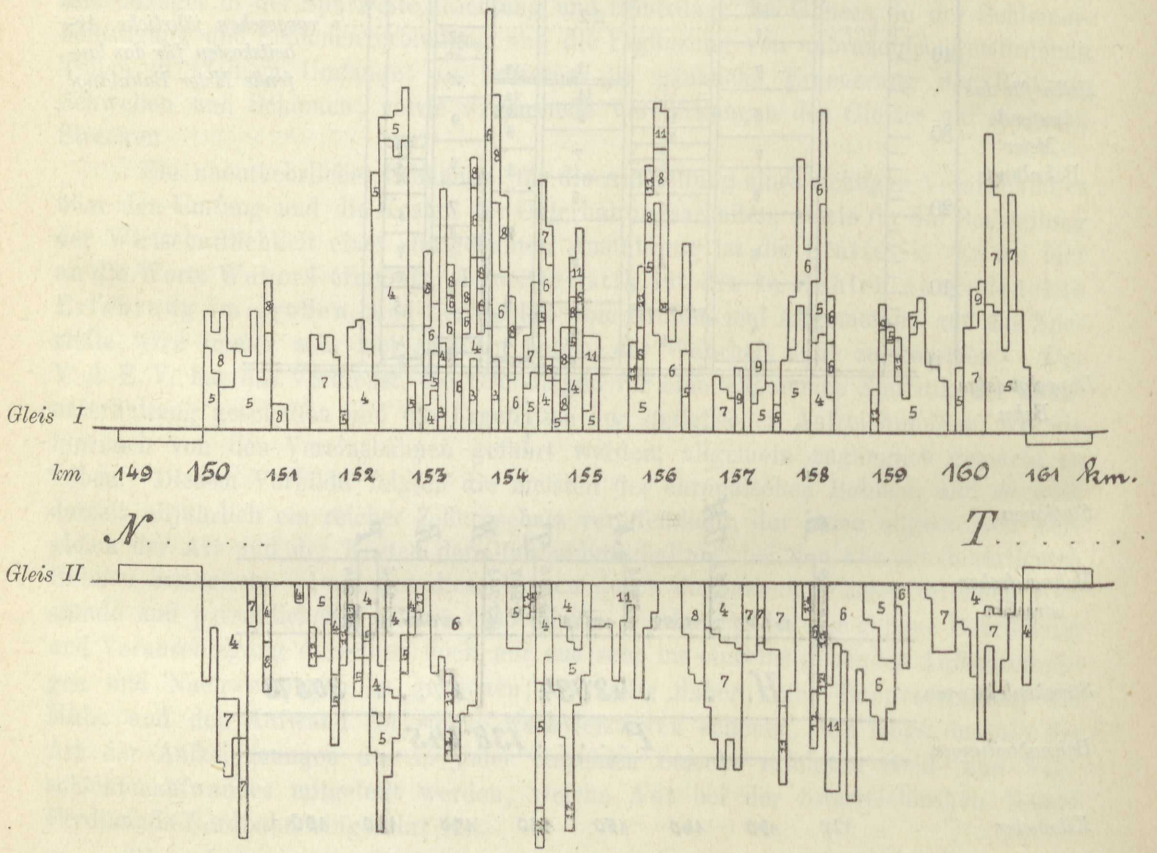


Abb. 19. Darstellung der Arbeitsschichten bei der Unterhaltung des Oberbaues. Maßstab für die Längen: 10 mm = 1 km, für die Höhen: 1 mm = 1 Schicht. Die eingeschriebenen Ziffern bedeuten die Monate.

Hingegen ist die Unterhaltung der Gleise im Einzelverding vielfach in Anwendung und hat sich bei sorgfältiger Überwachung und Untersuchung der Arbeiten für alle fest bestimmbaren Leistungen vorteilhafter als die Tagelohnarbeit erwiesen. Die Technikerversammlung zu Hamburg im Jahre 1871 sprach sich dahin aus, daß

167) Zeitschr. d. V. d. E. V. 1864.
168) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1871.
169) Ebenda, 1874.
170) Ebenda, VI. Ergänz.-Bd. 1878.
171) Ebenda, XI. Ergänz.-Bd. 1893.

»nach den gemachten Erfahrungen die Unterhaltung der Bahngleise im Verding unter gewissen Verhältnissen und Bedingungen vorteilhafter als die im Tagelohn erscheint«. Die Technikerversammlung zu Stuttgart im Jahre 1878 gelangte gleichfalls zu der Schlußfolgerung, daß »für die Unterhaltung der Schienengleise der Einzelverding zu empfehlen ist«. Eingeschränkter lautet die Schlußfolgerung, zu der die Technikerversammlung zu Straßburg im Jahre 1893 auf Grund neuerer Erfahrungen gelangte und welche wie folgt lautet: »Die Verdingung der Oberbauunterhaltungsarbeiten an Arbeiterrotten empfiehlt sich nur bei strenger Aufsicht und Überwachung und auch nur für fest abgegrenzte Leistungen, welche leicht überwacht, gemessen und verrechnet werden können, wie vollständige Gleisumbauten, Einzelauswechslungen von Schienen und Schwellen, Hebung längerer Gleisstrecken, Gewinnung, Beifuhr und Einbringen von Bettungsmaterial, Abbinden und Legen von Weichen und Kreuzungen, Aufladen und Abladen von Oberbaumaterialien. Bei allen nicht begrenzten Arbeiten verdient die Tagelohnarbeit den Vorzug. Auf sehr verkehrsreichen Strecken und auf Bahnhöfen mit lebhaftem Verschubdienst, wo häufige Störungen vorkommen, empfiehlt sich die Tagelohnarbeit für alle Ausbesserungsarbeiten.«

Vorteile der Unterhaltung der Gleise im Verding sind insbesondere: Erhöhte Leistung der Arbeiter, weil diese durch die Möglichkeit der Erzielung eines höheren täglichen Verdienstes und durch die Gewinnung eines Maßstabes für die Prüfung und den Vergleich der Arbeitstätigkeit zu größeren Leistungen und zur Ausscheidung minder kräftiger Arbeiter aus der Gemeinschaft veranlaßt werden. Die Durchführung im Verding ergibt mithin bessere Arbeit, raschere Ausführung und geringere Kosten derselben, Heranbildung besserer Arbeiter und höheren Verdienst für diese. Diese Vorteile werden allerdings nur dort eintreten, wo strenge Aufsicht geübt wird, welche die ordnungsmäßige Durchführung der Arbeiten verbürgt. Eine Haftung der Arbeitergruppen für die ordentliche Arbeitsleistung derart, daß alle innerhalb der Haftzeit zutage getretenen Mängel ohne Entgelt von der betreffenden Gruppe behoben werden, ist zwar von einzelnen Bahnverwaltungen vorgeschrieben, aber schwer durchführbar, und gibt Anlaß zu Streitigkeiten zwischen den Aufsichtsbeamten und Arbeitern. Zu beachten ist noch, daß die Gemeinschaft der Arbeiter neuerdings mehrfach grundsätzlich Stellung gegen Arbeiten im Verding genommen hat. Den erhobenen Einwänden kann aber zum Teil dadurch begegnet werden, daß auch bei Vergebung der Arbeiten im Verding der ortsübliche Tagelohn jedem Arbeiter verbürgt und der erzielte Mehrbetrag als Verdienstanteil im Verhältnis des erworbenen Lohnbetrages verteilt wird. Auch ist — insbesondere auf russischen Bahnen — mit Erfolg versucht worden, das Interesse der Arbeiter und Aufsichtsorgane zu steigern durch Gewährung eines Anteiles an dem Unterschiede zwischen den berechneten und den tatsächlichen Ausgaben[172]).

Als Grundlage für die Vergebung der Arbeiten im Verding ist die Aufstellung von Preisbestimmungen über alle einzelnen Arbeiten erforderlich, wofür im § 13 einige Anhalte gegeben werden. Die Preisansätze sollen an Hand der statistischen Aufzeichnungen über die Leistungen und den Tagschichtenaufwand alljährlich nachgeprüft und richtiggestellt werden.

Die Unterhaltungsarbeiten sind in den einzelnen Jahreszeiten von ungleichem Umfange, und es ist sehr wesentlich, daß ihre Durchführung stets entsprechend der

[172]) Schmidt, Über Ersparnisprämien bei der Oberbauerhaltung, Verhandl. d. internat. Eisenbahnkongr. 1898.

Jahreszeit erfolgt. In den Wintermonaten (Dezember bis Februar) können die Arbeiten auf Spurberichtigungen, Auswechseln einzelner schadhafter Schienen und Befestigungsmittel und auf die Unschädlichmachung der Frostauftreibungen beschränkt werden. Im übrigen ist hauptsächlich für die Schnee- und Eisbeseitigung und bei eintretendem Tauwetter insbesondere für rasche Wasserableitung zu sorgen. Auch sind diese Monate zur Besorgung von vorbereitenden Arbeiten für die im Frühjahr auszuführenden Erneuerungen (Herstellung von Schlägelschotter, Zurichten der Schwellen und Schienen usw.) zu benutzen. Im Frühjahr (März bis Mai) müssen vor allem die gröbsten Mängel in der Höhenlage und in den Richtungsverhältnissen beseitigt werden und muß sodann nach Erfordernis eine gründliche Durcharbeitung des Gleises, d. h. ein durchgängiges Richten und Unterstopfen des Gleises, unter gleichzeitiger Auswechslung aller schadhaften Teile (Bettung, Schwellen, Schienen und Kleinzeug) erfolgen. Größere Gleisumbauten sind gleichfalls schon im Frühjahr einzuleiten, da im Sommer Arbeitskräfte schwerer zu gewinnen sind, auch die Leistungsfähigkeit der Arbeiter und die Güte der Arbeit eine geringere wird. Bei gründlicher Durchführung dieser Arbeiten wird die Oberbauunterhaltung sodann im Sommer (Juni bis September) wesentlich eingeschränkt werden können und sich hauptsächlich auf Erhaltung der erforderlichen Wärmelücken, Reinigung der Bettung von Graswuchs und Anfuhr von Bettungsstoff erstrecken. Im Herbst (Oktober bis November) ist das Gleis wieder sorgfältig zu untersuchen und dort, wo es erforderlich ist, noch vor Eintritt von Frost und Schneefällen derart instand zu setzen, daß die schädlichen Wirkungen dieser Witterungseinflüsse möglichst hintangehalten werden. Es sind deshalb die umgebauten und alle einer Berichtigung bedürftigen Strecken neuerlich durchzustopfen. Ferner muß der zerfahrene und verschlämmte Teil der Bettung entfernt und durch wasserdurchlässigen Stoff ersetzt, die Oberfläche der Bettung geebnet, vor allem aber für eine gute Ableitung des Niederschlagswassers vorgesorgt werden. Auch sind Lücken in der Bettung, die Schneeansammlungen befördern, zu beseitigen.

Im folgenden möge nun noch die Durchführung der wesentlichsten Arbeiten im einzelnen kurz besprochen werden.

1. Instandhaltung der Bettung. Eine gute Instandhaltung der Bettung ist das erste Erfordernis für eine gute Gleislage. Die Besorgung der hierzu nötigen Arbeiten kann, solange sie nicht von zu großem Umfange sind, durch die ständigen Oberbauarbeiter erfolgen. Die Durchführung einer gänzlichen Erneuerung der Bettung wird unter 7 besprochen. Die Entwässerung der Bettung und des Unterbaues muß bereits durch deren Anlage vorbereitet sein. Die Unterhaltung beschränkt sich daher auf die Reinigung der Abzugsgräben und Sickerschlitze, die Beseitigung und Erneuerung der verschlämmten Bettungsteile und die Entfernung des Graswuchses. Die ungleichmäßige Einsenkung des Bettungskörpers kann mit der Zeit zur Bildung von Wassersäcken Anlaß geben, deren Vorhandensein sich oft durch Frosthebungen, manchmal sogar durch das Bersten von Dämmen kundgibt. Um diese äußerlich nicht wahrnehmbaren Wasseransammlungen unschädlich zu machen, ist eine sorgfältige Beobachtung des Untergrundes, erforderlichenfalls Aufgrabung und je nach dem Befunde die Anlage von Schlitzen und dergleichen geboten.

2. Behebung von Mängeln in der Schienenbefestigung und Schienenverbindung. Das Nachschlagen gelockerter Nägel, das Nachziehen lockerer Schwellen- und Schienenschrauben und das Nachstopfen einzelner lockerer Schwellen gehören zu den alltäglichen Arbeiten der Gleisunterhaltung. Ein Nachschlagen lockerer Nägel

und Nachziehen der Schwellenschrauben wird nur dann zweckentsprechend sein, wenn diese nicht bereits verbogen und das Holz der Schwellen nicht schon zu sehr zerstört ist. Verbogene Befestigungsmittel müssen durch gerade gerichtete oder neue ersetzt werden, was bei Holzschwellen nur nach vorgängiger Verkeilung der alten Löcher geschehen darf. Das Nachziehen der Schrauben soll nicht mit zu großer Gewalt, also nicht mit zu langem Schraubenschlüssel erfolgen, damit die Bolzen nicht abgedreht werden. Ein Nachziehen der Laschenschrauben wird nur dann nützen, wenn nicht die ungleiche Abnutzung der Laschenanlageflächen eine gute Anlage der Laschen verhindert. Ist eine ungleiche Laschenabnutzung einmal eingetreten, dann ist die bereits in § 9 (S. 367) erwähnte Ausfüllung der Spielräume mit entsprechend geformten und richtig bemessenen Futterblechen geboten.

3. Berichtigung der Spurweite. Nach den Bestimmungen der technischen Vereinbarungen des V. d. E. V. (§ 2) sind Abweichungen von den vorgeschriebenen Spurmaßen — als Folge des Betriebes — bis zu 3 mm darunter und 10 mm darüber zulässig, derart, daß die größte Spurweite in geraden Gleisen nicht mehr als 1,445 m beträgt und in Krümmungen das Maß von 1,465 m niemals überschritten wird. Ergibt die Prüfung der Spurweite größere Abweichungen von dem vorgeschriebenen Spurmaße, so ist zunächst festzustellen, wodurch dieselben ermöglicht wurden, und demgemäß eine Berichtigung vorzunehmen. Spurerweiterungen können durch seitliche Verschiebungen der Schienen auf den Schwellen (infolge Lockerung und Nachgiebigkeit der Befestigungsmittel), durch Verbiegungen, Verdrehungen und ungleichmäßiges Einpressen der Schienen in die Schwellen, durch zu große Abnutzung oder Breitdrückungen des Schienenkopfes, durch Längsverschiebungen oder Verdrehungen der Schwellen, in Krümmungen auch durch unrichtige Bemessung der Spurerweiterung oder durch zu großen Radstand steifachsiger Fahrzeuge veranlaßt sein. Demgemäß wird eine Berichtigung der Spurweite durch Rücken eines Schienenstranges mit dem Hebebaum oder besser mit dem selbsttätigen Spurrichter (s. § 6, S. 313), und erforderlichenfalls durch Umnageln eines Schienenstranges (wobei die alten Nagellöcher mit angeteerten Holznägeln gut verkeilt werden müssen) nur dann dauernde Abhilfe gewähren, wenn gleichzeitig auch die Behebung der Ursachen erfolgt, also alte Schwellen, welche den Nägeln keine genügende Haltkraft mehr bieten, ausgewechselt, Drehbewegungen der Schienen durch entsprechend geformte Platten und Vermehrung der Befestigungsmittel verhindert, zu sehr abgenutzte oder verbogene Schienen ausgewechselt, die durch die Längsbewegung der Schienen eingetretenen Unregelmäßigkeiten in der Schwellenlage beseitigt und gegen das Wandern des Gestänges entsprechende Vorkehrungen getroffen, endlich auch Beschränkungen im Verkehr der Fahrzeuge von zu großem Radstande verfügt werden. Bei eisernem Querschwellenoberbau werden Berichtigungen der Spurweite nur infolge von Abnutzungen des Kleineisenzeuges und der Lochungen, oder infolge von Abbiegungen zu schwacher, in der Mitte fest gestopfter Schwellen erforderlich. Es wird dann die Einbringung von neuem, stärker bemessenem Kleineisenzeug oder die Einlegung von Füllstücken und unter Umständen die Verwendung stärkerer Schwellen notwendig.

4. Berichtigung seitlicher Verschiebungen des Gleises. Störungen in der Richtung, wie sie am häufigsten in langen Geraden und beim Übergange der geraden in stark gekrümmte Strecken vorkommen, werden durch Rückung des Gleises mittels hölzerner Schlägel und hölzerner oder eiserner Hebel bewirkt, wobei der Bettungsstoff von den Schwellenköpfen an der Seite entfernt werden muß, nach

welcher die Rückung erfolgt. Der Angriff soll an den Schwellen — nicht an den Schienen — am Schienenstoß und in Schienenmitte erfolgen. Verschiebungen auf großen Längen erfordern das Lösen der Schrauben an den Stößen. Nach Berichtigung der Lage ist das Gleis festzustopfen, die Befestigung und Verbindung der Schienen sowie die Weite der Wärmelücken zu prüfen und erforderlichenfalls zu verbessern.

5. Berichtigung von Längsverschiebungen des Gleises. Die Längsverschiebungen bedürfen wegen der schädlichen Folgen für die Gleislage und für die Beanspruchung der Gleisbestandteile einer baldigen Berichtigung. Diese erfolgt durch Zurücktreiben der Schienen und Schwellen in die vorgeschriebene Lage, was am besten mit dem im § 6 (S. 313) erwähnten Bauerschen Schienenrücker geschieht, da die übliche Art des Schienentreibens mittels Einschlagen von Keilen zwischen den Schienen, oder durch Vorstoßen der letzteren — nach Ausheben einzelner von ihnen — leicht Beschädigungen der Schienenköpfe veranlaßt. Ist auch eine Verschiebung der Schwellen eingetreten, so müssen diese vor dem Zurücktreiben freigelegt und muß das Gleis nach Herstellung der ordnungsmäßigen Schwellenlage wieder in die richtige Spur genagelt werden. Die zur dauernden Verhütung des Wanderns gebräuchlichen Mittel sind bereits früher (s. § 7, S. 330) genannt worden. (Vergleiche die Mitteilungen von Kohn im Zentralblatt der Bauverwaltung 1897, S. 400, und die Beantwortungen zur Frage »Wandern der Schienen« der Technikerversammlung vom Jahre 1903, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XIII. Ergänz.-Bd. 1903.)

6. Berichtigungen der Höhenlage des Gleises. Die Störungen in der Höhenlage sind die unmittelbarsten Folgen der ungleichen Nachgiebigkeit der Bettung und des Untergrundes unter den Lasteinwirkungen. Ihre Behebung beschäftigt zahlreiche Arbeitskräfte und verursacht alljährlich einen bedeutenden Geldaufwand. Unmittelbar betriebsgefährlich sind indes nur Senkungen von geringer Länge, und diese müssen deshalb sofort beseitigt werden. Bei Senkungen von größerer Länge genügt zunächst die Herstellung von Übergängen in die alte Höhenlage, während die vollständige Hebung des Gleises später bei dem durchgängigen Richten und Unterstopfen des Gleises erfolgen kann. Besonderes Augenmerk ist hierbei auch dem Auslaufe der Überhöhungen des äußeren Schienenstranges der Krümmungen zuzuwenden; jede Abweichung von der vorgeschriebenen Länge des Auslaufes ist zu berichtigen.

Die Beseitigung der Unebenheiten des Gleises erfolgt entweder durch Heben der gesenkten, oder durch Senkung der aufgestiegenen Stellen. Die Lockerung der Schwellen verrät sich dadurch, daß der Schotter um den Schwellenkopf aufgewirbelt erscheint.

Die Hebung des Gleises erfordert das Ausräumen des Bettungsstoffes bis auf Schwellenunterkante und erfolgt sodann entweder mittels des Hebebaumes (Wuchtebaum) oder mittels der im § 6 angeführten besonderen Hebevorrichtungen bei gleichzeitigem Unterstopfen der Schwellen. (Über die Durchführung des Unterstopfens siehe § 5, S. 301.) Das Maß der Hebung ist für geringe Längen durch Abfluchten entlang der Schienen mit freiem Auge, bei längeren Hebungen aber mittels Absehbrettern oder Absehkreuzen zu bestimmen. Senkungen von mehr als 0,1 m dürfen nicht durch eine einmalige Hebung beseitigt werden, da bei größerer Höhe des Raumes zwischen Schwelle und Auflager eine gute Unterstopfung nicht mehr bewirkt und in den meist kurzen Zeiträumen zwischen den verkehrenden Zügen, innerhalb welcher diese Arbeiten durchgeführt werden müssen, hinreichend sanfte Übergänge von der gehobenen

zur tiefliegenden Gleisstrecke nicht hergestellt werden können. Wichtig ist auch, daß beide Schienenstränge gleichzeitig gehoben und unterstopft werden, da sonst unter der zuerst gestopften Stelle der Schwelle Hohlräume zurückbleiben und das Schwellenauflager kein gleichmäßiges ist. Dies ist insbesondere auch bei Wiederherstellung der Überhöhungen des äußeren Schienenstranges in Krümmungen wohl zu beachten.

Die Senkung eines Gleises erfordert die Entfernung des Bettungsstoffes unter den Schwellen, was jedoch erst erfolgen kann, wenn zuvor das Gleis etwas gehoben und in dieser Lage gestützt wird. Ist der Aushub auf die erforderliche Tiefe erfolgt, dann wird das Gleis gesenkt und festgestopft. Die richtige Höhenlage wird dabei nicht unmittelbar, sondern erst durch nachträgliche Hebung erreicht.

Diese Arten der Berichtigung der Höhenlage des Gleises sind jedoch bei den durch die Frosteinwirkungen entstehenden wellenförmigen Hebungen des Gleises (Frosthebungen, Frostbeulen) während des Winters nicht ausführbar. Es müssen dann die Unebenheiten des Gleises dadurch behoben werden, daß man zwischen den Schienen und den zu tief liegenden Schwellen Unterlagen aus hartem Holz einschiebt, oder die zu hoch liegenden Schwellen abdexelt. Bei einer Höhe der Holzunterlagen von mehr als 2 cm ist die Verwendung längerer Nägel erforderlich.

Zur Ausführung der geschilderten Hebungen und Senkungen sind nebst dem Vorarbeiter etwa vier bis acht Arbeiter erforderlich.

7. Erneuerung schadhaft gewordener Teile. Erneuerung der Bettung. Die im § 7 (S. 333) geschilderten Veränderungen, welche die Bettung während des Betriebes erleidet, und die dadurch veranlaßten Mängel in der Höhenlage und Richtung des Gleises erfordern die Erneuerung des Bettungsstoffes, sobald die Widerstandsfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit desselben nicht mehr genügen. Hierbei muß die schlechte Bettung ganz ausgehoben und derart abseits gelagert werden, daß eine Vermengung derselben mit der neu einzubringenden vermieden wird. Eine Wiederverwendung der ausgehobenen Bettungsteile ist nur nach erfolgter Austrocknung und Reinigung zulässig, vorausgesetzt, daß die sonstige Beschaffenheit diese Arbeit noch lohnt. Auch bei vollständiger Erneuerung der Bettung wird eine gute Gleislage nur erzielt, wenn gleichzeitig für eine möglichst vollkommene Entwässerung des Bettungskörpers und Untergrundes gesorgt wird. Es müssen deshalb die Wasserabführungsgräben gereinigt und erforderlichenfalls vertieft, wenn nötig Steinrippen, Sickerschlitze und tiefliegende Sickerrohre hergestellt und in gutem Zustande erhalten werden. Bei Eisenschwellenoberbau muß vor Einbringung der neuen Bettung der alte Kies aus den Schwellenhöhlungen herausgeklopft und müssen diese von Staub und Schlamm sorgfältig gereinigt werden. Die Art der Einbringung des Bettungsstoffes, das Unterstopfen und Richten des Gleises sind bereits früher besprochen worden (s. § 5, S. 301).

Erneuerung der Schwellen. Ist die Widerstandsfähigkeit einer Holzschwelle, sei es durch mechanische Zerstörung, durch Nachdexeln oder Fäulnis, soweit vermindert, daß eine gute Übertragung des Schienendruckes auf die Bettung, ein sicheres Auflager und eine verläßliche Befestigung der Schienen nicht mehr gewährleistet sind, dann muß die Auswechslung erfolgen. Der Zeitpunkt, in welchem diese Notwendigkeit eintritt, ist nach dem (im § 8, S. 336) hierüber Mitgeteilten ein so verschiedener, daß er im einzelnen Falle nur durch öftere Untersuchung des Schwellenzustandes festgestellt werden kann. Zu diesem Zwecke sollen die Schwellen

soweit von der Bettung befreit werden, daß sie allseitig besichtigt und durch Hammerschläge — wobei dumpfe Töne auf innere Fäulnis deuten — geprüft werden können. Das Auswechseln einzelner schadhafter Schwellen erfolgt während der Zugpausen am zweckmäßigsten derart, daß neben der Schwelle in der Bettung ein entsprechend breiter und tiefer Graben ausgehoben und die Schwelle nach Lösung der Befestigungsmittel in diesen Graben geschoben und herausgezogen wird. Ebenso erfolgt die Einschiebung der Ersatzschwelle, die selbstverständlich ordnungsgemäß gestopft werden muß. Zu dieser Arbeit genügen zwei bis drei Mann. Die vollständige Erneuerung empfiehlt sich, sobald die Anzahl der auswechslungsbedürftigen Schwellen so groß ist, daß durch Einzelauswechslungen die gleichmäßige Beanspruchung des Gleises gefährdet erscheint. Die Erneuerung ist mit der der Bettung zu verbinden und kommt dann auch bei Wiederverwendung der alten Schienen in der Durchführung einem völligen Gleisumbau gleich.

Erneuerung der Schienenverbindungs- und Befestigungsmittel. Die Erneuerung der Laschen wird notwendig, wenn dieselben brechen, oder wenn die Anlageflächen derart abgenutzt sind, daß auch durch Ausfüllung der Spielräume mit Futterblechen ein guter Laschenschluß nicht erzielt werden kann. In letzterem Falle hat man neuerdings (zuerst auf der linksrheinischen Bahn) nach dem Vorschlage von Kohn neue Laschen eingezogen, deren Höhe um das Maß des Verschleißes der Schienen in der Anlage größer als die ursprüngliche Laschenhöhe bemessen wurde[173]). Ein gutes Anliegen derartig verstärkter Laschen dürfte indes nur dann erreichbar sein, wenn die Abnutzungen in der Laschenkammer nicht zu unregelmäßig erfolgt sind. Nach dem im § 9 (S. 367) hierüber Gesagten wird diese Voraussetzung nicht immer zutreffen.

Beim Ersatze durchgebogener oder gebrochener Unterlagsplatten ist zu beachten, daß die Lagerfläche auf den Schwellen vor Einziehen der Ersatzstücke sorgfältig geebnet wird, um ein Hohlliegen und baldiges Schadhaftwerden der neuen Platten zu verhindern.

Der Ersatz von Laschen- und Schienenschrauben wegen Reißens derselben wird nicht nur infolge von Überanstrengung im Betriebe, sondern auch infolge von gewaltsamem Nachziehen erforderlich. Es ist deshalb hierbei Vorsicht geboten.

Nägel sowie Schwellenschrauben, deren Köpfe abgebrochen oder welche selbst abgebogen oder abgerissen sind, müssen durch neue ersetzt werden. Das Entfernen der Nägel erfolgt, wenn tunlich, durch Ausziehen mittels des Geisfußes oder der Nagelzange, oder durch Austreiben mit dem Durchschlagshammer. Das alte Loch muß verteert und verkeilt und das neue Befestigungsmittel soll, wenn möglich, nicht an derselben Stelle eingetrieben werden.

Erneuerung der Schienen. Die Erneuerung einzelner Schienen wird erforderlich, wenn sie gebrochen sind oder solche Schäden zeigen, daß dadurch die Sicherheit oder Ruhe der Fahrt gefährdet erscheint. Bedenkliche Schäden sind insbesondere Abtrennungen ganzer Teile des Schienenkopfes, größere Breitdrückungen und Längsrisse.

Bei den meisten Schienenbrüchen ist zunächst ein langsames Befahren des Gleises dadurch zu ermöglichen, daß die Schiene an der Bruchstelle durch ein

---

173) Vgl. übrigens das II. Kapitel dieses Bandes, § 36, S. 249; ferner die Mitteilung von Kohn im Centralbl. d. Bauverw. 1897, S. 391.

Schwellenstück gestützt und auf diesem mit Nägeln befestigt wird, oder daß besondere für diesen Zweck gebaute Hilfsverlaschungen (Schienenbruchverbände)[174] in Anwendung kommen. Beim Auswechseln schadhafter Schienen werden die Laschen beseitigt, die Befestigungsmittel auf einer Seite der Schiene herausgezogen und die Löcher in den Schwellen gut verkeilt. Dann wird die bereitgehaltene Ersatzschiene eingelegt, befestigt und mit den Nachbarschienen verlascht. Von Wichtigkeit ist, daß die Ersatzschiene in der Länge richtig bemessen und dem Abnutzungsgrade der benachbarten Schienen angepaßt ist. Es ist deshalb die Länge der auszuwechselnden Schiene vorher genau zu messen und hierbei, insbesondere an heißen Sommertagen, auch auf die nach Lösung der Laschen noch erfolgende Ausdehnung der aneinander gepreßten Schienen — welche oft mehrere Centimeter beträgt — Rücksicht zu nehmen. Entsprechend abgenutzte Ersatzschienen sind aus dem Rückgewinne anderer Streckengleise bereit zu halten.

Die gänzliche Erneuerung der Schienen ist aus Sicherheitsrücksichten erforderlich, wenn die gleichmäßige Abnutzung derselben die zulässige Grenze erreicht hat, und aus wirtschaftlichen Gründen geboten, sobald die Zahl der einzeln ausgewechselten Schienen etwa die Hälfte der ursprünglich verlegten Schienen beträgt, weil die übrigen Schienen dann nur noch eine geringe Gebrauchsdauer erwarten lassen. Auf Strecken mit dichtem Verkehr erfolgt die Erneuerung der Schienen aus den im § 10 (S. 369) dargelegten Gründen meist schon, sobald 20 bis 30 v. H. der ursprünglich verlegten Schienen ausgewechselt sind, da in diesem Zeitpunkte bereits 60 bis 80 v. H. der gesamten Ausnutzungslast über das Gleis gerollt ist. Die Schienenerneuerung ist mithin in erster Linie durch den Zustand der Gleise veranlaßt, wird jedoch auch durch die Notwendigkeit der Beschaffung eines entsprechenden Vorrates von Ersatzschienen bestimmt und kann endlich auch durch die Notwendigkeit einer Änderung der Form vorzeitig erforderlich werden.

Mit der Schienenerneuerung erfolgt zumeist auch die Erneuerung der Bettung und der Schwellen; erstere kommt daher gewöhnlich einem völligen Gleisumbau gleich.

b. Umbau eines Gleises. — Der Umbau eines Gleises kann entweder durch die weit vorgeschrittene Abnutzung der Hauptbestandteile oder zum Zwecke der Beschaffung von geeignetem Ersatz für andere Strecken, oder endlich durch die Notwendigkeit einer Verstärkung des Gleises erforderlich werden. Ob hierbei sämtliche Bestandteile vollständig erneuert werden sollen, oder eine Wiederverwendung noch brauchbarer Teile zweckmäßig ist, bedarf in jedem einzelnen Falle der Erwägung. Es kann insbesondere zweckmäßig sein, Bettung, Schwellen und Kleineisenzeug zu erneuern und den zu belassenden Schienen dadurch eine längere Dauer zu sichern; es kann aus wirtschaftlichen Gründen auch geboten sein, bei der Schienenerneuerung alte noch brauchbare Schwellen wieder zu verwenden. In der Regel wird jedoch mit der Erneuerung der Schienen auch die gleichzeitige Erneuerung aller anderen, vergänglicheren Bestandteile des Gleises zu verbinden sein, da nur hierdurch ein in allen seinen Teilen gleich widerstandsfähiges Gleis zu gewinnen ist.

Die Ausführung eines Gleisumbaues kann ohne Unterbrechung des Betriebes dadurch erfolgen, daß die Hauptarbeit während der regelmäßigen Zugpausen bewirkt wird. Erforderlichenfalls können diese durch Beschränkungen des Zugverkehres verlängert werden. Die sorgfältige Vorbereitung der Hauptarbeit ist eine wesentliche

174) Schienenbruchsversicherungsklemme von F. Lepier in Prag. S. Zeitung d. V. d. E. V. 1898.

Voraussetzung für die wirtschaftliche Durchführung eines derartigen Gleisumbaues. Zunächst müssen alle Teile rechtzeitig auf die Strecke geschafft, zurechtgelegt und für die Verlegung durch Vorbohren der Schwellen, Heften der Unterlagsplatten usw. vorbereitet werden. Die Beseitigung des alten Gleises ist noch vor Eintritt der Zugpause durch Aufgraben und Auswerfen der Bettung, Einölen verrosteter Schrauben, Lockern einzelner Nägel, Verteilung der Werkzeuge und neuen Befestigungsmittel zu fördern. Sofort nach Vorbeifahrt des letzten Zuges muß mit dem Aufnehmen des alten und, diesem folgend, auch gleich mit dem Einbau des neuen Gleises begonnen werden, wobei jede Arbeitergruppe fortlaufend dieselbe ihr vorher zugewiesene Leistung auszuführen hat. Eine Gruppe beginnt mit dem Lösen der Laschenverbindung, eine zweite löst die Schienenbefestigungsmittel, eine dritte kantet die Schienen und entfernt sie aus der Bahn, hebt die Schwellen aus und wirft sie an die Außenseite des Gleises. Nun kann durch eine vierte Arbeitergruppe die alte Bettung vollständig ausgehoben und die neue hergestellt werden. Der Einbau des neuen Gleises erfolgt sodann nach den im § 5 (S. 296) gegebenen Vorschriften für das Verlegen des Oberbaues, durch dieselben vier Arbeitergruppen, derart, daß die ersten zwei Gruppen das Verlegen und Verlaschen, die folgenden das Nageln und Unterstopfen, Heben und Richten des neuen Gleises besorgen. In einer Zugpause von zwei Stunden kann derart eine Gleisstrecke von etwa 100 m und in fünfstündiger Zugpause von etwa 300 m Länge umgebaut werden. Beim Umbau von Gleisen in Strecken, wo nur sehr kurze Zugspausen vorhanden sind, beginnt man wohl auch mit der Schienenauswechslung, während die Schwellen des bestehenden Oberbaues vorläufig noch in der Bahn belassen und erst später einzeln durch neue Schwellen ersetzt werden. Doch leiden hierbei die neuen Schienen infolge unvollkommener Auflage auf den alten Schwellen, und letztere werden durch die unvermeidlichen Anarbeitungen noch mehr entwertet[175]). Bei hinreichendem Platz neben dem umzubauenden Gleise kann auch das neue Gleis vollständig neben dem alten abgebunden und in Teilen eingeschoben werden, ein Arbeitsvorgang, der insbesondere bei kurzen Zugspausen empfehlenswert erscheint, da die tägliche Arbeitsleistung hierbei eine wesentlich größere ist. Für den Anschluß des neuen Gleises an das alte Gleis sind Paßstücke von wechselnder Länge nötig, die aus den Schienen des alten Oberbaues hergestellt werden. Da beim jedesmaligen Anschluß des neuen Oberbaues an die bereits abgefahrenen Paßstücke oder an die alten Schienen das Ende der langen neuen Schienen schon durch wenige Züge niedergehämmert wird, empfiehlt die »Anweisung für das Verlegen des Oberbaues auf den preußischen Staatseisenbahnen«, an die letzten neuen Schienen zwei nicht abgefahrene Vorstreckschienen in Form der neuen Schienen von etwa 2 m Länge auf mindestens drei Querschwellen und dann erst die Paßschienen anzuschließen. Diese Vorstreckschienen werden zweckmäßig vor dem jedesmaligen Aufbrechen des alten umzubauenden Gleises mit ihren Schwellen verschraubt, auf einem Bahnmeisterwagen bis zur neuen Anschlußstelle gebracht[176]). Ferner ist neuerdings auf den preußischen Staatsbahnen (K. E.-D. Posen) eine besondere Übergangsvorrichtung zur Anwendung gekommen, deren Länge mit Hilfe von abgeschrägten Schienenstücken nach Art der Weichenzungen verändert und so der jeweils vorhandenen Gleislücke leicht angepaßt werden kann.

---

175) Siehe auch Schienen-Neulage von F. Baumgartner, Österreichische Wochenschrift f. d. öffentlichen Baudienst 1901.

176) Über Leistungen beim Einbau von Langschwellengleisen siehe § 6, S. 316.

Die bei Gleisumbauten gewonnenen Teile müssen zusammengetragen und nach Brauchbarkeit, Ausbesserungsfähigkeit und Unbrauchbarkeit geordnet werden. Insbesondere ist eine sorgsame Sichtung der Schienen erforderlich, wobei zu unterscheiden sind:

1. Schienen, welche noch in Haftzeit der Hüttenwerke sind, für die also Ersatzstücke kostenfrei geliefert werden müssen;
2. Schienen, deren Wiederverwendung für Hauptgleise noch zulässig erscheint;
3. Schienen, deren Schäden eine Wiederverwendung nur für Nebengleise gestatten;
4. Schienen, welche durch Abhauen der schadhaften Enden noch brauchbar gemacht werden können[177]);
5. Schienen, die als gänzlich unbrauchbar einer anderen Verwendung oder dem Verkaufe zugeführt werden können;
6. Schienen, welche durch Ausschweißen schadhafter Stellen wieder gebrauchsfähig gemacht werden sollen, obwohl derart geflickte Schienen nur in Gleisen von untergeordneter Bedeutung Wiederverwendung finden können.

c. Verstärkung des Gleises bei erhöhter Beanspruchung. — Da die Verkehrsanforderungen während des Bestandes eines Gleises oftmals wesentliche Veränderungen erfahren und mit jeder Steigerung des Verkehres eine erhöhte Beanspruchung des Gleises, sei es durch Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit, Vermehrung der Anzahl und größere Belastung der Züge, oder durch veränderte Bauart der Fahrzeuge, insbesondere durch Erhöhung des Raddruckes der Lokomotiven, eintritt, so erwächst daraus für die Bahnunterhaltung die Pflicht, rechtzeitig Maßnahmen zu treffen, welche geeignet sind, die Widerstandsfähigkeit des Gleises derart zu erhöhen, daß die Sicherheit des Verkehres nicht gefährdet wird und daß die Kosten der Gleisunterhaltung in wirtschaftlichen Grenzen gehalten werden. In jedem solchen Falle wird es einer sorgfältigen Erwägung bedürfen, ob der erforderliche Widerstand des Gleises durch Verstärkung einzelner Teile desselben erreichbar, oder ob eine vollständig neue Gleisanordnung notwendig ist.

In den Mitteln zur Verstärkung des Gleises sind dem Bahnerhaltungsingenieur bei der üblichen Bauart der Gleise allerdings verhältnismäßig enge Grenzen gezogen. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf das II. Kapitel dieses Bandes[178]) und auf die sehr eingehenden Erörterungen, welche diese Frage auf dem internationalen Eisenbahnkongresse zu London 1895 im Berichte Asts zur Frage I erfahren hat. Hiernach bieten sich zur Verstärkung des Querschwellenoberbaues folgende Wege dar:

1. die Verbesserung des Schotterbettes und Untergrundes, wodurch die Steifigkeit des Gleises wirksam erhöht werden kann;
2. die Auswechslung der Querschwellen gegen solche von widerstandsfähigerem Stoffe (hartes Holz, Eisen) und größeren Abmessungen (Breite, Länge);
3. die Vermehrung der Schwellen, also Verminderung der Schwellenabstände;
4. die Verbesserung der Schienenverbindung (Vermehrung der Anzahl der Befestigungsmittel, Anwendung von Unterlagsplatten und Schienenstühlen);
5. die Verbesserung der Stoßverbindung (längere und kräftigere, die Unterlags-

177) Über Kürzung langer an den Enden abgenutzter Schienen mit gewöhnlichen Handsägen und den auf der französischen Ostbahn hierbei beobachteten Arbeitsvorgang berichtet Bauchel in der Revue générale des chemins de fer 1901. S. auch Österreichische Wochenschrift f. d. öffentlichen Baudienst 1901.

178) S. dort § 12, S. 125 ff.; § 36, S. 249; § 48, S. 274.

platten umfassende Laschen, Verstärkung und Vermehrung der Laschenschrauben, Einspannung der Schienen am Stoße in Stühlen, enge Lage und größere Abmessungen der Stoßschwellen).

Diese Mittel werden in vielen Fällen hinreichen, dem Gleis die geforderte Widerstandsfähigkeit ohne Verwendung schwerer Schienen zu sichern, insbesondere wenn auch auf besseren Schienenstahl gedrungen wird. Tritt die Notwendigkeit dennoch ein, eine Schiene von größerem Querschnitte anzuwenden, dann sind die Voraussetzungen für einen vollständigen Gleisumbau gegeben. Man wird dann bei Wahl des neuen Schienenquerschnittes aber auch auf die etwaige weitere Erhöhung der Belastung Rücksicht nehmen und für eine künftig erforderlich werdende nochmalige Verstärkung des neuen Gleises dadurch vorsorgen müssen, daß die Möglichkeit einer späteren Engerrückung der Schwellen gewahrt wird.

Schwieriger als beim Querschwellenoberbau ist die Anpassung an erhöhte Verkehrsbeanspruchungen beim Langschwellenoberbau. Eine ausgiebige Verstärkung kann bei dieser Oberbauart meist nur durch vollständigen Ersatz der alten Anordnung durch eine neue, kräftigere erreicht werden.

Da die Grenzen der möglichen Verstärkung bei beiden Oberbauarten nicht wesentlich über das bereits Bestehende zu verschieben sind, so wird in neuerer Zeit von Seite der Gleistechniker immer lebhafter die Forderung an die Maschinen- und Betriebstechniker gerichtet[179]), durch eine entsprechende Bauart der Fahrzeuge und durch geringere Belastung der Züge eine Erhöhung der Raddrücke, wenn nicht ganz entbehrlich, so doch in ihren Wirkungen minder schädlich für das Gleis zu machen. Alle aus einer ungeeigneten Bauart der Fahrzeuge oder aus einer unzweckmäßigen Zusammensetzung der Züge folgenden Schäden am Gleis werden alsbald in den erhöhten Kosten der Gleisunterhaltung und in rascherem Verderb der Gleisbestandteile — insbesondere der Bettung — sichtbar. Dem Bahnerhaltungsingenieur erwächst daraus die besondere Pflicht einer aufmerksamen Beobachtung und Mitteilung jener Wahrnehmungen im Verhalten des Gleises und in der Gleisunterhaltung, welche die Einwirkungen der verschiedenartigen Bauart der Fahrzeuge und der verschiedenen Betriebsweisen auf das Gleis klarzustellen vermögen. Hiermit eröffnet sich ihm ein noch wenig bebautes Feld für eine fruchtbringende Tätigkeit. Verschärfte Beobachtung und eine von neuen Gesichtspunkten ausgehende Verwertung der Bahnerhaltungsstatistik werden am meisten zur Aufklärung der wechselseitigen Beziehungen zwischem dem Gleis und dem Fahrzeuge beizutragen vermögen.

§ 13. Kosten der Herstellung des Oberbaues. — a. Die Herstellungskosten im allgemeinen. Die Herstellungskosten eines Gleises setzen sich zusammen aus den Kosten der Gleisteile einschließlich Verladen und Befördern derselben von den Lagerplätzen zur Verwendungsstelle, sowie aus den Kosten des Verlegens des Gleises und der Unterhaltung desselben während der Bau- und ersten Betriebszeit. Auf die Kosten üben insbesondere die folgenden Umstände Einfluß aus.

1. Die Bauart des Gleises. In dieser Hinsicht verweisen wir auf die von Blum im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1896 mitgeteilten vergleichenden Betrachtungen über den Wert verschiedener Oberbauanordnungen auf Querschwellen. Blum nimmt dort die nachstehenden Preise für je eine Tonne an: Schienen 130 ℳ, getränkte eichene Schwellen 70 ℳ, eiserne Querschwellen 120 ℳ, Befestigungsmittel

[179]) Siehe Ast, Über die Entwicklung des Gleisbaues im Vereinsgebiete, Zeitung d. V. d. E. V. 1896, Nr. 60.

für Holzschwellenoberbau 150 ℳ und Befestigungsmittel für Eisenschwellenoberbau 220 ℳ. Damit ergeben sich die Kosten der Gleisteile verschiedener zurzeit in Anwendung stehender Oberbauarten, wie die nachfolgenden Zusammenstellungen zeigen.

Bauart und Kosten

einiger Oberbauanordnungen mit **Holz**schwellen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nr.	Eisenbahnverwaltung und Oberbaubezeichnung	Schienen-		Schwellen-					Gewicht eines Laschenpaares	Gleisgewicht	Kosten der Gleisteile	Vergleich der Kosten mit dem preuß. Oberbau (Nr. 2 der Zusammenstellung)
				Abmessungen			Abstand					
		Gewicht	Trägheitsmoment	Länge	Breite	Höhe	größter	am Stoße				
		kg/m	cm^4	cm	cm	cm	mm	mm	kg	kg/m	ℳ/m	
	A. Breitfußschienen.											
1	Preuß. Staats-Eisenb. 6 b (10 Schwellen auf 9 m)	33,4	1036,6	250	26	16	927	667	29,7	179,7	17,78	0,89
2	Preuß. Staats-Eisenb. 6 d (15 Schwellen auf 12 m)	33,4	1036,6	270	26	16	850	530	27,53	205,5	19,90	1,00
3	Preuß. Staats-Eisenb. 6 d (16 Schwellen auf 12 m)	33,4	1036,6	270	26	16	785	530	27,53	214,4	20,59	1,03
4	Preuß. Staats-Eisenb. 8 a (15 Schwellen auf 12 m)	41,0	1352	270	26	16	850	560	37,22	223,2	22,25	1,12
5	Preuß. Staats-Eisenb. 8 a (16 Schwellen auf 12 m)	41,0	1352	270	26	16	785	560	37,22	232,2	22,95	1,15
6	Preuß. Staats-Eisenb. 10 a (13 Schwellen auf 12 m)	31,2	917,1	250	26	16	1000	530	23,55	165,0	15,90	0,80
7	Preuß. Staats-Eisenb. 10 a (14 Schwellen auf 12 m)	31,2	917,1	250	26	16	920	530	23,55	173,1	16,48	0,83
8	Reichs-Eisenbahnen in Elsaß-Lothringen 1893	37,8	1092	270	26	16	800	600	36,4	228,3	22,50	1,13
9	Bayerische Staatsb. 1892	34,87	1071,6	250	26	16	816	500	22,3	201,7	19,90	1,00
10	Sächsische Staatsb. 1890	45,7	1700	250	26	16	825	540	34,3	235,4	24,33	1,22
11	Österr. Staatsbahnen . . .	35,3	920	240	25	15	800	—	—	163,0	16,62	0,83
12	Kaiser Ferdin.-Nordbahn (ältere Anordnung) . . .	35,34	951,4	240	31/16	16	860	474	16,1	181,6	18,01	0,91
13	Kaiser Ferdin.-Nordbahn (neuere Anordnung) . .	35,34	951,4	270	26	16	780	474	25,8	215,3	20,64	1,04
14	Holländische Eisenb. 1891	47,0	1488	260	26	14	910	620	—	194,0	19,91	1,00
15	Belgische Staatsb. 1886 .	52,0	1707	260	28	14	800	600	43,0	217,4	22,85	1,15
16	Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn 1889	47,0	1585	275	20	15	850	540	40,0	204,2	21,26	1,07
17	Französische Ostb. 1889 .	44,2	1476	250	24	15	780	650	—	203,9	20,28	1,02
18	Französische Nordb. 1888	43,2	1466	250	25	15	869	700	25,6	191,5	19,16	0,96
	B. Stuhlschienen.											
19	Französische Westbahn .	44,0	1264	265	22,5	14	748	600	17,0	252,5	27,12	1,36
20	Badische Staatsbahn . . .	42,5	1357	270	25	15	800	—	19,7	274,4	29,86	1,50
21	Englische Midland-Bahn .	42,2	1245	272	25,4	12,7	914,5	—	21,0	242,1	27,13	1,36

Bauart und Kosten

einiger Oberbauanordnungen mit **Eisen**schwellen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nr.	Eisenbahnverwaltung und Oberbaubezeichnung	Schienen-		Schwellen-					Gewicht eines Laschenpaares	Gleisgewicht	Kosten der Gleisteile	Vergleich der Kosten mit dem preuß. Oberbau (Nr. 23 der Zusammenstellung)
		Gewicht	Trägheitsmoment	Abmessungen		Gewicht	Abstand					
				Länge	Breite		größter	am Stoße				
		kg/m	cm^4	cm	cm	kg	mm	mm	kg	kg/m	ℳ/m	
22	Preuß. Staats-Eisenb. 6b (10 Schwellen auf 9 m)	33,4	1036,6	250	23,2	54,2	927	667	29,7	139,6	18,68	0,94
23	Preuß. Staats-Eisenb. 6d (15 Schwellen auf 12 m)	33,4	1036,6	270	23,2	58,3	850	530	27,53	151,2	19,97	1,00
24	Preuß. Staats-Eisenb. 6d (16 Schwellen auf 12 m)	33,4	1036,6	270	23,2	58,3	785	530	27,53	156,5	20,66	1,04
25	Preuß. Staats-Eisenb. 8a (15 Schwellen auf 12 m)	41,0	1352	270	23,2	58,3	850	560	37,22	169,7	22,68	1,14
26	Preuß. Staats-Eisenb. 8a (16 Schwellen auf 12 m)	41,0	1352	270	23,2	58,3	785	560	37,22	175,1	23,38	1,17
27	Preuß. Staats-Eisenb. 10a (13 Schwellen auf 12 m)	31,2	917,1	250	23,2	54,2	1000	530	23,55	131,1	17,37	0,87
28	Preuß. Staats-Eisenb. 10a (14 Schwellen auf 12 m)	31,2	917,1	250	23,2	54,2	920	530	23,55	136,1	18,01	0,91
29	Reichs-Eisenbahnen in Elsaß-Lothringen 1893	37,8	1092	270	26,3	75	800	600	36,4	193,3	25,71	1,29
30	Bayerische Staatsb. 1892	34,87	1071,6	250	24,0	63	816	500	22,3	168,3	22,35	1,12
31	Badische Staatsb. 1891 .	36,2	1002	225	24,2	53,5	780	540	28,2	161,6	21,46	1,08
32	Badische Staatsb. 1893 .	44,0	1485	240	24,2	70,0	780	540	30,5	201,1	26,40	1,33
33	Österreich. Staatsbahnen .	35,3	920	240	26,0	71,5	800	—	—	177,8	23,52	1,18
34	Gotthardbahn 1894	46,0	1635	250	23,4	66	750	340	27,2	195,6	25,41	1,28

Hiernach sind die Kosten von Holzschwellengleisen bei annähernd gleichem Gleisgewichte um so höher, je größer der Gewichtsanteil der Schienen ist. Ferner macht sich auch die Art der Schienenbefestigung und Schienenverbindung — z. B. das Fehlen der Unterlagsplatten oder die Anwendung schwerer Schienenstühle — wesentlich geltend. (Dies erklärt die niedrigen Kosten einzelner Holzschwellengleise mit schweren Schienen, z. B. Nr. 14, 17 und 18; ferner die hohen Kosten des Stuhlschienenoberbaues.)

Der wirtschaftliche Wert eines Gleises darf allerdings nicht allein nach dessen Herstellungskosten beurteilt werden; vielmehr ist hierfür auch dessen Verhalten im Betriebe maßgebend. Ein theoretischer Wertmesser für den Widerstand und die Dauerleistung eines Gleises ergibt sich aus der rechnerischen Ermittlung der Tragfähigkeit und Steifigkeit; ein praktischer Maßstab für den wirtschaftlichen Wert eines Gleises aber ist die Höhe der Unterhaltungs- und Erneuerungskosten.

2. Die Höhe der Anschaffungspreise. Diese wird bestimmt durch die Erzeugungsbedingungen — Beschaffung der Rohstoffe, Stand der Hüttentechnik,

Lohn-, Zinsfuß- und Zollverhältnisse des betreffenden Landes — und durch die Beförderungsweite vom Erzeugungs- bis zum Verwendungsorte. Die Preise sind deshalb nach Ort und Zeit sehr wesentlich verschieden. Welchen Schwankungen sie unterliegen, zeigt das Bild in Abbildung 20, das als Beispiel die Höhe der Schienenpreise darstellt, welche in den letzten 26 Jahren von preußischen und österreichischen Eisenbahnen bezahlt wurden[180]).

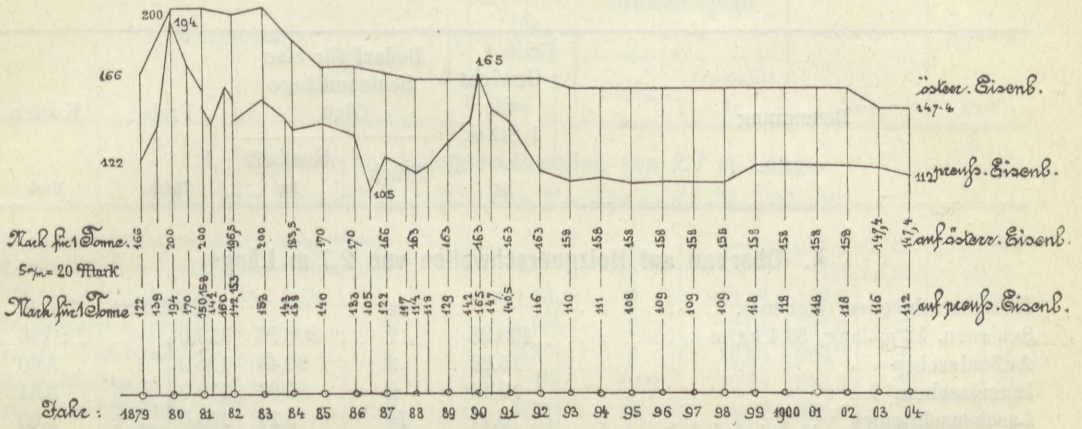


Abb. 20. Preise der Stahlschienen, die von preußischen und österreichischen Eisenbahnen in den Jahren 1879 bis 1904 bezahlt worden sind.

Demgemäß stellen sich auch die Kosten von Gleisen derselben Bauart nach Ort und Zeit sehr verschieden. Dies wird durch die nachstehenden Zusammenstellungen des Bedarfes und der Kosten der Holz- und Eisenteile einiger derzeit auf deutschen und österreichischen Hauptbahnen gebräuchlicher Oberbauanordnungen veranschaulicht.

---

180) Nach Koestlers Mitteilungen in der Österreichischen Eisenbahnzeitung 1904 hat die Kaiser Ferdinands-Nordbahn im Jahre 1839 für die ersten in Österreich erzeugten Eisenschienen 187 ℳ für die Tonne bezahlt. Bessemerstahlschienen kosteten im Jahre 1872 für die Tonne 353,6 ℳ, während sie gegenwärtig mit höchstens 150 ℳ bezahlt werden.

I. Bedarf an Gleisteilen und deren Kosten

für Oberbauanordnungen auf **preußischen** Hauptbahnen.

Oberbau mit Schienen von 33,4 kg/m.

Benennung	Gewicht für 1 Stück kg	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Stück	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Gewicht kg	Preis Mark		Kosten Mark
A. Oberbau auf Holzquerschwellen von 2,7 m Länge.						
Holzquerschwellen (eichene)	—	16	—	6,4 f. 1 St.		102,40
Schienen, 12 m lang, 33,4 kg/m	400,28	2	800,56	113,0	für 1 t frei Hüttenwerk	90,46
Außenlaschen	15,23	2	30,46	118,0		3,60
Innenlaschen	15,43	2	30,86	118,0		3,64
Laschenschrauben	0,77	12	9,24	183,0		1,69
Hakenplatten auf den Stoßschwellen und 2 Mittelschwellen	5,70	8	45,60	121,0		5,52
Unterlagsplatten für Mittelschwellen	4,10	24	98,40	111,0		10,92
Schwellenschrauben, 120 mm lang	0,385	96	36,96	183,0		6,76
Zusammen für 12 m Gleis	—	—	—	—		224,99*)
» 1 m »	—	—	—	—		18,75*)
B. Oberbau auf eisernen Querschwellen von 2,7 m Länge.						
Eiserne Querschwellen	58,30	16	932,80	105,0	für 1 t frei Hüttenwerk	97,94
Schienen, 12 m lang, 33,4 kg/m	400,28	2	800,56	113,0		90,46
Außenlaschen	15,23	2	30,46	118,0		3,60
Innenlaschen	15,43	2	30,86	118,0		3,64
Laschenschrauben	0,77	12	9,24	183,0		1,69
Hakenplatten	1,845	32	59,04	249,0		14,70
Klemmplatten	0,41	32	13,12	195,0		2,56
Hakenschrauben	0,37	32	11,84	199,0		2,36
Zusammen für 12 m Gleis	—	—	—	—		216,95**)
» 1 m »	—	—	—	—		18,08**)

*) Bei Anbringung von einer Stemmlasche an jeder Schiene betragen die Kosten für 12 m Gleis 228,51 Mark, also für 1 m 19,04 Mark.

**) Bei Anbringung von einer Stemmlasche an jeder Schiene betragen die Kosten für 12 m Gleis 220,47 Mark, also für 1 m 18,37 Mark.

II. Bedarf an Gleisteilen und deren Kosten

für Oberbauanordnungen auf **österreichischen** Hauptbahnen.

Oberbau mit Schienen von 35,4 kg/m.

Benennung	Gewicht für 1 Stück kg	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Stück	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Gewicht kg	Preis Mark	Kosten Mark
A. Oberbau auf Holzquerschwellen von 2,7 m Länge. (Neuere Bauart der Kaiser Ferdinands-Nordbahn.)					
Stoßschwellen (getr. Eichenschwellen)	—	1	—	7,63 f. 1 St.	7,63
Mittelschwellen (getr. Eichenschwellen)	—	15	—	4,63 f. 1 St.	69,45
Schienen, 12,5 m lang, 35,4 kg/m	441,74	2	883,48	158,8	140,30
Außenlaschen, gerade	6,02	2	12,04	197,0	2,37
Innere Winkellaschen	8,30	2	16,60	220,7	3,66
Stemmlaschen	1,70	12*)	20,40	212,2	4,33
Laschenschrauben	0,57	8	4,56	373,6	1,70
Schienenschrauben für die Stemmlaschen	0,54	12*)	6,48	373,6	2,42
				für 1 t frei Hüttenwerk	
Groversche Stellringe	0,017	20	0,34	24,2 f. 1000 St.	0,48
Keilplatten	3,53	30	105,90	199,5	21,13
Stoßplatten	4,623	2	9,25	199,5	1,84
Hakennägel	0,324	64	20,74	284,1	5,89
Schwellenschrauben	0,406	34	13,80	457,9	6,32
				für 1 t frei Hüttenwerk	
Zusammen für 12,5 m Gleis	—	—	—	—	267,52
» 1 m »	—	—	—	—	21,40
B. Oberbau auf eisernen Querschwellen von 2,4 m Länge**).** (Bauart Heindl, ausgeführt auf der k. k. österreichischen Staatsbahn.)					
Querschwellen aus Flußeisen	71,50	16	1144,00	155,5	177,89
Schienen, 12,5 m lang, 35,4 kg/m	442,50	2	885,00	158,0	139,83
Außenlaschen	9,50	2	19,00	200,0	3,80
Innenlaschen	11,70	2	23,40	200,0	4,68
Laschenschrauben	0,568	8	4,54	331,5	1,51
Unterlagskeile	1,50	32	48,00	200,0	9,60
Beilagen Nr. 1	0,30	32	9,60	408,0	3,92
Beilagen Nr. 4	0,41	32	13,12	408,0	5,35
Äußere Klemmplatten	0,30	32	9,60	399,5	3,84
Innere Klemmplatten	0,27	32	8,64	399,5	3,45
Fußschrauben	0,504	64	32,26	331,5	10,69
				für 1 t frei Hüttenwerk	
Stellringe	0,025	72	1,80	30,5 f. 1000 St.	2,20
Zusammen für 12,5 m Gleis	—	—	—	—	366,76
» 1 m »	—	—	—	—	29,34

*) Die Zahl der Stemmlaschen wird fallweise bestimmt.

**) Diese Angaben beziehen sich auf Ausführungen vor dem Jahre 1897. Seither ist diese Bauart auf den österreichischen Eisenbahnen nicht mehr ausgeführt worden.

III. Bedarf an Gleisteilen und deren Kosten

für Oberbauanordnungen auf **preußischen** Hauptbahnen.

Oberbau mit Schienen von 41 kg/m.

Benennung	Gewicht für 1 Stück kg	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Stück	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Gewicht kg	Preis Mark		Kosten Mark
A. Oberbau auf Holzquerschwellen von 2,7 m Länge*).						
Holzquerschwellen (eichene)	—	17	—	6,4 f. 1 St.		118,80
Schienen, 12 m lang, 41 kg/m	491.32	2	982,64	112,8	für 1 t frei Hüttenwerk	110,84
Außenlaschen	20,68	2	41,36	115,0		4,76
Innenlaschen	20,92	2	41,84	115,0		4,81
Stemmlaschen	13,28	2	26,56	113,0		3,00
Laschenschrauben	0,80	12	9,60	181,0		1,74
Stemmlaschenschrauben	0,695	4	2,78	186,0		0,52
Hakenplatten auf den Stoßschwellen und 2 Mittelschwellen	5,70	8	45,60	121,0		5,52
Unterlagsplatten für Mittelschwellen	4,52	26	117,52	108,0		12,69
Schwellenschrauben, 120 mm lang	0,394	102	40,19	183,0		7,35
Zusammen für 12 m Gleis	—	—	—	—		270,03
» 1 m »	—	—	—	—		22,50
B. Oberbau auf eisernen Querschwellen von 2,7 m Länge).**						
Eiserne Querschwellen	58,30	17	991,10	105,0	für 1 t frei Hüttenwerk	104,07
Schienen, 12 m lang, 41 kg/m	491,32	2	982,64	112,8		110,84
Außenlaschen	20,68	2	41,36	115,0		4,76
Innenlaschen	20,92	2	41,94	115,0		4,82
Stemmlaschen	13,28	2	26,56	113,0		3,00
Laschenschrauben	0,80	12	9,60	181,0		1,74
Stemmlaschenschrauben	0,695	4	2,78	186,0		0,52
Hakenplatten	1,975	34	67,15	249,0		16,72
Klemmplatten	0,68	34	23,12	183,0		4,23
Hakenschrauben	0,64	34	21,76	192,0		4,18
Zusammen für 12 m Gleis	—	—	—	—		254,88
» 1 m »	—	—	—	—		21.24

*) Für den Blattstoßoberbau mit Schienen von 15,22 m Gesamtlänge bei 15 m Baulänge und 43,43 kg/m auf Holzquerschwellen wie vor stellen sich die Kosten für 15 m Gleis auf 342,55 Mark, also für 1 m auf 22,84 Mark.

**) Für den Blattstoßoberbau mit Schienen von 15,22 m Gesamtlänge bei 15 m Baulänge und 43,43 kg/m auf eisernen Querschwellen wie vor stellen sich die Kosten für 15 m Gleis auf 336,74 Mark, also für 1 m auf 22,45 Mark.

IV. Bedarf an Gleisteilen und deren Kosten

für Oberbauanordnungen auf **österreichischen** Hauptbahnen.

Oberbau mit Schienen von 44,15 kg/m.

Benennung	Gewicht für 1 Stück kg	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Stück	Bedarf für eine Schienenlänge Gleis: Gewicht kg	Preis Mark		Kosten Mark
Oberbau auf Holzquerschwellen von 2,5 m Länge*) (ausgeführt auf den österreichischen Staatseisenbahnen).						
Holzquerschwellen (getr. Lärchenschwellen)	—	16	—	3,40 f. 1 St.		54,60
Schienen, 12,5 m lang, 44,15 kg/m	551,88	2	1103,76	147,36	für 1 t frei Hüttenwerk	162,65
Laschen	17,88	4	71,52	221,00		15,81
Laschenschrauben, d = 24 mm	0,92	12	11,04	348,50		3,85
Stemmwinkel	5,26	4	21,04	301,75		6,35
Beilagen für die Stemmwinkelschrauben	0,40	4	1,60	637,50		1,02
Stemmwinkelschrauben, d = 24 mm	0,86	4	3,44	425,00		1,46
Hakenplatten auf den Stoßschwellen und 4 Mittelschwellen	4,72	12	56,64	221,00		12,52
Klemmplättchen	0,58	12	6,96	884,00		6,15
Schwellenschrauben für die Klemmplättchen	0,49	12	5,88	416,50		2,45
Mittelplatten	3,22	20	64,40	195,50		12,95
Schwellenschrauben für die Haken- und Mittelplatten	0,39	84	32,76	433,50		14,20
Zusammen für 12,5 m Gleis	—	—	—	—		293,45
» 1 m »	—	—	—	—		23,48

Für denselben Oberbau, jedoch mit getr. Eichenschwellen von 2,7 m Länge (das Stück zu 4,63 Mark), stellen sich die Kosten für 12,5 m Gleis, bezw. 1 m Gleis auf 313,13 Mark, bezw. 25,05 Mark.

Die in Rechnung gestellten Einheitspreise sind tatsächliche Lieferungspreise aus dem Jahre 1903 und dem Anfang des Jahres 1904. Man sieht, daß zu dieser Zeit die Beschaffungskosten für 1 m Gleis sich bei statisch nahezu gleichwertigen Oberbauanordnungen in Preußen um etwa 10 v. H. billiger stellten, als in Österreich. Die höheren Eisenpreise in Österreich fallen insbesondere bei Bewertung des ganz eisernen Oberbaues ins Gewicht und machen die geringe Anwendung dieser Bauart daselbst erklärlich.

*) Für den gleichfalls auf den österreichischen Staatsbahnen ausgeführten Oberbau mit Schienen und Schwellen wie vor, jedoch mit Stuhlplattenbefestigung stellen sich die Kosten für 12,5 m Gleis auf 290,63 Mark, also für 1 m auf 23,25 Mark und bei Anwendung von getränkten Eichenschwellen von 2,7 m Länge (das Stück zu 4,63 Mark) auf 310,31 Mark und 24,82 Mark.

Die durchschnittlichen Kosten des Tränkens einer Schwelle stellen sich nach den der Technikerversammlung vom Jahre 1903 von 25 Bahnverwaltungen erstatteten Berichten wie folgt[181]):

Schwellen	Die Schwellen sind getränkt mit				
	Teeröl	Zinkchlorid	Zinkchlorid mit Teeröl	Quecksilbersublimat	Kupfervitriol
	Kosten für eine Schwelle in Mark				
a) aus Eichen- und Lärchenholz	1,10	0,50	0,84	—	—
b) aus Buchenholz	2,40	0,52	0,71	—	—
c) aus Kiefern- und Föhrenholz	2,33	0,47	0,80	0,55	0,45

Die Kosten des Verladens und Beförderns der Oberbauteile betragen etwa 3 bis 5 v. H. der Anschaffungskosten.

Hierzu kommen nun noch die Kosten der Bettung. Der Bedarf ist vom Bettungsquerschnitt abhängig und schwankt für eingleisige Hauptbahnen mit Querschwellenoberbau zwischen 1,5 bis 2,5 cbm, für zweigleisige Bahnen zwischen 3,0 bis 4,0 cbm für 1 m Gleis. Die Kosten der Bettung hängen von der Art und dem Orte der Beschaffung ab. Es sind insbesondere die Stärke des Abraumes, Mächtigkeit des Lagers, Reinheit des Stoffes, Aushub im Trocknen oder Nassen, Härte des Gesteins, Art der Zerkleinerung, endlich Art und Länge der Beförderung für die Höhe der Beschaffungskosten maßgebend. Die Kosten von 1 cbm Bettung einschließlich Zufuhr und Einbringen in die Bahn schwanken tatsächlich zwischen 2 bis 9 ℳ, somit für 1 m eingleisiger Bahn zwischen 3 bis 20 ℳ[182]). Angaben über die Kosten der einzelnen Bettungsarbeiten folgen später.

3. Die Höhe der Arbeitslöhne, die Art — Tagelohn oder Verding — und Jahreszeit der Arbeitsdurchführung und der Grad der Schulung der Arbeiter. Die hierbei auftretenden großen Verschiedenheiten kommen in den weiten Grenzen zum Ausdrucke, in welchen sich die Angaben über die Kosten des Verlegens und der Unterhaltung des Oberbaues bewegen. Dies ist auch bei den folgenden Angaben über die durchschnittlichen Kosten der bei der Herstellung und Unterhaltung des Oberbaues vorkommenden Arbeiten zu beachten[183]).

---

[181]) Siehe Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XIII. Ergänz.-Bd. 1903.

[182]) Angaben hierüber finden sich in: Pollitzer, Die Bahnerhaltung, Brünn 1874; Pascher, Akkord oder Regie, Prag 1882; G. Osthoff, Kostenberechnung für Bauingenieure, Leipzig 1896. Über Kosten von Bettungsstoff bei Herstellung mittels Steinbrechmaschinen siehe die Mitteilungen im § 2 dieses Kapitels.

[183]) Diese Angaben gründen sich insbesondere auf die Mitteilungen in den vorher genannten Werken und auf die bei der österreichischen Kaiser Ferdinands-Nordbahn gesammelten Erfahrungen, sowie auf die Angaben von Burkhardt im Kalender für Eisenbahntechniker für 1897.

Kosten

der bei der Herstellung und Unterhaltung des Oberbaues vorkommenden Arbeiten.

T = Tagelohn eines gewöhnlichen Oberbauarbeiters oder Handarbeiters bei zehnstündiger Arbeitszeit.

Nr.	Arbeitsleistung	Erfordernis an Tagelohn	Bemerkungen
1	Kies erzeugen und laden, für das Kubikmeter . . .	0,1 bis 0,2 T	Hierzu: Grundzins für das Kubikmeter etwa 0,5 ℳ, für Werkzeuge, Aufsicht und Gewinn etwa 15 v. H.
2	Steinschlag (Schlägelschotter) erzeugen, je nach Härte des Gesteines, für das Kubikmeter	0,8 bis 1,8 T	
3	Kies aufladen auf Eisenbahnwagen, je nach Beschaffenheit des Kieses, für das Kubikmeter . .	0,1 bis 0,2 T	Für Steinschlag 10 v. H. mehr.
4	Kies abladen von Eisenbahnwagen, für das Kubikmeter	0,05 bis 0,1 T	
5	Kies einebnen im Gleise, für das Kubikmeter . . .	0,08 bis 0,12 T	
6	Kies mit Bahnwagen befördern, einschließlich Auf- und Abladen		
	a) bis 500 m Entfernung für das Kubikmeter . .	0,42 T	
	b) bis 1000 m Entfernung für das Kubikmeter . .	0,54 T	
	c) bis 2000 m Entfernung für das Kubikmeter . .	0,78 T	
	d) bis 3000 m Entfernung für das Kubikmeter . .	1,03 T	
7	Schwellen abwerfen für das Stück	0,005 bis 0,01 T	Lagerplatz am Gleise.
8	» aufladen für das Stück	0,01 bis 0,02 T	
9	» schichten für das Stück	0,01 T	
10	Schienen aufladen für 100 kg	0,015 bis 0,026 T	
11	» abladen für 100 kg	0,011 bis 0,018 T	
12	Schwellen oder Schienen auf Eisenbahnwagen aufladen, für eine volle Wagenladung	1,5 T	
13	Schwellen oder Schienen abladen, für eine volle Wagenladung	1,1 T	
14	Kleineisenzeug abladen für 100 kg	0,015 T	
15	Legen von Querschwellenoberbau in gerader Linie, samt Vor- und Nacharbeiten, und zwar: für das Meter Gleis		Hierbei ist angenommen, daß, wenn T der Tagelohn eines gewöhnlichen Arbeiters ist, der Lohn von 1 Vorarbeiter = 1,4 bis 1,9 T, 1 Zimmermann = 1,9 bis 2,0 T, 1 Visierer = 2,1 bis 2,5 T.
	a) Anarbeiten der Holzschwellen	0,05 bis 0,06 T	
	b) Verteilen von den Lagerplätzen bis an den Verlegungsort	0,09 bis 0,13 T	
	c) Zusammenfügen des Oberbaues	0,32 T	
	d) Heben und Richten des Gleises nach Höhe und Linie	0,33 bis 0,51 T	
	Vollständige Herstellung des Gleises für das Meter	0,8 bis 1,0 T	
	e) für Unterhaltung der Bahn durch 1 Monat nach Herstellung 50 v. H. von Satz d	0,16 bis 0,25 T	
	f) Zuschlag für Gleise in Krümmungen etwa 10 v. H.		
16	Heben von Gleisen		Ausräumen der Bettung, Unterstopfen und Heben des Gleises, Einebnen der ausgehobenen Bettung.
	a) bei Setzungen bis 30 cm für das Meter Gleis .	0,08 bis 0,1 T	
	b) » » über 30 bis 100 cm für das Meter Gleis	0,1 bis 0,12 T	

Nr.	Arbeitsleistung	Erfordernis an Tagelohn	Bemerkungen
17	Auswechseln von Schwellen samt Zu- und Abfuhr a) auf 3000 m Entfernung, Auf- und Abladen, für das Stück	0,20 T	
	b) desgl. von einzelnen Schwellen, für das Stück	0,23 T	
18	Unterstopfen einzelner loser Schwellen	0,10 T	
19	Auswechseln von Schienen im Zusammenhange samt Auf- und Abladen und Befördern mit Bahnwagen auf 3000 m Entfernung, Schwellen neu verteilen, Wiedereinbringung der Bettung, jedoch ohne Auswechslung der Schwellen	0,5 T	
20	Auswechseln von Schienen wie vorher, jedoch mit Reinigung des Bettungsstoffes bis zur Schwellensohle, für das Meter	0,6 T	
21	Auswechseln vereinzelter Schienen samt Beförderung auf 3000 m Entfernung, für das Stück	0,4 bis 0,6 T	
22	Abhauen von Stahlschienen, für den Hieb	0,16 bis 0,2 T	
23	Bohren von Schienen, für das Loch	0,08 bis 0,15 T	
24	Wenden von Schienen, für das Stück je nach Länge	0,2 bis 0,4 T	
25	Umnageln eines Schienenstranges bei a) Spurerweiterungen ohne Nachdexeln der Schwellen, für das Meter	0,3 T	
	b) Spurerweiterungen mit Nachdexeln der Schwellen, für das Meter	0,5 T	
26	Regeln gewanderter Schienenstöße, und zwar: Aus- und Einbringen der Bettung, Zurücktreiben der Schienen und Schwellen, für das Meter	0,03 bis 0,05 T	
27	Auswechseln gebrochener Unterlagsplatten, für das Stück	0,03 bis 0,05 T	
28	Abtragen alter Gleise, für das Meter	0,2 T	

b. Die Herstellungskosten des Querschwellenoberbaues für Hauptbahnen können hiernach auf den deutschen und österreichischen Eisenbahnen für 1 m Gleis zurzeit etwa wie in nebenstehender Zusammenstellung (s. S. 403) beziffert werden.

Diese Ziffern sollen nur ungefähr ein Bild der derzeitigen Anlagekosten geben und können sich, da sie wesentlich durch die Kosten der Bettung beeinflußt werden, je nach Ort und Zeit erheblich anders gestalten.

c. Herstellungskosten des eisernen Langschwellenoberbaues. Die Beschaffungskosten der Eisenteile des Langschwellenoberbaues stellen sich, bei 115 bis 145 kg/m Gesamtgewicht, in Deutschland auf etwa 16 bis 20 ℳ/m, in Österreich für die Bauart Hohenegger — Gesamtgewicht 123 kg/m — auf etwa 25 ℳ/m ohne Bettung[184]).

[184]) Siehe Rybarž, Erfahrungen über eisernen Langschwellenoberbau usw., Zeitschr. des Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895; Osthoff, Kostenberechnungen für Bauingenieure, Leipzig 1896. Kostenangaben über eisernen Langschwellenoberbau älterer Bauarten siehe auch in Ržiha, Eisenbahn-Unter- u. Oberbau, Bd. III, Wien 1877, und in Hilf, Der eiserne Oberbau System Hilf, Wiesbaden 1876.

Nr.	Benennung	Deutschland				Österreich		
		Schienen, 33,4 kg/m		Schienen, 41 kg/m		Schienen, 35,4 kg/m		Schienen, 44,15 kg/m
		Holzschwellen (Eiche)	Eisenschwellen	Holzschwellen (Eiche)	Eisenschwellen	Holzschwellen (Eiche getränkt)	Eisenschwellen	Holzschwellen (Eiche getränkt)
		Mark						
1	Anschaffungskosten für das Gestänge	19	18	22,5	21,5	21,5	29,5	25
2	Verladen u. Befördern d. Gestängeteile etwa	1	1	1	1	1	1	1
3	Bettung, Anschaffen, Verteilen u. Einbringen in das Gleis etwa	6	6	6	6	6	6	6
4	Verlegen d. Oberbaues, einschl. Unterhalten während der Bauzeit	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Anlagekosten für 1 m Gleis	27,5	26,5	31	30	30	38	33,5

d. Herstellungskosten des Schwellenschienenoberbaues. Der Anschaffungspreis ist nach Haarmanns Mitteilungen etwa 21 bis 24 ℳ/m. Die Kosten des Verlegens sind etwa 0,8 ℳ[185]).

e. Herstellungskosten des Oberbaues vollspuriger Lokaleisenbahnen mit eigenem Bahnkörper. Der auf den Oberbau entfallende Anteil der gesamten Anlagekosten beziffert sich bei Lokaleisenbahnen wesentlich höher als bei Haupteisenbahnen und erreicht 35 bis 50 v. H. derselben, weshalb bei diesen Bahnen die richtige Wahl der Gleisbauart von besonderer wirtschaftlicher Tragweite ist. Da mit abnehmendem Gestängegewicht und mit abnehmendem Bettungsquerschnitt die Oberbaukosten wesentlich sinken, ist man in dem Bestreben nach möglichster Ersparnis in der Abminderung der Maße vielfach zu weit gegangen; denn gerade bei Lokaleisenbahnen wird bei der Wahl der Betriebsmittel, insbesondere der Lokomotiven, auf die Erzielung größter Leistungsfähigkeit durch hohes Reibungsgewicht der Lokomotiven Wert gelegt. Es treten dadurch Beanspruchungen des Gleises auf, denen gegenüber sich eine allzu sparsam bemessene Bauart im Betriebe bald als unzulässig erweist, wie dies die hohen Unterhaltungskosten bei vielen Lokaleisenbahnen dartun. Es sollte deshalb insbesondere bei Bemessung des Bettungsquerschnittes und der Schwellenmaße von den für Hauptbahnen als richtig erkannten Grundsätzen auch hier nicht abgegangen werden[186]). Bei Verwendung von Schienen mit 26 kg/m und getränkten Kiefernschwellen stellen sich die Kosten von Querschwellenoberbau üblicher Bauart, einschließlich Bettung und Legen, zurzeit auf etwa 15 bis 17 ℳ/m; für eisernen Langschwellenoberbau bei 21 kg/m Schwellengewicht

185) Siehe Haarmann, Die Eisenbahnoberbaufrage in ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung, Glasers Annalen 1893.

186) Siehe Ast, Note sur le mémoire de M. B. Puig, relative à la capacité de service et de résistance de la voie étroite et principalement de la voie de 75 centimètres, Bulletin de la Comm. intern. du Congrès des chemins de fer 1896.

und 20 kg/m Schienengewicht auf etwa 19 bis 20 ℳ/m; eiserner Querschwellenoberbau etwa 5 v. H. billiger[187]).

§ 14. Kosten der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues. — a. Die Unterhaltungs- und Erneuerungskosten im allgemeinen. Auf diese sind die nachstehenden Punkte von Einfluß:

1. die Anlageverhältnisse der Bahn (Neigung und Krümmung);
2. die Bauart, die Stoffe und das Alter der Gleise, die Beschaffenheit der Bettung und des Untergrundes;
3. die Höhe der Preise und Arbeitslöhne und die Schulung der Arbeiter;
4. die Art, zeitgemäße Durchführung und Überwachung der Unterhaltungsarbeiten sowie die Wahrnehmung des richtigen Zeitpunktes für den Umbau der Gleise;
5. die Witterung;
6. die Größe und Art des Verkehrs (Zahl, Fahrgeschwindigkeit und Belastung der Züge, Bauart und Radbelastungen der Fahrzeuge usw.).

Die Angaben über diese Kosten bewegen sich demgemäß in sehr weiten Grenzen, so daß auch ein unmittelbarer Vergleich derselben meist nicht statthaft ist. Aus den statistischen Mitteilungen der Eisenbahnen, wie sie zurzeit vom V. d. E. V., vom Reichseisenbahnamte in Berlin, von den österreichisch-ungarischen Eisenbahnen und in der internationalen Eisenbahnstatistik alljährlich veröffentlicht werden, läßt sich der Einfluß, den die vorgenannten Umstände auf die Höhe der Unterhaltungs- und Erneuerungskosten tatsächlich ausüben, im einzelnen nicht beziffern, weil in diesen Mitteilungen, welche sich auf Bahnen von sehr verschiedenartigen Bau- und Betriebsverhältnissen beziehen, eine Trennung der Kostenangaben nach den einzelnen, die Höhe der Kosten beeinflussenden Ursachen nicht durchgeführt ist. Gleichwohl ist mehrfach versucht worden, aus diesen statistischen Aufzeichnungen allgemeinere Schlußfolgerungen zu ziehen.

So versuchte Tellkampf[188]) aus der Vereinsstatistik zu ermitteln, nach welchem Verhältnis die Unterhaltungskosten des Oberbaues teils von der Gleislänge, teils von der Stärke des Verkehrs abhängig sind. Die letztere ist dabei in der Zahl der auf der Bahn gefahrenen Wagenachskilometer ausgedrückt. Er fand, daß für die preußischen Staatsbahnen in den Jahren 1878 bis 1880 im Durchschnitte 1 Million Wagenachskilometer ebensoviel an Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues, wie 4,5 km der sämtlichen Gleise kostet. Die Unterhaltungsarbeiten wachsen indes nicht in geradem Verhältnis mit der Anzahl der verkehrenden Achsen, da die Stoßwirkungen der Achsen mit dem Quadrat der Zuggeschwindigkeit zunehmen. Mit wachsender Dichte des Zugverkehres wird zugleich die Durchführung der Unterhaltungs- und Erneuerungsarbeiten kostspieliger und schwieriger.

R. Koch entwickelte seinerzeit im Handbuch der Ingenieurwissenschaften eine Formel für die Kosten der Bahnunterhaltung, bzw. über die Abhängigkeit dieser Kosten von der Zuggeschwindig-

---

187) Siehe Röll, Encyklopädie (Lokalbahnen), Wien 1893; Haarmann, Die Kleinbahnen, Berlin 1895; ferner die bezüglichen Zeitschriften, insbesondere Zeitschrift für Kleinbahnen, Berlin; Deutsche Straßen- und Kleinbahnzeitung, Berlin; Mitteilungen des Vereins für Förderung der Lokal- und Straßenbahnen, Wien, u. a.

188) Tellkampf, Untersuchungen über die Kosten der Unterhaltung des Oberbaues auf deutschen Bahnen nach der Vereinsstatistik von 1878 bis 1880, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1882. Den Einfluß des Verkehrs auf die Unterhaltungskosten hat übrigens bereits Barlow im Jahre 1851 durch Erhebungen bei englischen Bahnen nachzuweisen versucht (siehe W. H. Barlow, Min. of Proceed. Instit. of Civil Engineers, Bd. IX, London 1850).

keit, welche später L. Brennecke benutzte, um auf Grund der statistischen Mitteilungen von der Apenninen- und Giovi-Bahn die jährlichen Unterhaltungskosten des Oberbaues in Mark für das Kilometer durch die Formel

$$G = 220 + A\,[0{,}000\,006\,(P + 2\,Q)\,(1 + \nu) + 0{,}039\,Z]$$

auszudrücken, in welcher P, Q und Z in Tonnen zu nehmen sind und P das Gewicht des Zuges, Q dasjenige der Maschine, Z die Zugkraft der Maschine, A die Anzahl der Züge im Jahre und ν die Fahrgeschwindigkeit in Kilometer/Stunden bedeuten[189]).

Sigle[190]) sucht durch Vergleich der Tagewerke, die innerhalb der preußischen Staatseisenbahnen während der Jahre 1886 bis 1893 aufgewendet sind, eine Formel zur Bestimmung der Arbeitsschichten, die innerhalb eines Jahres zur Unterhaltung der Hauptgleise erforderlich sind, zu gewinnen. Bedeutet A die Anzahl der Arbeitsschichten, α eine feste Zahl gleich der Summe der Einflüsse der Witterung, des Zustandes des Oberbaues und der Neigungs- und Krümmungsverhältnisse, β eine feste Zahl gleich dem Einfluß des Verkehrs und ν die Anzahl von je 1000 gefahrenen Wagenachsen, oder $\nu = \nu_{,} + \nu_{,,} + \nu_{,,,}$, wo $\nu_{,}$, $\nu_{,,}$ und $\nu_{,,,}$ die Anzahl der täglich gefahrenen Güter-, Personen- und Schnellzüge sind, durch welch letztere Annahme dem Einfluß der Zuggeschwindigkeit Rechnung getragen werden soll, so kann $A = \alpha + \beta\,\nu$ gesetzt werden. Der Festwert α wäre besonders zu bestimmen für Bahnen in der Ebene, im Hügelland und im Gebirge, der Festwert β für neuen Oberbau, für solchen, der etwa die Hälfte seiner Dauer erreicht hat, und für solchen, der sich dem Ende seiner Dauer nähert.

Nach Schubert[191]) kann bei festem, unveränderlichem Bahnkörper, Steinschlagbettung mittlerer Güte und gutem, 8 bis 12 Jahre altem Oberbau die für 1 km und Jahr erforderliche Anzahl von Tagewerken nach der Formel $T = a + 30\sqrt{n}$ ermittelt werden, in der n die Anzahl der täglich über das Gleis fahrenden Züge bedeutet und angenommen ist, daß während der drei Wintermonate am Gleise wenig oder gar nicht gearbeitet zu werden braucht. Die Zahl a entspricht dem Anteil, der von der Beschaffenheit des Bahnkörpers und der Bettung abhängig ist. Bei regelmäßigen Verhältnissen ist $a = 50$ anzunehmen.

Linke[192]) leitete aus den statistischen Ergebnissen Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre Formeln für die Mengen und Kosten der Erhaltung und Erneuerung des Oberbaues ab, welche sich als Mittelwerte für längere Betriebszeiträume darstellen und bei sinngemäßer Änderung der Festwerte auch zur Aufstellung durchschnittlicher Jahresvoranschläge dienen sollen.

Bei der Mannigfaltigkeit der die Kosten der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues beeinflussenden Umstände kann allen derartigen Formeln nur eine eingeschränkte Brauchbarkeit zukommen und wird eine zuverlässige Aufstellung von Voranschlägen nur auf Grund von eingehenden Aufzeichnungen der bei gleichartigen Verhältnissen auf der eigenen Bahn gewonnenen Erfahrungen möglich sein. Wir verweisen deshalb nochmals auf die bereits mehrfach hervorgehobene Notwendigkeit solcher Aufzeichnungen.

b. Tatsächliche Ausgaben. — Zur Gewinnung eines allgemeinen Bildes der tatsächlichen Ausgaben für Oberbau-Unterhaltung und Erneuerung können die nachfolgenden Angaben dienen.

1. Bei den Bahnen des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen betragen die Gesamtkosten des Bahnerhaltungsdienstes etwa 26 v. H. der gesamten Betriebsausgaben und entfallen auf die Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues durchschnittlich etwa 45 v. H. der Gesamtausgaben für Bahnaufsicht und Bahnunterhaltung. Im zehnjährigen Durchschnitte (1885 bis 1894) ergaben sich die Ausgaben für die Oberbau-Unterhaltung und Erneuerung (einschließlich der Beschaffung von Schienen, Schwellen und Kleineisenzeug) im Jahre zu etwa 1650 ℳ für das Kilometer Bahnbetriebslänge und zu etwa 0,63 ₰ für jedes Wagenachskilometer. Im letzten

189) Siehe Brennecke, Über die Kosten der Unterhaltung des Eisenbahnoberbaues in ihren Beziehungen zu den Verkehrsmassen, Fahrgeschwindigkeiten und Steigungen, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883.

190) H. Sigle, Die Kosten der Gleisunterhaltung, Archiv f. Eisenbahnwesen 1894.

191) Schubert, Die Eisenbahntechnik der Gegenwart, III. Bd. 1901.

192) Linke, Mittlere Betriebskosten von Eisenbahnen, Österr. Eisenb.-Zeitung 1896.

zehnjährigen Durchschnitte 1893 bis 1902 sind diese Ausgaben für das Kilometer Betriebslänge auf etwa 1900 ℳ gestiegen, stellen sich jedoch für jedes Wagenachskilometer gleichfalls auf 0,63 ₰. Im einzelnen beziffern sich die Ausgaben der Vereinsbahnen für Bahnaufsicht und Bahnunterhaltung und für Oberbau-Unterhaltung und Erneuerung in den Jahren 1893 bis 1902 wie folgt:

Betriebsjahr	Betriebskilometer (im Jahresdurchschnitt)	Wagenachskilometer	Gesamtausgaben für Bahnaufsicht und Erhaltung	Ausgaben für Oberbauunterhaltung und Erneuerung	Von den Gesamtausgaben entfallen				
					im ganzen		für Oberbauunterhaltung und Erneuerung allein		
					auf jedes Kilometer Betriebslänge	auf jedes Wagenachskilometer	auf 1 km Betriebslänge	auf 1 Wagenachskilometer	v. H.
		Millionen	Mark	Mark	Mark	Pfennige	Mark	Pfennige	
1893	76 948	21 381	294 318 400	134 674 993	3873	1,38	1782	0,63	46,0
1894	78 177	21 899	285 378 659	125 713 324	3682	1,30	1631	0,58	44,3
1895	79 713	22 756	301 529 491	134 345 647	3817	1,33	1685	0,59	44,6
1896	81 924	24 139	306 679 283	136 711 319	3783	1,27	1669	0,57	44,6
1897	84 286	25 223	331 399 792	149 946 966	3985	1,32	1779	0,59	45,3
1898*)	86 469	26 662	376 024 497	171 127 108	4349	1,41	1979	0,64	45,5
1899	89 150	27 855	393 400 971	180 011 659	4413	1,41	2019	0,65	45,7
1900	91 084	29 044	421 711 714	195 177 172	4630	1,45	2143	0,67	46,3
1901	92 679	29 030	430 550 742	201 533 428	4646	1,48	2174	0,69	46,8
1902	93 936	29 774	426 555 311	202 013 196	4541	1,43	2150	0,68	47,4

2. Auf den deutschen Staatseisenbahnen schwankten, nach den Mitteilungen des Reichseisenbahnamtes, die Kosten für die Unterhaltung der durchgehenden Gleise — mit Ausschluß der Beschaffungskosten für Schienen, Schwellen und Kleineisenzeug, sowie der Weichen und Zubehör — für 1 km Gleislänge

in den Jahren 1880 bis 1890 zwischen 112 und 622 ℳ
» » » 1891 » 1898 » 270 » 743 ℳ.

Die Ausgaben der deutschen Staatseisenbahnen für die Unterhaltung und Erneuerung der sämtlichen Gleise schwankten, nach der Statistik d. V. d. E. V. in den Jahren 1898 bis 1902 — mit Ausschluß der Kosten der Oberbaubestandteile —, zwischen 237 und 672 ℳ und einschließlich aller Oberbaubestandteile zwischen 518 und 2223 ℳ.

Die Zusammenstellungen auf Seite 407 weisen diese Kosten für die letzten fünf Jahre im einzelnen nach, und zwar sowohl für die deutschen Staatseisenbahnen, wie für die sämtlichen Eisenbahnen Deutschlands.

Der durchschnittliche Aufwand für die Unterhaltung der durchgehenden Gleise, ausschließlich des Umbaues zusammenhängender Strecken, kann nach Sigle auf Grund der deutschen Eisenbahnstatistik (1886 bis 1893) für die preußischen Staatseisenbahnen auf etwa 200 bis 257 Tagewerke beziffert werden.

*) Vom Jahre 1898 an ist der Wert des Rückgewinnes bei den deutschen Eisenbahnen nicht mehr in Abzug gebracht.

Ausgaben der deutschen Staatseisenbahnen
für die Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues der sämtlichen Gleise.

Benennung der Bahnen	Arbeitslohn und sonstige Ausgaben ausschließlich Material für 1 Jahr und 1 km Bahngleis					Ausgaben für Material und Lohn für 1 Jahr und 1 km Bahngleis				
	1898	1899	1900	1901	1902	1898	1899	1900	1901	1902
	Mark									
Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen	672	574	539	579	545	1767	1517	1357	1359	1300
Preußische Staatseisenbahnen und auf Rechnung des preuß. Staates verwaltete Privateisenbahnen	573	591	602	601	580	1461	1584	1680	1685	1731
Bayerische Staatseisenbahnen	307	329	378	407	394	930	1044	1385	1607	1547
Sächsische Staatseisenbahnen	645	634	645	599	562	1774	1604	1806	1493	1293
Württembergische Staatseisenbahnen	468	466	438	499	496	1169	1167	1126	1324	1182
Badische Staatseisenbahnen	478	486	513	654	567	1594	1246	2101	2008	2223
Oldenburgische Staatseisenbahnen	316	267	271	260	237	830	613	740	626	518

Ausgaben sämtlicher Eisenbahnen Deutschlands
für die Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues.

Jahr	Ausgaben für das Kilometer Bahngleis für							Kosten der Unterhaltung und Erneuerung sämtlicher Gleise einschließlich der Weichen und Kreuzungen			Die Ausgaben für Arbeitslohn schwanken bei den Staatsbahnen zwischen
	Schienen	Kleinmaterial	Schwellen	Bettungsstoff	Arbeitslohn und sonstige Ausgaben	Wechsel und Kreuzungen samt Kleinmaterial	im ganzen	für 1000 Lokomotiv-Nutz- und Leerfahrtkilometer	für 1000 Lokomotivkilometer (einschließl. Rangierkilometer)	für 1000 Wagenachskilometer	
	Mark										
1898	267	150	201 H. 111 E.	84	527	66	1406	250	181	7,08	307 bis 672
1899	275	156	211 H. 111 E.	92	536	76	1457	253	182	7,14	267 » 634
1900	311	201	213 H. 137 E.	92	548	84	1586	267	192	7,73	271 » 645
1901	313	194	210 H. 130 E.	95	555	90	1587	271	191	8,02	260 » 654
1902	339	176	196 H. 140 E.	124	532	90	1597	273	193	7,98	237 » 580
Im 5jährigen Durchschnitt	301	176	206 H. 126 E.	97	540	81	1527	263	188	7,59	268 bis 637

3. Nach der österreichischen Eisenbahnstatistik beziffern sich die Kosten der Unterhaltung und der Erneuerung des Oberbaues auf den österreichischen Eisenbahnen in den letzten fünf Jahren, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Ausgaben der österreichischen Eisenbahnen
für die Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues.

(2 K. = 1,7 Mark.)

Jahr	Ausgaben für das Kilometer Bahngleis (einschließlich der Weichen, Drehscheiben und Schiebebühnen)*) für							Kosten der Unterhaltung und Erneuerung sämtlicher Gleise auf			Die Ausgaben für Arbeitslohn schwanken bei den Hauptbahnen zwischen
	Schienen und Kleineisenzeug	Schwellen	Bettungsstoff	Oberbauwerkzeuge und Geräte	Arbeitslohn	Weichen, Drehscheiben und Schiebebühnen	im ganzen	1000 Lokomotiv-Nutz- und Leerfahrtkilometer	1000 Lokomotivkilometer (einschließl. Rangierkilometer)	1000 Wagenachskilometer	
	Mark										
1898	137	255	66	20	325	40	843	159	123	4,33	256 bis 432
1899	178	257	66	20	333	49	903	169	128	4,69	243 » 406
1900	162	264	63	21	355	44	909	168	127	4,61	268 » 443
1901	200	298	73	24	371	55	1021	177	133	4,91	252 » 433
1902	186	274	69	23	353	53	958	173	131	4,80	251 » 490
Im 5jährigen Durchschnitt	173	270	67	22	347	48	927	169	128	4,67	254 bis 441

Die gegenüber den Aufwendungen der deutschen Staatseisenbahnen für die Gleisunterhaltung und Erneuerung auffallend geringeren Ausgaben der österreichischen Eisenbahnen erklären sich zum Teil dadurch, daß bei den letzteren Bahnen die Einnahmen für altes Material von den Kosten der Erhaltung und Umgestaltung der Gleise vorweg in Abzug gebracht wurden, sind aber wohl auch darauf zurückzuführen, daß in den letzten Jahren auf den deutschen Staatseisenbahnen Gleisumbauten in größerem Umfange zur Durchführung gelangten, als auf den österreichischen Eisenbahnen.

Der durchschnittliche Aufwand für die Gleisunterhaltung beträgt nach Rybarž[193]) bei eingleisigen, von Schnellzügen (mit 60 km Geschwindigkeit) befahrenen Bahnen etwa 100 bis 120, wenn nur Personenzüge (bis 45 km Geschwindigkeit) verkehren etwa 80 bis 100; bei zweigleisigen Bahnen mit Schnellzugsverkehr etwa 130 bis 160, mit bloßem Personenverkehr etwa 110 bis 130, und für Stationsgleise etwa 60 bis 80 Tagschichten für das Kilometer Gleis im Jahr. Hierzu kommen für Werkzeuginstandhaltung etwa 4 bis 5 v. H. des Lohnaufwandes.

Bei der einem großen Verkehr dienenden österreichischen Kaiser Ferdinands-Nordbahn stellten sich die durchschnittlichen Oberbau-Unterhaltungskosten und der durchschnittliche Lohnaufwand in Tagewerken in den zehn Jahren 1894 bis 1903 wie in folgender Zusammenstellung angegeben.

*) Abzüglich des Rückgewinnwertes.

193) Rölls Encyklopädie des ges. Eisenbahnw. 1890, Bd. I, Bahnerhaltung.

Oberbau-Erhaltungskosten

auf der Kaiser Ferdinands-Nordbahn in den Jahren 1894 bis 1903

(2 Kr. ö. W. = 1,7 Mark).

Jahr	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903
Gleislänge in Kilometer	2265	2305	2312	2328	2355	2366	2387	2414	2421	2429
Arbeit für 1 km, Mark	182	185	187	193	208	209	235	286	232	231
Material für 1 km, Mark	182	160	232	247	270	285	349	449	369	339
Arbeit und Material für 1 km, Mark	364	345	419	440	478	494	584	735	601	570
Durchschnittliche Arbeitskosten der regelmäßigen Erhaltung der freien Strecken für 1 km einfaches Gleis, Mark										
a) auf der Hauptlinie Wien-Krakau 1891-1895: 25 km; 1896-1903: 21 km eingleisig, 1891-1895: 387 km; 1896-1903: 334 km zweigleisig	170	184	175	170	189	190	218	264	206	211
b) auf den Nebenlinien (eingleisig)	174	107	112	124	121	119	130	161	138	137
Durchschnittlicher Aufwand an Arbeitsschichten bei der regelmäßigen Erhaltung der freien Strecken f. 1 km einfaches Gleis										
a) auf der Hauptlinie Wien-Krakau 1891-1895: 25 km; 1896-1903: 21 km eingleisig, 1891-1895: 387 km; 1896-1903: 334 km zweigleisig	142	152	147	143	156	155	172	210	161	165
b) auf den Nebenlinien (eingleisig)	93	87	94	104	99	97	103	127	107	107
Dabei betrugen die durchschnittlich auf 1 km Betriebslänge zurückgelegten Wagenachskilometer										
a) auf den Hauptbahnen	663 787	669 322	729 386	736 562	787 880	791 579	852 102	862 205	864 649	883 237
b) auf den Lokalbahnen	34 070	38 380	44 069	47 236	49 176	50 632	53 489	55 386	55 747	56 173
Die gesamte Last, die auf eine Achse (Last und Personenwagen) entfiel, betrug										
a) auf den Hauptbahnen km	5 843	5 894	5 921	5 960	6 052	6 085	6 143	6 074	6 103	6 163
b) » » Lokalbahnen »	5 052	5 185	5 276	5 440	5 551	5 548	5 628	5 552	5 567	5 609
Die Anzahl der Züge in der Strecke Wien-Krakau betrug im Durchschnitte: im Gleise I	8 839	9 383	10 235	10 443	11 157	11 504	12 438	12 425	12 284	12 103
» » II	9 667	10 153	10 954	11 003	11 637	12 108	13 086	13 281	12 041	13 143
Die beförderten Lasten (einschl. der Lokomotivgewichte) betrugen in der Strecke Wien-Krakau im Durchschnitte in Millionen Tonnen: im Gleise I	3,9	3,9	4,3	4,5	4,7	4,9	5,3	5,3	5,4	5,5
» » II	6,0	6,1	6,8	6,8	7,5	7,4	7,9	8,0	8,1	8,3

Diese Nachweisung, welche wir der Güte des Baudirektors Ast verdanken, läßt insbesondere den Einfluß erkennen, den die Zunahme des Verkehrs und die steigenden Achsbelastungen auf die Kosten der Gleisunterhaltung ausüben und zeigt, daß diese Kosten mit der erhöhten Inanspruchnahme der Gleise wesentlich gestiegen sind[194]).

In den letzten zehn Jahren, in denen die auf 1 km Betriebslänge zurückgelegten Wagenachskilometer um 33 bis 64 v. H., die Anzahl der beförderten Züge um 36 bis 37 v. H., die auf eine Achse entfallende Bruttolast um 5,5 bis 11 v. H. und die beförderte Gesamtlast in der Hauptstrecke Wien-Krakau um 41 bis 38 v. H. zugenommen haben, erhöhten sich — ungeachtet beständiger Verbesserung der Bahnanlagen — die Gesamtarbeitskosten um 26,9 v. H., die Materialkosten um 86,3 v. H., die Gesamtkosten für Arbeit und Material um 58,8 v. H., die durchschnittlichen Arbeitskosten der regelmäßigen Unterhaltung der freien Strecken um 24 bis 20 v. H. und der durchschnittliche Aufwand an Arbeitsschichten um rund 15 v. H. In dieser Kostensteigerung findet allerdings auch die gleichzeitig eingetretene Erhöhung der Arbeitslöhne und der mit zunehmendem Alter der Gleise sich steigernde Materialaufwand ihren Ausdruck.

4. Über die Kosten der Gleisunterhaltung auf den andern europäischen Bahnen enthält der von Ast dem 5. internationalen Eisenbahnkongresse zu London erstattete Bericht Mitteilungen, denen wir nachstehende Angaben entnehmen.

Gleisunterhaltungskosten für das Kilometer und Jahr.

Adriatisches Netz der italienischen Südbahn: Gesamtdurchschnitt 560 ℳ bzw. 360 bis 400 Tagschichten.

Französische Staatsbahnen: Je nach den einzelnen Linien 244 bis 1078 ℳ.

Paris-Lyon-Mittelmeerbahn: Gesamtkosten der Erhaltung der Bahn (ausschließlich der Umgestaltungen) 5480 ℳ. Hiervon Kosten der Handarbeit, Erhaltung und Erneuerung des Gleises und der Werkzeuge 1220 ℳ.

Französische Nordbahn: Bei Unterhaltung mit Hauptuntersuchungen schätzt man für die mittlere Erhaltung von 6 bis 7 m eines Gleises eine Tagschicht, und nimmt an, daß mit Rücksicht auf die überdies notwendig werdenden einzelnen Ausbesserungen eine Tagschicht für 5 m Gleis genügen wird. Hierbei ist die Erhaltung des Unterbaues, sowie die Erneuerung der Bettung und des Gleises selbst nicht inbegriffen.

Französische Westbahn: Eine Rotte von vier Mann und einem Vorarbeiter besorgt 4 km zweigleisiger oder 6 km eingleisiger Bahn. Unterhaltungsaufwand demnach etwa 187 Tagschichten bei eingleisiger und etwa 280 Tagschichten bei zweigleisiger Bahn.

Holländische Eisenbahn-Gesellschaft: Im Gesamtdurchschnitt 765 ℳ oder 200 Tagschichten.

Ägyptische Eisenbahnen: Im Gesamtdurchschnitt 493 ℳ oder 330 Tagschichten.

Russische Staatsbahnen: Für Arbeit und Material 470 Rubel.

Hiernach schwankt der Arbeitsaufwand zwischen 200 und 400 Tagschichten für das Kilometer und Jahr; er ist auf den italienischen und französischen Bahnen verhältnismäßig hoch.

Auf den belgischen Staatsbahnen werden nach den Mitteilungen von Flamache und Huberti[195]) die Gleiserhaltungsarbeiten einschließlich der Streckenbegehung wie folgt besorgt:

---

[194]) In den Jahren 1891 bis 1895 waren trotz einer Steigerung des Verkehres die Kosten der Gleisunterhaltung um 15 bis 20 v. H. gesunken, und zwar infolge der durch Entwässerung des Unterbaues und Verstärkung der Gleise bewirkten Verbesserungen der Bahnanlage und der durch Einführung der Verdingarbeit erzielten besseren Ausnutzung der Arbeitskräfte. Vgl. die erste Auflage dieses Bandes, S. 381.

[195]) Flamache et Huberti, Traité d'exploitation des chemins de fer, Brüssel 1885 bis 1890.

Auf eingleisiger Bahn	mit	10	Zügen	im	Tag	erhalten	3	Mann 5 km,
	»	15	»	»	»	»	3	» 4 »,
	»	20	»	»	»	»	5	» 6 ».
Auf zweigleisiger Bahn	»	30	»	»	»	»	4	» 5 »,
	»	50	»	»	»	»	4	» 4 »,
	»	70	»	»	»	»	4	» 3,5 ».

Ein besonderer Mann ist für die Begehung bestimmt. Hiernach wären dort auf eingleisigen Bahnen etwa 180 bis 250, auf doppelgleisigen Bahnen etwa 120 bis 170 Tagschichten erforderlich.

Auf den englischen Bahnen betragen nach einem Reiseberichte von Reitler die Arbeitskosten für die Unterhaltung der Gleise etwa 160 bis 170 Tagschichten für das Kilometer der Hauptgleise und etwa 110 bis 120 Tagschichten für das Kilometer Stationsgleis im Jahr[196]). Die Bedeutung dieser Ziffern erhellt aus der Zusammenstellung auf Seite 412 über die Beanspruchung der Bahnlinien, auf die sich diese Angaben beziehen.

Über die Gesamtkosten der Unterhaltung und Erneuerung (einschließlich der Unterhaltung der Seitengräben und der Einfriedigungen, sowie der Bahnaufsicht) auf englischen Bahnen gibt nachstehende Zusammenstellung aus vorgenanntem Berichte einige bemerkenswerte Ziffern.

Bahnlinie	Kosten der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues in Mark für das Jahr 1892/1893 für das Kilometer Gleis			
	Taglöhnung	Material	Zugkosten für Bettungsstoff	Summe
London-North-Western-Bahn, Gleislänge etwa 7859 km	889	485	59	1433
Great Northern-Bahn, Gleislänge etwa 2920 km	768	488	56	1312

Auf amerikanischen Eisenbahnen gilt im allgemeinen die Regel, daß für die gute Erhaltung einer Meile (1,6 km) eingleisiger Bahn ein Arbeiter erforderlich ist. Hierbei ist die Besorgung der Unter- und Oberbauarbeiten, sowie gewisser Nebenarbeiten vorausgesetzt, die Bahnbewachung jedoch nicht mit eingerechnet. Die Arbeitskosten für das Jahr und Kilometer Gleis stellen sich auf 200 bis 220 Tagschichten.

c. Kostenvergleiche. — Da die Höhe der Unterhaltungs- und Erneuerungskosten eines Gleises, in Verbindung mit den Kosten der ersten Anschaffung, den wirtschaftlichen Wert einer Gleisanordnung bestimmt und für die Wahl der einen oder anderen Bauart entscheidend wird, so ist die vergleichende Gegenüberstellung der Erhaltungskosten von Gleisen verschiedener Banart, die unter sonst gleichen Verhältnissen betrieben werden, von besonderem Werte. Leider mangelt es meist an zuverlässigen Angaben hierüber.

1. Der Vergleich der Unterhaltungskosten des eisernen Querschwellenoberbaues mit dem Holzschwellenoberbau hat ergeben, daß im allgemeinen die Kosten der Unterhaltung beim Eisenquerschwellenoberbau in den ersten Jahren höher, nach eingetretener Festigung der Bettung aber wesentlich geringer als beim Holzschwellenoberbau sind[197]).

Es möge hier noch besonders auf die Ergebnisse der vieljährigen vergleichenden Beobachtungen Rüppells, Asts und Posts verwiesen werden. Nach den die Jahre 1869 bis 1892 umfassenden Beobachtungen Rüppells an Gleisen der rheinischen Bahnlinien, wobei der Unterhaltungs-

196) Reitler, Über englischen und nordamerikanischen Oberbau, Wien 1895.

197) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. XI. Ergänz.-Bd. 1893: Eiserner Oberbau.

Aufwendungen englischer Bahnen

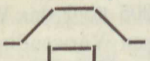
für die Unterhaltung des Oberbaues.

Bahn und Strecke		Betriebslänge in km	Gleislänge			Geleistete Zugkilometer auf das Kilometer Hauptgleis			Zahl der gefahrenen Tonnenkilometer auf das Kilometer Hauptgleis	Zahl der ständigen Arbeitsgruppen*)	Zahl der in den Gruppen verwendeten Arbeiter	Auf die regelmäßige Unterhaltung von 1 km Gleis entfallen Tagschichten**)
			Hauptgleise	Stationsnebengleise	Summe der Gleise							
			in Kilometern			Personenzüge	Güterzüge	Zusammen				
Great-Northern-Bahn	Hauptlinie . .	256	717	422	1139	—	—	—	—	103	516	160
	Zweiglinie. . .	1072	1963	674	2637	—	—	—	—	313	1523	160
	Gesamtnetz . .	1328	2680	1096	3776	6000	5600	11 600	3 000 000	416	2039	160
London- and North-Western-Bahn	Gesamtnetz . .	2912	5888	1971	7859	6200	5250	11 450	3 000 000	1024	4188	170
	Manchester-Liverpool, Hauptlinie . .	50,4	189	96	285	8300	8000	16 300	4 000 000	41	171	160
	Zweiglinien dieser Strecke, namentlich Kohlenbahnen	57,4	118	69	187	—	—	—	—	20	82	120

*) Besorgen die Unterhaltung des Oberbaues, der Gräben und Einfriedigungen und die Bahnaufsicht.

**) 1 Arbeitskraft mit 228 Tagschichten im Jahre angenommen. — Der Oberbau der Manchester-Liverpool-Bahn ist meist etwa 16 Jahre alt.

aufwand von Gleisen verschiedener Bauart einer besonderen Beobachtung unterzogen war, stellte sich der durchschnittliche Aufwand an Tagewerken für die Unterhaltung von 1 km Gleis wie folgt:

Oberbauart	Strecken		Im ganzen ausschließlich des ersten Betriebsjahres		
	Anzahl	Länge km	Kilometerjahre	Tagewerke überhaupt	Tagewerke durchschnittl. jährlich
I. Langschwellenoberbau.					
A. Rheinische Form	4	17,309	116,005	16 519	142
B. Hilfsche Form	8	7,100	70,600	13 413	190
C. Haarmannsche Form	1	5,219	29,054	4 287	148
Zusammen Langschwellenoberbau	13	29,628	215,659	34 219	159
II. Eiserner Querschwellenoberbau.					
A. Form  von 35 kg Gewicht. . .	10	18,786	161,872	36 638	226
B. Form  » 50 » » . . .	23	29,596	196,799	23 199	118
C. Form  » 50 » » . . .	19	15,938	82,669	7 776	94
Zusammen eiserner Querschwellenoberbau	52	64,320	441,340	67 613	153
III. Holzquerschwellenoberbau	6	17,895	169,247	21 361	126

Dieser Nachweis zeigt deutlich, wie Form und Gewicht der Eisenschwellen die Höhe der Unterhaltungskosten beeinflussen. Eisenquerschwellen der Form C ergaben selbst bei dem verhältnismäßig niedrigen Gewicht von 50 kg einen wesentlich geringeren durchschnittlichen Erhaltungsaufwand, als Holzschwellenoberbau.

Die Überlegenheit eines richtig gebauten eisernen Querschwellenoberbaues über Holzschwellenoberbau zeigt sich auch in den Ergebnissen der Beobachtung der im § 8 (S. 349) erwähnten Versuchsgleise der Kaiser Ferdinands-Nordbahn, über die seit dem Jahre 1883 sorgfältige Aufzeichnungen gemacht werden. Eine zwanzigjährige Beobachtung dieser unter gleichen Betriebseinwirkungen stehenden Gleise gleichartigen Baues (von 1884 bis 1903) ergab die folgenden Durchschnittswerte für das Kilometer und ein Jahr.

Eiserner Querschwellenoberbau, Bauart Heindl				Holzquerschwellenoberbau			
Bis Ende 1903 über das Gleis gerollte Last und Zahl der Züge:							
138,80 Millionen Tonnen 248 269 Züge (bis zu 90 km Fahrgeschwindigkeit)				138,68 Millionen Tonnen 248 427 Züge (bis zu 90 km Fahrgeschwindigkeit)			
Arbeitslohn	Material, m. Ausschl. d. Schienen u. d. Bettung	Bettungsstoff für die Nachschotterung	Gesamte Erhaltungskosten für 1 km u. Jahr	Arbeitslohn	Material, m. Ausschl. d. Schienen u. d. Bettung	Bettungsstoff für die Nachschotterung	Gesamte Erhaltungskosten für 1 km u. Jahr
Mark							
319,45	54,50	2,92	376,87	287,71	309,80	2,39	599,90

Hiernach stellen sich die durchschnittlichen Unterhaltungskosten des eisernen Querschwellenoberbaues der Bauart Heindl in den ersten zwanzig Jahren um 37,2 v. H. geringer als beim Holzquerschwellenoberbau[198]).

[198]) Siehe die Mitteilungen von Ast in der Revue générale des chemins de fer, Juni 1892, und in der Zeitschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892; ferner von Goering über Unterhaltungskosten des Ober-

Auch die Erfahrungen Posts und Rensons[199]) ergaben, daß die Erhaltungskosten der Gleise auf Flußeisenquerschwellen neuerer Bauart wesentlich geringer als diejenigen der Gleise auf Eichenquerschwellen sind. Die Unterhaltungskosten von Stuhlschienenoberbau nach der auf den österreichischen Staatsbahnen seit dem Jahre 1897 in versuchsweiser Anwendung stehenden Bauart mit Doppelkopfschienen von 42 kg/m betrugen nach den Mitteilungen von Fischer-Zickhartburg (Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1904) nach Ausscheidung der Ausgaben des ersten Erhaltungsjahres für 1 km Gleis durchschnittlich 120 ℳ.

2. Die Unterhaltungskosten des eisernen Langschwellenoberbaues stellten sich auf den deutschen Eisenbahnen nach den der Technikerversammlung zu Straßburg im Jahre 1893 vorgelegten Berichten bezüglich des Arbeitslohnes um das $1\frac{1}{2}$- bis $3\frac{1}{2}$-fache höher als beim Holzquerschwellenoberbau. Die Kgl. Eisenbahndirektion Altona gibt die Kosten für 1 km und Jahr zu durchschnittlich 258 ℳ gegen 178 ℳ beim Holzquerschwellenoberbau an.

Bei der Bauart von Hohenegger betrugen die Kosten der Erhaltung an Arbeitslohn in den ersten Jahren das $1\frac{1}{3}$- bis $1\frac{1}{2}$-fache des Holzoberbaues, hingegen waren die Materialkosten nur gering. Nach Rybaržs Mitteilungen betrugen bei der österreichischen Nord-Westbahn nach einem 15jährigen Durchschnitte die Gleisunterhaltungskosten beim Hoheneggerschen Langschwellenoberbau 265 ℳ für das Kilometer und Jahr, gegen 197 ℳ/km beim Holzschwellenoberbau. Für Erneuerung von Schienenbefestigungsmitteln waren 2,5 ℳ für das Kilometer und Jahr erforderlich[200]). Nach dem Berichte Hoheneggers im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1905 über das Verhalten des eisernen Langschwellenoberbaues seiner Bauart während einer 30jährigen Verwendungsdauer auf den Hauptstrecken der Österreichischen Nordwestbahn, in der eine Last von 52 Millionen Tonnen über das in einer Bremsstrecke von 10 v. T. Neigung liegende Gleis rollte, betrug die Auswechslung der Eisenteile bei den aus Schweißeisen hergestellten Langschwellen 0,015 v. H., bei den Befestigungsmitteln 0,06 v. H.

Aus dem Vergleiche der Unterhaltungskosten des meist mit 27 kg/m-Schienen versehenen Langschwellenoberbaues und eines mit 33 kg/m schweren Fahrschienen versehenen Holzquerschwellenoberbaues ist zu entnehmen, daß die Unterhaltung des Langschwellenoberbaues im Mittel der letzten 4 Jahre 512 ℳ/km kostete, während die des Holzquerschwellenoberbaues 690 ℳ/km erforderte.

3. Über die Kosten der Unterhaltung des Schwellenschienenoberbaues liegen ausreichende Erfahrungen nicht vor. Auf den württembergischen Staatsbahnen betrugen dieselben in den ersten Jahren des Betriebes etwas mehr als die Hälfte der Kosten beim Querschwellenoberbau. Haarmann beziffert die jährlichen Unterhaltungskosten auf etwa 100 ℳ für das Kilometer[201]).

d. Einfluß der Kosten auf den Zeitpunkt des Umbaues. — Die Höhe der Unterhaltungskosten wird in Zusammenhalt mit dem jeweiligen Neu- und Altwert einer Gleiskonstruktion auch bestimmend sein für die Entscheidung, ob ein Gleis für einen vollständigen Umbau reif ist oder nicht. Ein solcher erscheint wirtschaftlich gerechtfertigt, sobald der Unterschied zwischen dem Neuwert und Altwert eines Gleises gleich oder kleiner ist, als der kapitalisierte Unterschied der Unterhaltungskosten, die ein Gleis mit altem und neuem Oberbau bei gegebenem Verkehr erfordert; d. h. also wenn

$$N - A \gtreqless (u' - u)\,\frac{100}{p}$$

ist, wo N den Neuwert, A den Altwert, p den Zinsfuß in Hundertteilen, u und u' die zugehörigen Unterhaltungskosten bedeuten[202]). Es kann deshalb auch wirtschaftlich

baues mit eisernen Querschwellen, Glasers Annalen 1893; endlich von Heindl in der Zeitschr. d. Österr. Ing. u Arch.-Ver. 1895. Die neuesten Mitteilungen danken wir Herrn Baudirektor Ast unmittelbar.

[199]) Verhandlungen des internationalen Eisenbahnkongr. 1898, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899.

[200]) Siehe Rybarž, Erfahrungen über eisernen Langschwellenoberbau usw., Zeitschr. des Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895.

[201]) Siehe Haarmann, Die Eisenbahnoberbaufrage in ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung, Glasers Annalen 1893.

[202]) Siehe Sigle, Kosten der Gleisunterhaltung, Archiv f. Eisenbahnw. 1894.

gerechtfertigt sein Schienen, noch ehe sie vollständig ausgenutzt sind, aus einer verkehrsreichen Strecke zu entfernen und in Nebenbahnen weiter zu verwenden.

e. Wirtschaftlicher Wert einer Bauart. Rücklageberechnung. Rechnungslegung. — Ein richtiges Bild des wirtschaftlichen Wertes einer bestimmten Gleisbauart ist nur zu gewinnen, wenn neben den Anlage- und alljährlichen Unterhaltungskosten auch die zu gewärtigenden Erneuerungskosten in Form einer jährlichen Rücklage in Rechnung gestellt werden, welche so bemessen sein muß, daß durch Zins auf Zins das beim Eintritte der Notwendigkeit einer Auswechslung erforderliche Kapital vorhanden ist. Bezeichnet r diese jährliche Rücklage, $N-A=E$ den Unterschied des Neu- und des Altwertes der Teile, n die mutmaßliche Dauer in Jahren und $z = e - 1$ den Zinsfuß, so ist

$$r = \frac{e-1}{e^n-1} \cdot E \,.$$ [203]

Schließlich sei noch auf die Notwendigkeit und Nützlichkeit einer genauen und klaren Rechnungslegung über die Kosten der Herstellung und Unterhaltung des Oberbaues aufmerksam gemacht. Sowohl der hohe Wert der Oberbauteile, als auch der Umstand, daß diese Rechnungsaufstellungen die Grundlagen für die alljährlichen Veranschlagungen der Unterhaltungskosten bilden, mahnen zu besonderer Sorgfalt in dieser Richtung. Die Berechnung der Bettungsarbeiten erfolgt auf Grund von Aufnahme der wirklich in die Bahn eingebrachten Bettungsmengen. Der Nachweis der verwendeten und wieder gewonnenen Eisen- und Holzteile an Hand von Lageplänen unter Aufzählung des gesamten Betrages nach Stückzahl, Gattung und Gewicht — wobei die noch unter Gewähr stehenden Teile besonders zu vermerken sind — und der Nachweis der Lohnarbeit durch Angabe des Umfanges, Ortes und der Zeitdauer der Leistung. Durch Anwendung geeigneter Vordrucke kann hierbei das Schreibwerk wesentlich vereinfacht und erleichtert werden.

---

[203] Beispiele siehe in Röll, Encykl. d. ges. Eisenbahnw. V, Oberbau (von Goering), u. Haarmann, Die Eisenbahnoberbaufrage in ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung, Glasers Annalen 1893.

Biblioteka Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie

Literatur.

Die wichtigsten neueren Arbeiten über die Ausführung und Unterhaltung des Oberbaues sind bereits im vorstehenden an den betreffenden Stellen genannt. Zur Übersicht seien hier noch die folgenden angeführt.

Allgemeine Werke:

R. Paulus, Der Eisenbahnoberbau in seiner Durchführung auf den Linien der k. k. priv. Südbahn-Gesellschaft, Wien 1872.

M. Pollitzer, Die Bahnerhaltung, Brünn 1874 bis 1876.

G. Osthoff, Die Materialien, die Herstellung und Unterhaltung des Eisenbahnoberbaues, Oldenburg 1880, Heft 1.

A. Haarmann, Das Eisenbahngleis. I. Teil, Leipzig 1891. II. Teil, Leipzig 1902.

Röll, Encyklopädie des gesamten Eisenbahnwesens. Band I: Bahnerhaltung, von Rybarž; Band V: Oberbau, von Goering. Wien 1891 bis 1895.

Blum, von Borries und Barkhausen, Die Eisenbahntechnik der Gegenwart, III. Band: Unterhaltung und Betrieb der Eisenbahnen, Oberbau, bearbeitet von Schubert; Streckendienst, bearbeitet von Beyer. Wiesbaden 1902.

Goschler, Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer, Paris 1865 bis 1881.

A. Flamache, A. Huberti et Stévart, Traité d'exploitation des chemins de fer, Band I, Bruxelles 1885.

C. Bricka, Cours des chemins de fer professé à l'école nationale des ponts et chaussées, Paris 1894.

Anleitungen in gedrängter Form:

A. J. Susemihl, Das Eisenbahnbauwesen für Bahnmeister und Bahnaufseher, bearbeitet von E. Schubert, Wiesbaden.

J. Brosius und R. Koch, Der äußere Eisenbahnbetrieb, Band III: Bau und Unterhaltung der Eisenbahnen, Wiesbaden.

A. Goering, Eisenbahnbau, Sonderausgabe aus dem Taschenbuch des Vereins »Hütte«, Berlin.

A. W. Meyer, E. Heusinger von Waldeggs Kalender für Eisenbahntechniker: Eisenbahnoberbau, von Doležalek; Unterhaltung des Oberbaues, von Burkhardt.

Erörterungen einzelner Fragen finden sich insbesondere in den nachstehenden Werken:

Beratungen der Technikerversammlungen des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen, mitgeteilt im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. Ergänz.-Bd. I, 1868; III, 1869; Band VIII, 1871; Ergänz.-Bd. V, 1875; VI, 1878; IX, 1884; XI, 1893; XIII, 1903.

Verhandlungen der internationalen Eisenbahnkongresse, mitgeteilt im Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer und im Compte rendu général, Bruxelles 1885 bis 1905. (Siehe Berichte und Noten von Ast, Amadeo, Bogaert, Bricka, Brière, Bruneel, Bousquet, Busschere, Denys, Dudley, Engerth, Feldpauche, Hausser, Herzenstein, Hohenegger, Kendrick, Leber, Michel, Petroff, Post, Poulet, Renson, Sabouret, Spring, Tettelin, Wasiutynski, Werschowsky u. a.)

Über die einschlägige Zeitschriftenliteratur geben erschöpfende Auskunft die Sachregister des Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. und Rieth, Repertorium der technischen Journal-Literatur, Berlin.

Statistik:

Statistische Nachrichten des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen, des Reichseisenbahnamtes in Berlin, des österreichischen Eisenbahnministeriums, der einzelnen Eisenbahnverwaltungen und der internationalen Eisenbahnstatistik.

Namenverzeichnis.*)

Die größeren Zahlen geben die Seite an, die kleineren die Nummer der betreffenden Fußanmerkung.

Amadeo 280.
Anitschkow 110, 353, 360[133].
Ast 3[5], 4[7], 29[32], 50[52], 68, 84[8], 108[33], 110[45], 116[58], 120[64], 122[69], 138[79], 174, 217, 218, 219, 264[232], 274[240], 283, 319[74], 321, 329, 334[87], 338, 350[95], 354, 355[117], 358[124], 359[127], 380, 391, 392[179], 403[186], 410, 411, 413[198].

Barkhausen 243.
Barlow 79, 404[188].
Bauchel 283, 391[177].
Baumgartner 390[175].
Becherer und Knüttel 240.
Berkinshaw 71.
Bessemer 106.
Bethell 155, 156.
Birk 280[5], 350[96].
Blum 3[5], 29[32], 50[52], 61[61], 264[232], 325[79], 332[84], 392.
Blythe 155.
Bödecker 88[11], 89[12], 118[59], 361[135].
Bogaert 280, 328[80], 330, 357.
Borries v. 328[80].
Boucherie 153.
Boyenal Ponsard 167[117].
Bräuning 4[7], 6[9], 65[68], 319[74], 325, 333[86], 335[88].
Bréant 153.
Brennecke 405[189].
Bricka 353[110], 357[119], 357[121].
Bridges Adams 80.
Brière 319[74], 324, 335[88].
Bruneel 379.
Brunel 74.
Burkhardt 400[183].
Burnett 153, 154.
Busschere 353[111], 357[119].
Busse 328[80].

Cartault 346[93].
Caspar 285[10].
Coblyn 173.
Contamin 164.
Coombs 291[19]
Coüard 4[7], 164, 208, 319[74], 320, 325, 328[80], 337[90], 346, 354[112], 359, 371[146].
Curr 70.
Curtis 160[106].

Daelen 80.
David 195.
Denham Olpherts 181.
Denys 379.
Dewar 364[140].
Dormus 355[116].
Dorpmüller 212.
Dudley 7[10], 110[44], 120[66], 139[81], 320[75], 330, 354[113], 357[121].
Dufaux 337[90].
Dunaj 190[130], 193[143].

Ebermayer 198[151].
Ebert 376[161].
Elb 280[5].
Engerth 208, 328[80], 330[81].
Engesser 9[13], 46[47], 66[69], 84[7,9].
Eppers v. 346[93].
Ernst 280[3].
Etzel 303.

Feldpauche 283, 286[10], 288[14], 293[21].
Fischer 241, 285[10].
Fischer-Zickhartburg 414.
Flamache 7[10], 167[117], 319[74], 325, 410[195].
Footner 363[137].
Forchheimer 289[15].
Frahm 109[37,40], 120[64], 121[67].
Francke 10[14].
Frank 111.
Frederking 332.
Freund 378[165].

*) Wegen der Namen von Erfindern und Konstrukteuren siehe auch das Sachverzeichnis.

Froitzheim 331[83].
Früh 382[167].
Funk 113, 163[109,111], 190[130], 337, 353[105], 364[141].

Goering 62, 310[34], 313[57], 413[198], 415[203].
Gottsleben 280[3].
Griffin 179, 181.

Haarmann 5[8], 69[1], 76[4], 78, 133, 140[83], 165[115], 167, 168[119,120], 187[138], 200, 201, 204[152], 205, 213[163], 221, 223[180], 231, 237[189], 238, 240, 244, 259[221], 263[229], 307, 308, 316, 319[74], 320, 324, 336[89], 337[90], 339[92], 403[185], 404[187], 414[201], 415[203].
Häntzschel 4[7], 6, 7[10], 8[11], 252[207], 319[74], 320, 324.
Hartwich 5[8], 79.
Hasselmann 157.
Hausser 337[90], 338.
Hawks 358[123].
Heindl 174, 201, 202, 250[200], 258[220], 414[198].
Helly 29[32].
Helmholtz 361[135].
Herzenstein 150[88], 337[90], 338, 339.
Heusinger 158[102], 353[106].
Hilf 74, 221, 206, 231, 402[184].
Hoffmann 47[50], 68, 251[203].
Hohenegger 77, 165, 187, 190[130], 192[141], 197, 207, 213, 221, 231, 280, 414.
Hönigsberg 320[76].
Howard 206.
Huberti 319[74], 325, 410[195].

Jacobi 214.
Jansen 350[95].
Jebens 233.
Jessop 70, 73.
Johnson 209, 328, 359[126].

Kaven v. 190[130].
Kendrick 148[87], 160[106], 337[90], 338.
Kiepenheuer 353[102].
Kislanski 359[129].
Koch 404.
Kohn 213, 233[184], 237, 298[25], 386, 388[173].
Knüttel und Becherer 240.
Köstler 293[21], 395[180].
Köstlin und Battig 80.
Kowalski 350.
Kreuter 251[206].
Küpfer 170.
Kyan 153.

Leber v. 281[6].
Le Crenier 168.
Lego 285[10].
Lehwald 68, 251[205], 257[216].
Leibbrand 285[10].
Lichtenfels 282.
Linke 405[192].
Littrow 309[33].
Loewe 3[5], 9[12], 40[39], 45, 46[45,46], 116[56], 337[90].

Macdonnell 74.
Mac Lellan 180, 181.
Martin-Siemens 106.
Menne 76, 221.
Michel 122[69], 280[5], 319[74], 325, 335[88].
Mogan 241.
Mohr 372.
Moreau 164[114], 350[97].
Mühlen 285[10], 286, 288.
Müller-Breslau 68.
Musy 110.

Neumann 235.
Nixon 71.
Nördling 279, 280[3,5].

Oberbeck 279[2], 280[5].
Olpherts, Denham 181.
Osmond 363.
Osthoff 285[10], 400[182], 402[184].

Pascher 400[182].
Paulus 296[24], 315.
Pernt 280[5].
Petroff 353, 359.
Polak 285[10].
Pollitzer 195, 296[24], 302[27], 317[72], 400[182].
Ponsard, Boyenal 167[117].
Post 170, 330, 332[85], 350, 353[109], 357[120], 357[121], 379, 411, 414[199].
Poulet 357[121].
Pressel 280[5].
Puig 403[186].

Ramaeckers 280.
Reitler 370[145], 377[164], 411[196].
Renson 174[125], 350[96], 414[199].
Reynolds 69.
Riese 68, 251[205], 257[216].
Röll 404[187].
Roth und Schüler 203, 204.
Ruch 280[5].
Rudeloff 284, 364[140].
Rüppell 91[14], 141, 187[137], 237, 295, 298[25], 299[26], 303, 304, 319[74], 320, 324, 332, 353[107], 360[132], 361[134], 411.
Rütgers 155, 156.
Rybarž 353[108], 355[117], 402[184], 408[193], 414[200].
Ržiha 402[184].

Sabouret 280.
Salin, Henri 280.
Salomon 289[15].

Sandberg 122[69].
Sandner 92[15], 96, 100, 305[28].
Sarda 178.
Sarrazin 162[108], 182, 279[2], 280[5].
Sarre 61[61], 245[197], 269[237].
Sauvage 346[93].
Sauveur 363[139].
Scheffler 80, 361[135].
Schmidt 383[172].
Schmitz 218.
Schneidt 160[104], 164[114], 337[90], 338[91].
Schroeter 4[7], 6[1].
Schubert 4[7], 6[9], 167, 172[123], 173, 253[209], 257[215], 284[9], 319, 331[82], 333[86], 405[191].
Schübler 108.
Schwartzkopf 68.
Schwedler 9[3], 17[22], 46[48], 66[69].
Seidenschnur 154[94], 156[100].
Siegler 357.
Sigle 405[190], 414[202].
Spitz 208, 328[80], 329.
Spring 337[90], 338.
Stanè 109[36], 111[47], 158[102], 263[230], 332[84].
Stecewicz 319[74].
Steiner 218, 364[140].
Stephenson 72, 188, 236, 253.
Stevens 73.
Stockert 122[69], 353[104], 358[122], 359[128], 361, 364[141], 369.
Strickland 74.
Susemihl 162[108], 163, 190[130], 192, 193[143], 296[24], 307[29].
Tellkampf 156, 404[188].
Tetmajer 110[43], 111.
Tettelin 379.
Thomas 106.
Tratman 291[19].
Vautherin 164.
Vietor 238.
Vignoles 73[2].
Voiges 285[10], 286.
Währer 235.
Wasiutynski 4[7], 7[10], 8[11], 50[52], 68, 135[77], 252[208], 269, 283, 319[74], 322, 327.
Wassermann 156.
Weber v. 3[7], 6, 9[12], 68, 183, 190[130], 222[175], 251[202], 319[73], 323, 380.
Wedding 358[125], 363.
Weikard 376[161].
Weißhaupt 68.
Werschowsky 110, 353, 357[120].
Wiese 157.
Winkler 42[42], 68, 251.
Wöhler 9[12], 62[62], 63, 65, 118[59], 359[126].
Ziffer 337[90].
Zimmermann 1[1], 2[3], 2[4], 2[5], 7[10], 13[17,18], 16[21], 17[22], 18[24], 25[27], 27[28,29], 29[32,33], 44[43], 45[44], 46[47], 51[53], 54[56], 56[57], 60[60a], 60[61], 68, 85[10], 116[57], 135[76], 171[122], 175[126], 209[155], 230[181], 233[185], 245, 261[225], 264[232], 319[74], 327, 333.
Zironi 156.

Sachverzeichnis.

Abmessungen des Bettungskörpers 255.
— d. Schienenquerschnittes 116, 126.
— der Schwellen 146, 149.
Abnahme der Schienen 115, 356.
Abnutzung d. Befestigungsmittel 367.
— der Eisenschwellen 347.
— der Holzschwellen 334.
— der Schienen 112, 119, 350.
Absehkreuze und Abwäglatten 313.
Abstand d. Schwellen 35, 40, 148, 176.
Absteckungsarbeiten 278.
Altmann, Schienenrichter 313, 385.
Amerikanische Gleishebewinde 312.
Angriffspunkt d. Seitenkräfte 63.
Anschaffungspreise der Gleisteile 394.
Arbeiten d. Oberbauunterhaltung 381.
Arbeitsgleise, Verlegen 306.
Archer, Steinbrecher 285.
Arten der Oberbauunterhaltung 375, 378.
Ast, photographische Aufnahme der Gleisbewegungen 321.
Ätzung von Schienenquerschnitten 354—356.
Auflauflaschen 236.
Aufsetzhammer 301, 312.
Ausführung des Oberbaues 278.
— der Spurerweiterung 305.
— der Überhöhung 306.
Ausgleichschienen 140, 305.
Auslegen der Schienen 298.
— der Schwellen und Unterlagsplatten 297.

Backenbrechmaschine 285.
Bahnmeister 376.
Bahnunterhaltung mit fliegenden Rotten 377.
Bahnwagen 309.
Barnhart, Pflug 292.
Bauer, Schienenrücker 313, 386.
Baxter & Co., Backenbrechmaschine 282.
Bayer, Rail-Unloader 295, 309.
Beanspruchung der Schienen und Querschwellen 45, 136, 176, 267,
— der Laschen 247.
Bearbeitung der Holzschwellen 297, 346.
— der Laschen 229.
Bedeutung der Oberbauarbeiten 276.
Befestigung, siehe Schienenbefestigung.
Beförderung der Oberbauteile auf die Strecke 294.
Begriff des Oberbaues 82.
Behebung von Mängeln d. Schienenenbefestigung usw. 384.
Bengger, Gleishebevorrichtung 312.
Beobachtungen am Gleis 319—328.
Berechnung des endlosen Stabes 13.
— für Langschwellenoberbau 56.
— des Oberbaues, Grundlage und Ziel 1.
— der Querschwelle 27.
— für Querschwellenoberbau 56.
— der Schiene auf Querschwellen, genäherte 43.
— — genauere 35.
— der Schiene und Langschwelle 13.
— der Schienenlaschen, allgemeine 50.
— der Schienenunterlagen im allgemeinen 8.
— der Schwellenschiene 13.
Bergue de, Nivelleur 301, 312.
Berichtigung der Höhenlage
— des Gleises 386.
— der Längsverschiebungen 386.
— der Seitenverschiebungen 385.
— der Spurweite 385.
Betonschwelle 178, 182.
Bettung, Bedarf 400.
— Beschaffenheit 249, 283.
— Druck 7, 83, 176, 251.
— eingekofferte 253.
— Entwässerung 259.
— Erneuerung 387.
— gebrannter Ton 291.
— Hochofenschlacke 249, 288.
— Höhe 255.
— Instandhaltung 384.
— Kies 249, 252, 288.
— Kleinschlag 249, 252.
— Korngröße 284, 288.
— Körper, Abmessungen 255.
— — Gestalt 253.
— — Herstellung 282, 293.
— Kosten 287, 288, 400, 401.
— Notwendigkeit 249.
— Packlage 252.
— Sand 249, 290.
— Steinschlag 249, 284.
— Stoff 249.
— — Gewinnung und Verteilung 282, 391.
— — Prüfung 284.
— Veränderung 257, 333.
— Verhalten bei versch. Oberbauarten 255.
— Verstärkung 264.
— in Wegübergängen 258.
— Wirkungsweise 6.
— Ziffer 8, 83, 251, 327.
Bezeichnungen, Übersicht 67.
Biegen der Schienen 304.
Bischoff, Schienenabnutzungsmesser 372.
Blake, Backenbrechmaschine 285.

Blattstoß 234, 237.
Bogenschienen, Länge und Verteilung 140, 305.
Bohrmaschine 310.
Bohrratsche von Krüzner 310.
Bohrstange mit Einsatzbohrer 310.
Bräuning, Messung der Gleisbewegung 325, 326.
Breite der Bettung 255.
— der Breitfußschienen 123.
— des Schienenkopfes 120.
Breitfußschienen 73, 104, 122.
— Höhe und Breite 123.
— Massenverteilung 122.
— Querschnittsgestalt 122.
— Vergleich m. Stuhlschienen 261.
Brenan, Steinbrecher 285.
Brière, Beobachtungen am Gleis 324.
Brink & Hübner, Doppelsteinbrechmaschine 285.
Brücken, Entgleisungsschutz 272.
— Oberbaulegen auf denselben 303.
Brüggemann, Schienenabnutzungsmesser 374.
Bube, Gleis- Spur- und Überhöhungsmaß 314.
Buchenschwellen 145, 151, 159, 163, 164, 338, 339, 346.
Bundmutter 215.

Camrone, Walzenbrechmaschine 285.
Christie, Schienennagelzange 312.
Clark-Fischer, Doppelwinde 312.
Cochet, Maschinen zum Bohren und Hobeln d. Schwellen 310.
Collet, Schwellenverdübelung 346.
Coüard, Beobachtungen am Gleis 325.
— Meßvorrichtung 320.
Creese, Vorrichtung zum seitlichen Verschieben von Gleisen 313.

Dauer der Eisenschwellen 347.
— der Holzschwellen 160, 334, 337—347.
— — getränkter 160, 340.
— der Schienen 112, 350, 370, 371.
— — Ermittlung 368.
Dexel- und Bohrmaschine 310.
— -Hacke 297, 310.
— -Lehre 297, 313.
Doppelwinkellaschen 226.
Dorpmüller, Apparat für Gleismessungen 314.
— Keilverschlußklemme 212.
Drake & Reid, Walzenbrechmaschine 285.
Dreiteilige Oberbauarten 80.
Dreiwalzenbiegmaschinen 311.
Druck auf d. Bettung 7, 83, 176, 251.
— auf die Unterlagen 47, 335.
Dübel, Hartholz 194, 346.
Dudley, Wagen zur Gleisprüfung 314.
Dunaj, Schwellenbohrer 310.
Dunaj & Weber, Schienennagelzange 312.
Durchbiegung der Schiene 48, 136.
Durchschlaghammer 312.
Dyckhoff, Backenbrechmaschine 285.
Dynamische Wirkung der Lokomotiv- u. Tenderräder 84, 327.

Einfluß des Gestängegewichts 84.
— der Kosten auf den Zeitpunkt des Umbaues 414.
— -Linien 17.
— der Witterung 330.
Einführung des Spurrandes 69.
— des Spurkranzes 70.
Einklinkung der Laschen 210.
— des Schienenfußes 209.
Einlegung der Stoßbleche 298.
Einseitig begrenzter, unendlich langer Stab 19.
Einteilige Oberbauarten 79.
Einteilungsmaß f. Querschwellenoberbau 313.
Einzelunterstützungen 102, 178—181.
Eisen, Fluß- und Schweiß- 105.
Eiserne Querschwellen 164.
Eisenschwellen, Abnutzung 347.
— Dauer 175, 347.
— Endverschluß 171.
— Form 164.
— Gewicht 173.
— Herstellung der Schienenneigung 168.
— Länge 168.
— Leistungsfähigkeit 173.
— Lochen 171.
— Querschnittsform 164.
— Senkung 253.
— Unterstopfen 172.
— Vergleich mit Holzschwellen 173.
Eisenschwellen, Walzen 172.
Elastisch gelagerter Stab unendlicher Länge mit beliebigen Einzellasten 22.
— — mit symmetrischer Belastung 24.
Elastische Senkungen des Unterbaues 327.
Endloser Stab auf durchgehender Unterstützung, Berechnung 13.
— Einflußlinien 17.
— Stetigkeitsunterbrechungen 20.
Endverschluß eiserner Querschwellen 171.
Entgleisungsschutz 272.
Entladung der Kieswagen 291.
Entwässerung 254, 259.
Erfordernis an Oberbaugeräten 315.
Erhardt, Kaltsäge 311.
Erneuerung der Bettung 487.
— der Schienen 388.
— der Schienenverbindungs- und Befestigungsmittel 388.
— der Schwellen 387.
Erneuerungskosten des Oberbaues 404.

Fahrgeschwindigkeit, Einfluß auf Schienenabnutzung 359.
Federnde Unterlagscheiben 214.
— Muttern 214.
Federringe 214.
Feste Spurlehre 314.
Festlegung der Richtung und Höhenlage des Gleises 282.
Festschrauben der Schienen 300.
Feuchtigkeitswirkungen 330.
Fischbauchschiene 71.
Fischerstoß 241.
Flachlaschen 224.
Flamache & Huberti, Beobachtungen am Gleis 325.
Fließbilder 320.
Flußeisen 105.
Flußkies 249, 289.
Flußstahl 105.
Fraser & Chalmers, Backenbrechmaschine 285.
Freund, Gleishebewinde 312.
Frostwirkungen 330, 387.
Frühling, Profilzeichner 374.
Fuhrwerksgleise 5.
Fußverlaschung 234.

Gassebner, Universalschraubenschlüssel 313.
Geisfuß, 312.
Geräte, Erfordernis beim Legen und Unterhalten d. Gleise 315.
— zum Messen und Prüfen der richtigen Lage und des Verhaltens des Oberbaues 313.
— Oberbau- 308.
Geske, Spurrichter 313, 385.
Gewicht des Gestänges, Einfluß 84.
Gewinnung von Kies 289.
— und Verteilen des Bettungsstoffes 282.
Gleichstoß und Wechselstoß 222.
Gleis, Bewegungen im Betriebe 320, 321.
— Entwässerung 259.
— Heben 301, 386.
— Hebewinden 312.
— Höhenlage 282.
— -Karren 309.
— Krümmungen, Verlegen 304.
— Lage, Geräte zur Prüfung 313.
— Legeeinrichtungen 309.
— -Lehre 314.
— Nachstopfen und Verfüllen 294, 302.
— Richtung 281, 301.
— Rostbildung 331.
— Senkung 387.
— -Teile 4, 82.
— Umbau 281, 294, 307, 389.
— Unterhaltungs- und Erneuerungskosten 404.
— Untersuchung 378.
— Verfüllung 302.
— Verschiebung in der Längsrichtung (Wandern) 208, 328, 386.
— Verstärkung 125, 134, 150, 233, 249, 258, 269, 391.
— Zustand, Überwachung 375.
— — Vorrichtungen zum Prüfen 314.
Größe der Wärmelücken 298, 299.
Grothe, Hebevorrichtung 312.
Grundlagen der Oberbauberechnung 1.
— der Oberbaukonstruktion 82.
Grubenkies 249, 289.
Guyenet, Kran 295, 309.
Gütewertziffer der Schienen 135.

Haarmann, Beobachtung am Gleis 324.
Haarmann, Hakenplatte 200.
— Keilplättchen 213.
— Langschwelle 78.
— Rippenschwelle 167.
— Schienenabnutzungsmesser 374.
— Schwellenschiene 80.
— Starkstoß 244.
— Wechselstegschienen 239.
Haftfestigkeit der Schienennägel 191.
— der Schrauben 193.
Hakennagel 191.
Hakenplatte 185—187, 200, 205.
Hakenschraube 199, 202.
Halbstoß von Becherer u. Knüttel 240.
Häntzschel, Beobachtungen am Gleis 6, 320, 324.
— Meßvorrichtung für Gleisbewegungen 320.
Handrammen 312.
Harris & Voigt, Gleislegeeinrichtung 309.
Hartholzdübel 194.
Hartwichschiene 79.
Hattemer, Schienenabnutzungsmesser 372.
Hauptuntersuchungen d. Gleises 378.
Hebebaum 301, 312.
Hebeeisen 312.
Heben u. Richten d. Gleises 301.
Hebe- und Legekran 309.
Hebevorrichtungen 312.
Heindl, Schienenbefestigung 202.
Herstellung des Bettungskörpers 282.
— der Holzschwellen 150.
— des Oberbaues, Kosten 392.
— von Steinschlag 285.
Herstellungskosten des Langschwellenoberbaues 402.
— Lokalbahnoberbaues 403.
— des Querschwellenoberbaues für Hauptbahnen 402.
— des Schwellenschienenoberbaues 403.
Hilf, Langschwelle 74.
Hochofenschlacke, Bettung 249, 288.
Höhe der Bettung 255.
— der Breitfußschienen 123.
— des Schienenkopfes 120.
Hohenegger, Langschwellenoberbau 307.
Hohenegger, Spannplatte 187.
— Plättchen 213.
Höhenlage des Gleises 281.
Hohlliegende Schwellenmitte 29.
Holman, Gleislegeeinrichtung 309.
Hönigsberg, Fließbilder 320.
Holzarten für Schwellen 145, 346.
Holzmann & Co., Gleislegemaschine 309.
Holzkeil 195.
Holz- und Eisenschwellen, Vergleich 173, 396—399, 411, 413.
Holzschwellen 145.
— Abmessungen 146.
— Abstand 148.
— Dauer 160, 334, 337—347.
— Form 146.
— Herstellung 150.
— Kappen 151.
— Tränken 152.
— Vergleich mit Eisenschwellen 173, 396—399, 411, 413.
— Verhalten 160.
— Vorbohren 191.
— Zubereitung 150, 297, 339, 346.
Hope, Backenbrechmaschine 285.
Hurley, Verlegezug 310.

Jakobi, Schwellenschraubenschlüssel 313.
— Schwellenstopfmaschine 311.
Jebens, Laschen 233.
Instandhaltung der Bettung 384.
Internationale Schienenstatistik 353.
John, Gleismesser 314.
Irwinbohrer 300.

Kaiser, Gleisprüfungsapparat 314.
Kappen (Dexeln) der Holzschwellen 151, 297.
Kautschukringe 235.
Keilbefestigung auf Eisenschwellen 198.
— Holz 195.
— Stahl 196.
— der Stuhlschienen 188.
Keilförmige Unterlagsplatten 170, 198.
Keillasche 234.
Keilplättchen 213.
Keilplattenlasche 233.
Keilsicherung 196.
Keilverschlußklemme von Dorpmüller 212.

Kies, Abladen 291, 292.
— Beförderungswagen, Entladung 291, 292.
— Fluß- 249, 252, 288.
— Gewinnung 289.
— Gruben- 289.
Klammern, S- 151.
Kleinschlag (Steinschlag) 249.
— Herstellung 285.
Klemmplatten 197, 199, 202.
Klinken der Laschen 210.
— der Schienen 209.
Knaggen, Stütz- 198.
Kohn, Blattstoß 237.
— Bundmutter 215.
— Mutterstellkappe 205, 213.
— verstärkte Laschen 233.
Konstruktionsgrundlagen 82.
Kopflasche 235.
Kopf, Schienen- 116.
Kosten der Gleisteile 396—400.
— von Gleisen verschiedener Anordnung 393, 394.
— d. Herstellung d. Oberbaues 392.
— des Tränkens 159.
— der Unterhaltung und Erneuerung des Oberbaues 85, 404.
Kraft & Sohn, Schienenabnutzungsmesser 373.
Krempelplatte (Hakenplatte) 185—187.
Krempenplatte 197.
Kreuzhacke 311.
Krümmungen, Abnutzung der Schienen 119, 361.
— Legen d. Oberbaues 140, 304.
— Schutzschiene 102, 198, 272.
— Spurerweiterung 88, 305.
— Übergang 101, 279.
— Überhöhung 93, 306.
Kupfervitriol 153, 338.

Länge von Laschen, Einfluß 60, 230, 248.
— d. eisernen Querschwelle 168.
— der Schiene 138, 305.
— und Verteilung der Bogenschienen 305.
Langschwellenoberbau 74—78, 102.
— Berechnung 13.
— Vergleich mit Querschwellenoberbau 270.
— Verlegen 307.
Langschwellengleis 260.
Langschwellenschiene 76, 131.
Langschwellenstoß 222, 231.
Längs- u. Querentwässerung 259.
Längsverschiebungen des Gleises (Wandern) 208, 328, 386.
Laschen, Abnützung 232, 367.
Anlageflächen 120.
— mit Arbeitsleisten 233.
— Auflauf- 236.
— Beanspruchung 60, 246.
— Bearbeitung 229.
— Berechnung 50.
— besonderer Form 232.
— Doppelwinkel- 226.
— Einfluß der Spielräume 60.
— Einklinkungen 210.
— Flach- 224.
— Futterbleche 367, 388.
— Keil- 234.
— Keilplatten- 233.
— Kopf- 235.
— -Länge, Einfluß 60, 230, 248.
— Leistungsfähigkeit 245.
— nachstellbare 232.
— Querschnitt 164, 223.
— -Schiene 234.
— -Schrauben 229.
— Spielräume 60, 367.
— Verschleiß 232, 367.
— Verstärkung 233, 249, 367, 388.
— Winkel- 225.
— Wirkungsweise 50.
Lauffläche der Radreifen 117.
— der Schiene 116.
Legen des Oberbaues 296.
— — auf Brücken 303.
— — in Krümmungen 304.
— — auf Wegübergängen 304.
Leistungsfähigkeit d. Laschen 245.
— der Schienen 133, 136.
— der Schwellen 173, 176.
Lepier, Schienenbruchversicherungsklemme 389.
Literatur 68, 275, 416.
Lochen der Schiene 114.
— der eisernen Schwellen 171.
Lotrechte Belastung d. Gleises 8.
Lotrechte und wagerechte Bewegungen des Gleises im Betriebe 320.
Lotrechte Schienenstellung 118, 144.
Lücke, Stoß- 141, 288.

Mack, Schienenspritzvorrichtung 314.
Mader, Gleiskarren 309.
Massenverteilung der Breitfußschienen 122.
Marsdon, Backenbrechmaschine 285.
Mason & Co. Zwillingssteinbrecher 285.
Material der Bettung 249, 283.
— der Schienen 105, 354—357.
— der Schwellen 145, 173, 346.
Mehrtens, Spur- und Gleismesser 314.
Menne, Langschwelle 76.
Messungen der Gleisbewegungen 319.
— Geräte 313.
Michel, Beobachtungen am Gleis 325.
Mutter, Bund- 215.
— federnde 214.
— Sicherungen 213.
— Stellkappe 205, 213.
— Stift (Splint) 213.

Nachstellbare Laschen 232.
Nachstopfen und Verfüllen des Gleises 294, 302.
Nagel, Haken- 191.
— Schienen- 189.
— Stuhl- 189, 191.
Nageln und Festschrauben der Schienen 300.
Nagel-Erneuerung 388.
— -klaue 312.
— -zangen 312.
Neigung, Maß 314.
— der Schienen 87, 143.
— b. eisernen Querschwellen 168.
— d. Übergangsrampen 101, 281.
— Wechsel 279.
Neumann, Kopflasche 235.
Nivelleur 301, 312.

Oberbau, siehe auch Gleis.
— Arbeiten, Bedeutung 276.
— Arten, Verbreitung 105.
— — Vergleich 255, 261, 270.
— — verschiedene 102.
— Begriff 82.
— Berechnung, Grundlagen und Ziele 1.
— auf Brücken 272, 303.
— Erneuerungskosten 404—411.
— Geräte 308—314.
— Haltbarkeit 85.
— Herstellungskosten 392, 402, 403.

Oberbau, Legen auf eisernen Brücken, 303.
— Rücklageberechnung 415.
— Schwellenschienen- 79.
— Systeme 102.
— — ein- und dreiteilige 79, 80.
— Teile 4, 82.
— — Beförderung auf die Strecke 294.
— — Wirkungsweise 4,82.
— Tragfähigkeit 82.
— Unterhaltung 317.
— — im allgemeinen 374.
— — Arten 375, 378.
— — Kosten 85, 404—411.
— Verhalten 160, 255, 317.
— Verlegen 296.
— Verstärkung 125, 134, 150, 233, 258, 269, 391.
— auf Wegübergängen 140, 205, 258, 304.
— Werkzeuge 308—314.
— Widerstandsfähigkeit 85.
Oberflächenentwässerung 254, 259,
Obermayer, Gleislehre 314.

Packlage 252, 293.
Photographische Aufnahme der Gleisbewegungen 321, 322.
Pilzschienen 71.
Platte, Guß- 181.
— Haken- 200.
— keilförmige Unterlags- 170, 199.
— Krempel- 185—187.
— Krempen- 197.
— Spann- 187, 197.
— Stuhl- 187, 196.
— Unterlags- 182.
— — mit Rippen 184.
Plättchen, Hoheneggersche 213.
— Keil- 213.
— Klemm- 197, 199, 202.
— Spur- 203.
Pollitzer, Bahnmeisterstock 314.
— Schienenabnutzungsmesser 372.
— Schraubenhebevorrichtung 312.
Prüfung d. Gleislage, Geräte 313.

Quecksilbersublimat 153, 338.
Querschnitt, Ätzung 354, 356.
Querschnittsform der Breitfußschienen 122.
— d. eisernen Querschwellen 164.
— der Holzschwellen 146.
Querschwellen, Berechnung 27.
Querschwellen, eiserne, Endverschlüsse 171.
— — Länge 168.
— — Querschnittsform 164.
— — Senkung 253.
— — Vergleich mit Holzschwellen 173.
— — Verlegen 296.
— -Oberbau 102.
— — mit Holzschwellen 145.
— —Vergleich m. Langschwellenoberbau 270.

Raddruck 60, 86.
— Einfluß auf die Schienendauer 359.
Radlenker, (Streichschienen) 102, 198, 272.
Radreifen 86, 117.
— Form der Lauffläche, Einfluß auf die Schienendauer 360, 361.
— Stoff, Einfluß auf die Schienendauer 360.
Rail-Unloader 295, 309.
Ramsbottan, Schwellenbohr- und Dexelmaschine 310.
Rechnungslegung f. Oberbau 415.
Rheinische Klemmplattenbefestigung 199.
Reißen der Schwellen 151, 339.
Richten des Gleises 301.
Richtscheit und Wasserwage 306, 314.
Richtung des Gleises 281.
Ringe, Feder- 214.
Rippenschwelle 168.
Rostbildung an Gleisen 130, 331.
Rothermel, Schienenheber 312.
Roth & Schülers Spurplatten 203.
— Laschen 234.
Rudeloff, Prüfung der Bettung 284.
Ruhender Halbstoß 240.
— Stoß 215.
Rücklageberechnung f. Oberbau 415.
Rüppell, Beobachtungen a. Gleis 324.
— Blattstoß 237.

Sarre, Schwellenteilung 269.
Sattelstück 205.
Schaufel 311.
Scheidt & Bachmann, Schienenumrißmesser 374.
Scherenberg, Spur- u. Überhöhungsmesser 314.
Schiene, Abnahme 115, 356.
— Abnutzung 112, 119, 350.
— — Meßvorrichtungen 372, 373, 374.
— Ausgleich 140, 305.
— Auslegen 298.
— Beanspruchung b. Querschwellenoberbau 45, 136, 176, 266, 267.
— Befestigung auf Eisenunterlagen 198, 207.
— — Heindlsche 202.
— — a. Holzschwellen 182.
— — a. Langschwellen 198, 206.
— — Rheinische 199.
— — Roth & Schülersche 203.
— — a. Steinunterlagen 181.
— — a. Stühlen 195, 206.
— — Vautherinsche 198.
— — verstellbare f. Holzschwellen 186, 187, 195, 196, 346.
— — in Wegübergängen 205.
— Befestigungsmittel, Abnutzung 350, 367
— Erneuerung 388.
— Berechnung bei Langschwellenoberbau 13.
— — bei Querschwellenoberbau, genäherte 43.
— — — genauere 35.
— Biegen 304.
— Biegmaschinen 311.
— Breitfuß- 73, 104, 122.
— Brüche 363—367.
— Bullenkopf- 72, 132.
— Dauer 112, 350, 354, 368.
— Doppelkopf- 72, 132.
— Drehung um d Längsachse 327.
— Druck auf die Unterlagen 47, 176, 335.
— Durchbiegung 48, 135, 136.
— Einklinkung 209.
— Erneuerung 388.
— — Paßstücke 390.
— Festigkeitsanforderungen 107, 355.
— Festschrauben und Nageln 300.
— Fischbauch- 71.
— Form 70, 116.
— Fuß 122.
— Gewicht 139.
— Gütewertziffer 135.
— Hartwich- 79.
— Heber 309.
— Herstellung 106.

Schiene, Kopf 116.
— — Breite und Höhe 120.
— — Laschenanlage 120.
— — Lauffläche 117.
— — Übergang zum Steg 120.
— Kürzung 140, 391.
— Länge 138, 305.
— für Langschwellenoberbau 76, 131.
— Laschen- 234.
— Laschenberechnung 50.
— Laschen, Wirkungsweise 50.
— Leistungsfähigkeit 133.
— Lochen 114.
— Material 105, 354—357.
— Nagel 189.
— Nagel, Haftfestigkeit 191.
— Neigung 87, 143.
— — bei eisernen Querschwellen- 168.
— Querschnitt 116, 122.
— Rücker 313, 386.
— Schneidemaschine 311.
— Senkung 48, 135, 136, 253, 267.
— Statistik 352—356.
— Stoff 105, 354—357.
— Stoß 215.
— — Dreischwellen- 218.
— — auf Langschwellen 220.
— — ruhender 215.
— — schräger 237.
— — schwebender 216.
— Streich- 102, 198, 272.
— -Stuhl 71, 188.
— Stuhl- 71, 104, 131.
— Traggabel 309.
— Tragzange 295, 309.
— Überblattung 236.
— Überhöhung 93.
— — Ausführung 306.
— Unterlagen, Berechnung 8.
— Wirkungsweise 5.
— Verbindungsmittel, Abnutzung 367.
— Verladung 294.
— Verlaschung, Vervollst. 302.
— — vorläufige 298.
— Verstärkung 125, 134, 264.
— Walzen 107, 140.
— Wechselsteg- 239.
— in Wegübergängen 140.
— Winkel- 70.
— Wirkungsweise 4.
— Zurechtrücken 298.
— Zurichtung 113.
Schilling, Schienenumrißmesser 374.
— Schraubenschlüssel 313.
Schlägel 312.
Schlaghammer 301, 312.
Schotter, siehe Bettung.
Schotterschlägel 285, 311.
Schrabetz, Schienenkrümmer 304.
Schrauben, Haken- 199.
— Holz- 193.
— Laschen- 229.
— Muttern, Lockerung 212.
— — Sicherung 213.
— Schlüssel 301, 313.
— Schwellen- 193.
— — Sicherungen 212.
Schubert, Hobelmaschine 310.
— Querschwelle 167, 173.
Schubert & Hattemer, Schienenabnutzungsmesser 373.
Schutzschiene 102, 198, 272.
Schwebender Stoß 215.
Schweißeisen 105.
Schweißstahl 105.
Schwelle, Abnutzung 334.
— Abstand 35, 40, 148, 176.
— Auslegen 297.
— Beanspruchung 175, 176.
— Bohrer 310.
— Bohrmaschine 300.
— Bohr- und Dexelmaschine 310.
— Dauer 160, 334, 337—347.
— — bei Tränkung 160, 340.
— Einteilungsmaß 313.
— Eisen- 164.
— Erneuerung 387.
— Gewicht eiserner 173, 176.
— — hölzerner 148, 176.
— Holzarten 145, 346.
— Holz- 145.
— Kappen (Dexeln) 297.
— Kapplehre 313.
— Länge 168.
— Leistungsfähigkeit 173, 176.
— Lochen eiserner 171.
— Querschnitt 147, 164.
— -Schienenoberbau 79, 80, 207.
— — Vergleich mit Quer- und Langschwellen 270.
— — Verlegen 307.
— -Schrauben 193.
— — Erneuerung 388.
— — Schlüssel 313.
— Senkung 48, 135, 136, 176, 253, 327.
— Stopfen 301.
Schwelle, Stopfvorrichtungen 311.
— Tränkung 152, 338, 339.
— Verdübelung 194, 346.
— Vorbohren 191, 300, 346.
— Zahl 150, 165.
Seitenkräfte 61, 84, 124, 335.
Senkung des Gleises 387.
— der Schiene und Schwelle 48. 135, 136, 253,267, 323, 328.
Sicherung der Schrauben 212.
Siebel, Gleiskarren 309.
Simson, Doppelsteinbrechmaschine 285.
Smith, Schienensäge 113.
Spannplatte 181, 197.
Spielräume in den Laschenanlagen, Einfluß 60, 248.
Spitzhaue 311.
Spur, Berichtigung 385.
— Bolzen 204.
— Erweiterung 88, 305.
— — Ausführung 305.
— Halter 197.
— Herstellung 196.
— Knaggen 197.
— Kranz 70.
— Lehre 305, 314.
— Maße 314.
— Plättchen 203.
— Rand 69.
— Richter 313, 385.
— Sicherung 196.
— Stangen 197.
— Weite 87.
Stahl, Fluß- und Schweiß- 105.
— -Keil 195.
Starkstoßoberbau 167, 201, 244.
Statistik der Schienendauer 352, 353, 354.
Steinbrechmaschinen 285.
Steinhammer 285, 311.
Steinschlag 249, 252.
— Herstellung 285.
Steinunterlagen 144, 178.
Stemmlaschen 211, 298, 330.
Stemmwinkel 211.
Stellkappe für Muttern 205, 213.
Sternberg, Fahrrad mit Gleismesser 314.
Stopfhacke 302, 311.
Stopfstange 302, 311.
Stoß, Anordnung 219.
— Ausrüstung 223.
— Blatt- 234, 236.
— -Bleche 298, 313.
— -Brücke 240.

Stoß, Dreischwellen- 218.
— Fangschiene 234.
— Gleich- 222.
— Lage 215.
— Langschwellen- 231.
— Laschen 216, 223.
— Leistungsfähigkeit 245.
— Lücke 299.
— Lückeneisen 299, 313.
— ruhender 215.
— schräger 273.
— schwebender 215.
— Stark- 244.
— stumpfer 237.
— Teilung 219.
— Verstärkung 220, 249.
— Wechsel- 222.
Streckenvorstand 377.
Streckenwärter 375.
Streichschiene 102, 198, 272.
Stremmatograph 320.
Stuhl, -Nagel 189, 191.
— Platte 187, 196.
— Schiene 71, 104, 131, 261.
— Schienen- 171, 188.
Stützknaggen 198.
Stumpfstoß 234.
Susemihl, Gleismesser 314.

Teeröl, karbolsäurehaltiges 155, 338, 339.
Teile des Gleises 4, 82.
Terstegge, Schienenbohrvorrichtung 310.
Ton, Bettung aus gebranntem 291.
Tragfähigkeit des Oberbaues 82.
Traggabel 309.
Tragzange 295, 309.
Tränken der Schwellen 152, 338.
— — Einfluß 157.
— — Kosten 159.
— — mit Kupfervitriol 153, 338.
— — mit Quecksilbersublimat 153, 338.
— — mit karbolsäurehaltigem Teeröl 155, 338, 339.
— — mit Zinkchlorid 154, 156, 338.
Tränkungsverfahren 153, 157.
Trochitomograph 374.
Tunnelschiene 130, 140, 332.

Überblattung der Schiene 236.
Übergang vom Kopf zum Steg 120.
Übergangsbogen 279—281.
Überhöhung 93.
— Ausführung 306.
Überhöhung, günstigste 100.
— Meßvorrichtungen 314.
— Rampen 101, 306.
Übersicht der Bezeichnungen für die Berechnung 67.
Überwachung des Gleiszustandes 375.
Ulbricht und Stieberitz, Schienenabnutzungsmesser 374.
Umbau eines Gleises 307, 389.
Universal-Egalisator 312.
Unterhaltung des Oberbaues 317.
— Allgemeines 374.
— Arbeiten im einzelnen 381.
— Arten 375, 378.
— Kosten 86, 401, 402, 404—414.
— — für Querschwellen 413.
— — für Langschwellen 414.
— — für Stuhlschienen 414.
— — für Schwellenschienen 414.
— Kostenveranschlagung 379.
Unterlagen, Druck der Schienen auf dieselben 47, 176, 335.
— Schienen- 8, 77.
— Einzel- 178.
Unterlagsplatten s. auch Platten 168, 182, 195, 196.
— Auslegen 297.
Unterlagscheiben 214.
Unterstopfen der Schwellen 301.
Unterstützungen, Einzel- 178.
Untersuchung des Gleises 378.
Unterschwellung, Verstärkung 264.

Vautherin, Befestigung 198.
— Schwelle 198.
Veränderungen der Bettung während des Betriebes 333.
Veranschlagung der jährlichen Unterhaltungskosten 379.
Verbreitung d. Oberbauarten 105.
Verding der Gleisunterhaltung 382.
Verfüllen des Gleises 302.
Vergleich zwischen Breitfuß- und Stuhlschienen 133, 261.
— zwischen Langschwellen- und Querschwellengleis 270.
— zwischen Eisen- und Holzschwellen 173.
— die Unterhaltungskosten für Oberbau mit eisernen und mit Holzquerschwellen 411, 413.
Vergrößerung der Schwellenzahl 150.
Verhalten des Oberbaues während des Betriebes 317.
Verlegen von Arbeitsgleisen 306.
— v. Langschwellenoberbau 307.
— des Oberbaues 296.
— v. Querschwellenoberbau 296.
— v. Schwellenschienenoberbau 307.
Verlegezüge 309.
Vermehrung der Schwellen 150, 258.
Verschiebung des Gleises in der Längsrichtung (Wandern) 208, 328, 386.
Verstärkung der Gleise bei erhöhter Beanspruchung 125, 134, 150, 233, 249, 258, 264, 269, 391.
— der Laschen 233, 249, 367, 388.
— des Oberbaues 125, 134, 150, 233, 249, 258, 269, 391.
— der Schienen 125, 134, 264.
— des Stoßes 233, 249, 269.
Verstellbare Schienenbefestigung für Holzschwellen 186, 187, 195, 196, 346.
Verteilung des Bettungsstoffes 291.
Vervollständigung der Schienenverlaschung 302.
Vogel-Noot, Nagelzange 312.
Vojaček, Dreirollenbiegmaschine 304, 311.
— Gleishebevorrichtung 312.
Verdübeln der Schwellen 194, 346.
Vorbohren der Schwellen 191, 300, 346.
Vorläufige Verlaschung der Schienen 298.
Vorrichtungen zum Messen der Schienenabnutzung 372—374.
— zum Prüfen des Gleiszustandes im Bahnunterhaltungsdienste 314.

Wagerechte Belastung 61.
— Gleisbewegungen 320.
— Kräfte 9.
Wagner, Schienensäge 311.
Walzenbrechmaschine 285.
Walzen der Schienen 107, 140.
Wandern des Gleises 208, 328, 386.
— Mittel dagegen 208, 330.
Ware Henry, pneumatischer Schienenablader 309.

Wärmelücke 138, 298.
Wasiutynski, photogr. Aufnahme der Gleisbewegungen 322.
Weber, Beobachtungen am Gleis 323.
Wechselstegschiene 239.
Wechselstoß 222.
Wegener & Longmann, Schienenbohrmaschine 310.
Wegübergänge, Bettung 258.
— Oberbau auf solchen 140, 205, 258, 304.
— Schienenbefestigung 205.
Werkzeuge und Geräte für das Bearbeiten und Zurichten der Oberbauteile 310.
— für die Beförderung der Oberbauteile 309.
Werkzeuge und Geräte für die Herstellung und Unterhaltung des Oberbaues 311.
Werkzeuge, Oberbau- 308—314.
Westmayer, Gleishebebock 301, 312.
Winkellaschen 225.
— Doppel- 226.
Winkelschiene 70.
Wiriot, Verlegewagen 310.
Wirkungsweise der Bettung 6, 83, 255.
— der Laschen 50, 245.
— der Oberbauteile 4, 82.
— der Schienen 4, 82.
— der Unterlagen 5, 82.
Wirtschaftlichkeit 85, 94.
Witterung, Einfluß auf das Verhalten des Oberbaues 330, 387.
Wuchtebaum 301, 312.
Wurfgitter 311.

Zangenhebebock von Ader 312.
Ziel der Oberbauberechnung 1.
Zimmermann, Keilplattenlasche 233.
Zimmermann & Buchloh, Schienenenabnutzungsmesser 373.
Zinkchlorid 154, 156, 338.
Zubereitung der Holzschwellen 150, 297, 339, 346.
Zuggeschwindigkeiten 99.
Zurechtrücken der Schienen 298.
Zurichtung der Holzschwellen 150.
— der Schienen 113.

Berichtigungen.

Seite 3, Zeile 7 v. u. lies II. Kapitel statt IV. Kapitel.
» 4, » 1 » » Häntzschel » Häntschel.
» 7, » 17 » » Häntzschel » Häntzchel.
» 24, » 7 » u. ff. lies überall μ_{ξ} statt $\mu\xi$ und μ_{ξ}' statt $\mu\xi'$.
» 25, » 5 v. o. schalte hinter »erhält« ein: »wenn jetzt die Länge des Stabes mit $2l$ bezeichnet wird«.
» 32, » 13 v. u. lies Clapeyronschen statt Clapeyrenschen.
» 150, Fußanmerkung 88 lies Herzenstein statt Hertzenstein.
» 274, Zeile 1 v. o. lies § 46 statt § 48.
» 346, » 7 » » Rudeloff statt Rudloff.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Oberbau-Werkzeuge und Geräte.

(Zu § 6 des V. Kapitels.)

Abb. 2a u. 2b. Schienenheber. M. 1:40.

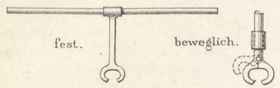


Abb. 3a u. 3b. Schienentraggabel. M. 1:40.

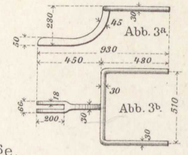


Abb. 4a u. 4b. Dexelhacke. M. 1:20.

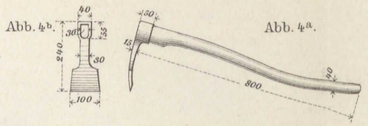


Abb. 1.
Schienentragzange.

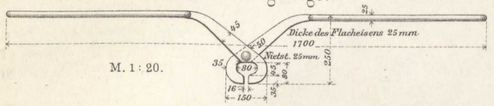


Abb. 23a bis 23f. Schienenrücker von Bauer. M. 1:10.

Abb. 23b. Seitenansicht.

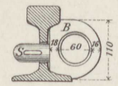


Abb. 23a. Vorderansicht.

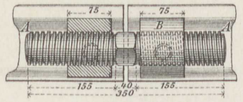


Abb. 23c. Keil.

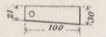


Abb. 23e u. 23f. Schlüssel.

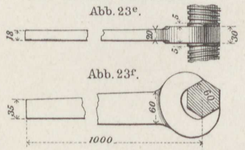


Abb. 19a u. 19b. Geissfuss. M. 1:10.

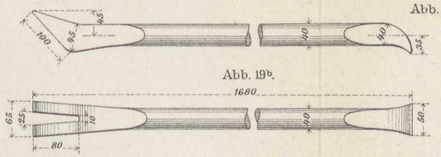


Abb. 18a u. 18b. Durchschlaghammer. M. 1:10.

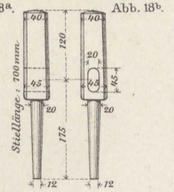


Abb. 26a u. 26b. Dexellehre. M. 1:20.

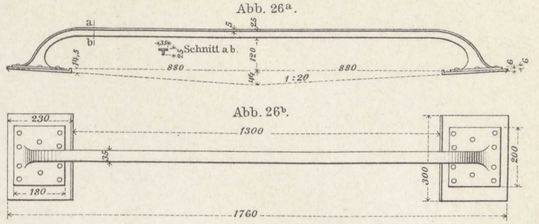


Abb. 13a u. 13b. Eiserne Stopfstange. M. 1:8.
Gewicht 5 bis 6 Kg.

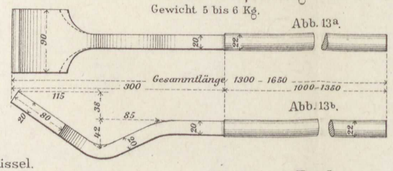


Abb. 20a u. 20b.
Vogel-Noot'sche Patent-Nagelzange. M. 1:20.

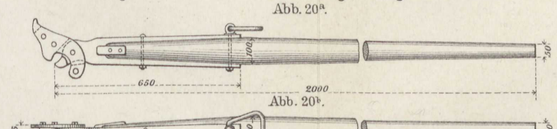


Abb. 27a u. 27b. Feste Spurlehre. M. 1:10.

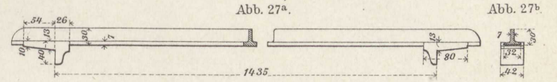


Abb. 5a bis 5f. Schwellenbohrer. M. 1:10.

Abb. 5e u. 5f. Einsatzbohrer.

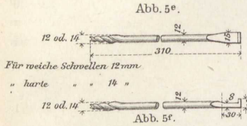


Abb. 5a bis 5d. Bohrstange sammt Schlüssel.

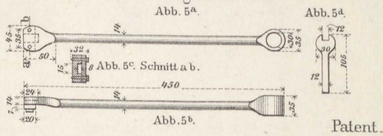


Abb. 25a u. 25b. Bandeisen zum Verteilen der Schwellen. M. 1:160.

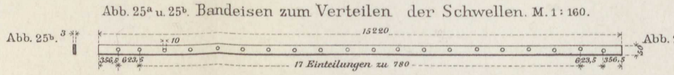


Abb. 14a u. 14b. Hebebaum. M. 1:20.

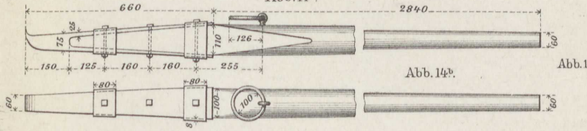


Abb. 10a u. 10b.
Einfache Stopfhaue.

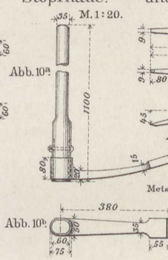


Abb. 11a bis 11c.
Stopf- und Spitzhaue. M. 1:20.

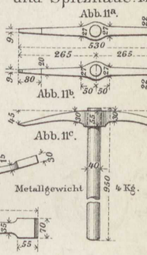


Abb. 8a u. 8b.
Steinhammer.

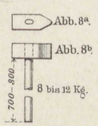


Abb. 9a u. 9b.
Schotterschlägel.

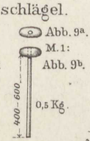


Abb. 29a bis 29f. Verschiebbare Spurlehre. M. 1:10.

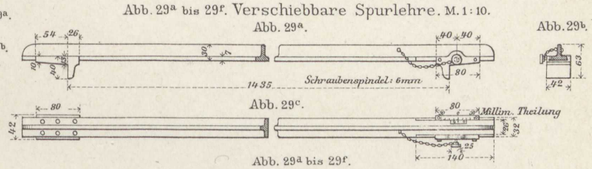


Abb. 24a bis 24g. Schienenrichter mit selbstthätigem Spurmafs.
System Altmann. M. 1:10.
(Normale Spurweite 1,435 Meter).

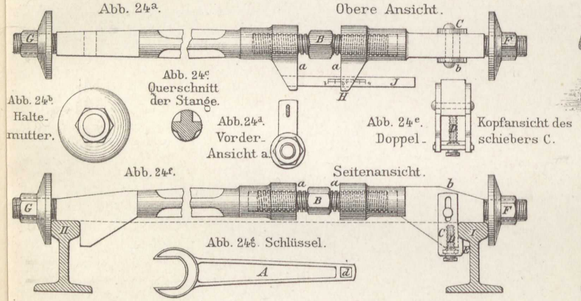
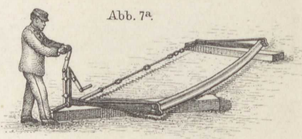


Abb. 7a bis 7c.
Patent-Schienenbiegemaschine
von E. Schrabetz.



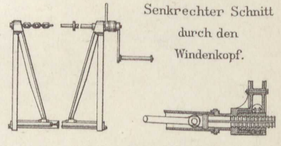


Abb. 15a bis 15c.
Gleishebewinde
der französischen Ostbahn.

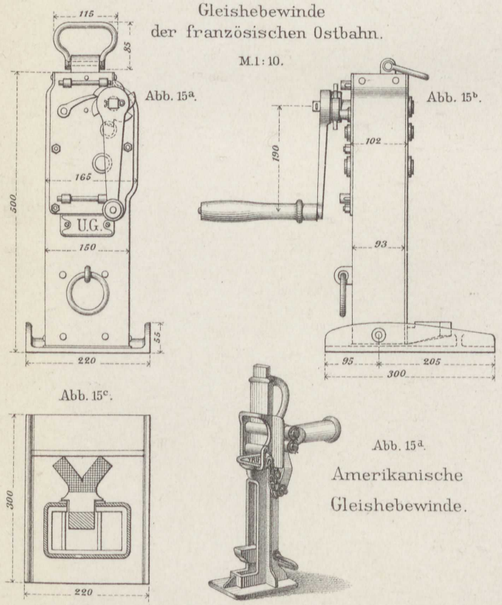


Abb. 21a u. 21b.
Laschen-Schraubenschlüssel.

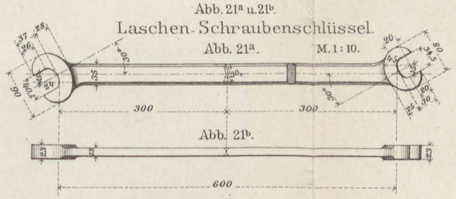


Abb. 17a u. 17b.
Setzhammer. M. 1:10.

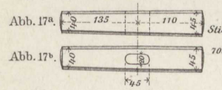


Abb. 30.
Überhöhungsmafs. M. 1:50.

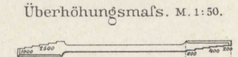
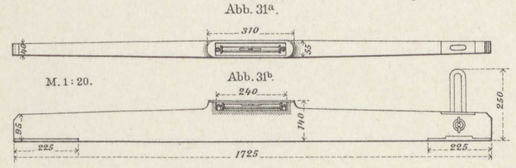
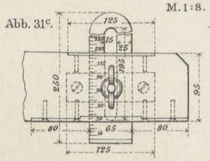


Abb. 31a bis 31d. Richtscheit mit Wasserwage.





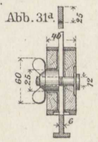


Abb. 22a bis 22d.
Schwellenschrauben-Schlüssel. M. 1:20.

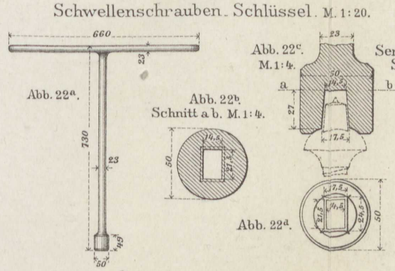


Abb. 32a u. 32b. Stofslückeneisen. M. 1:2.

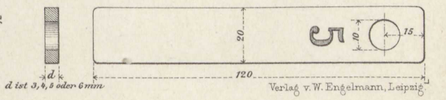


Abb. 16a u. 16b.
Schlaghammer,
4,5 Kg. M. 1:10.

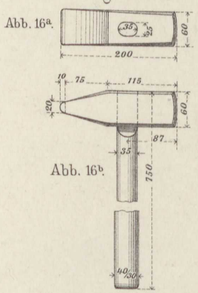


Abb. 15d.
Amerikanische
Gleishebewinde.

Abb. 6a bis 6f. Bohrapparat. M. 1:10.

Abb. 6c. Bohrrätsche.

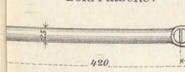


Abb. 6d. Herzbohrer.

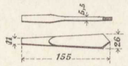


Abb. 6e. Centrumbohrer.

Abb. 6f. Körner.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Verlag v. W. Engelmann, Leipzig.

Biblioteka Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie

Schaubilder der Einsenkungen der Schienenenden der Stofsschwellen und des Pflockes, bei Befahren des Stofses durch einen Zug.

(Zu §7 des V. Kapitels).

Abb. 1.

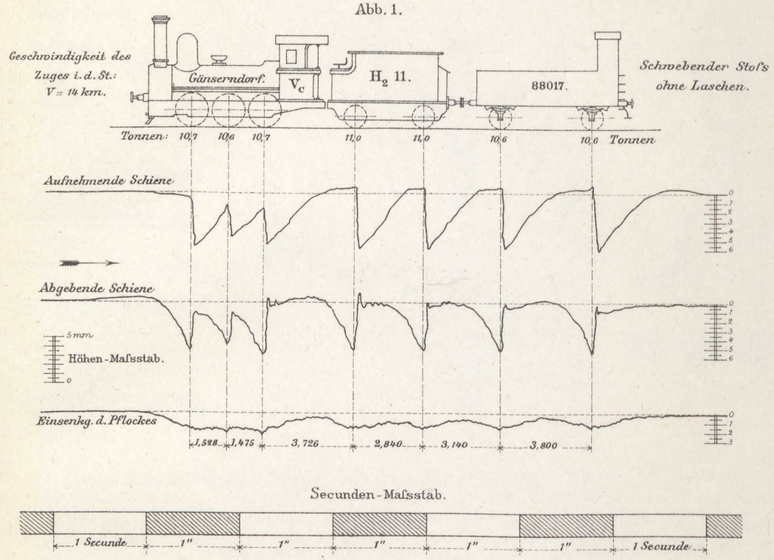


Abb. 2.

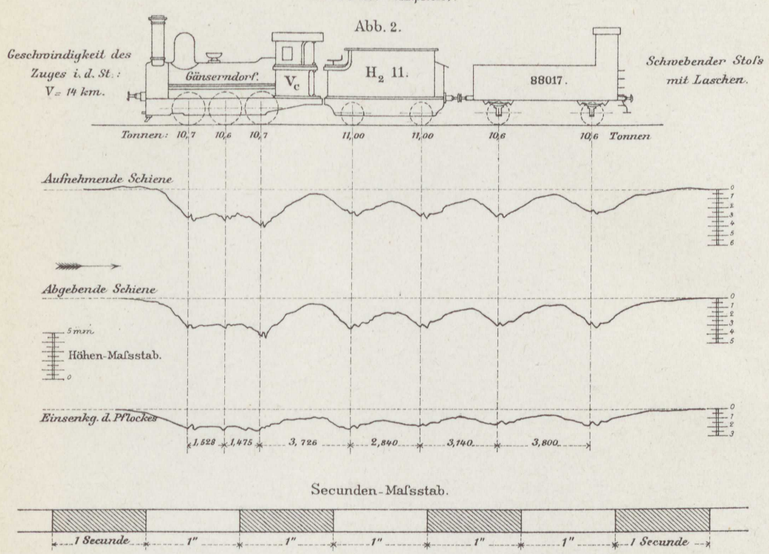


Abb. 3.

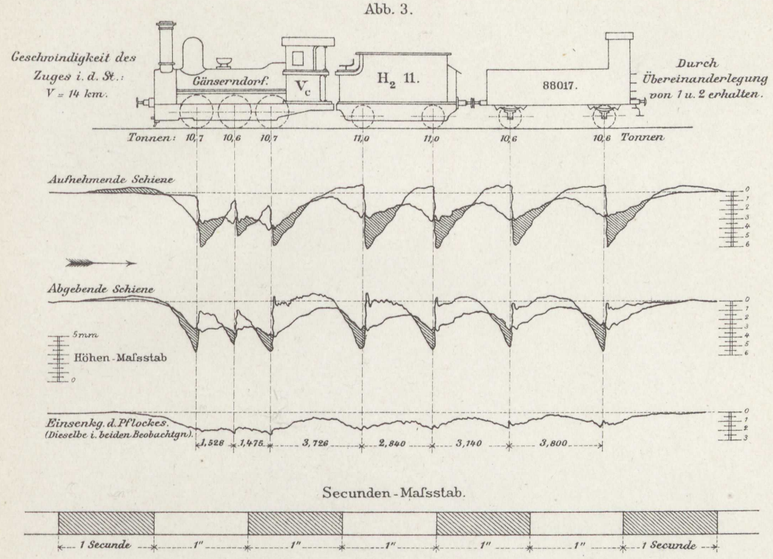


Abb. 4.

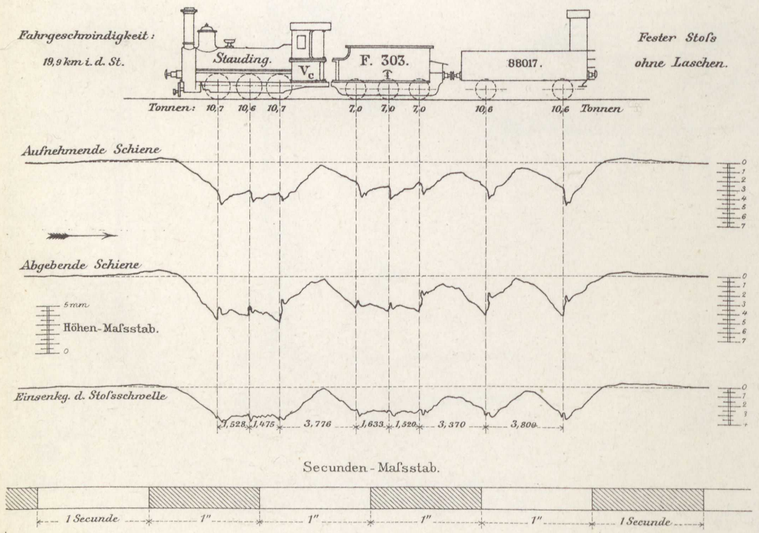


Abb. 5.

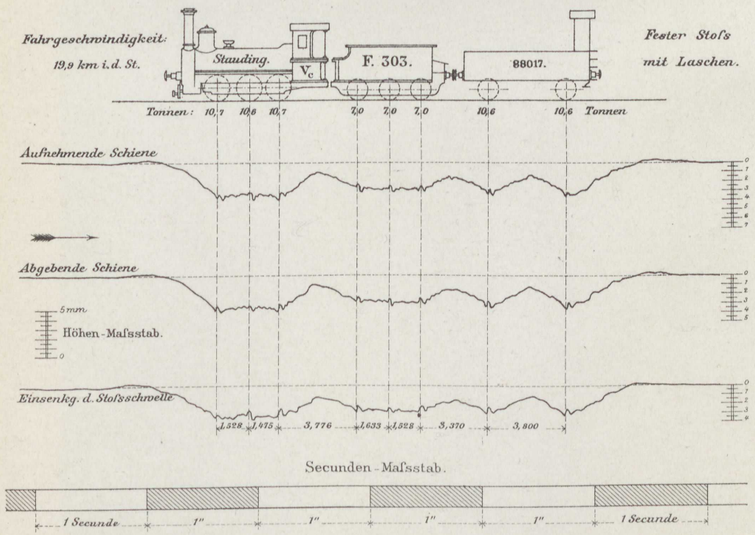
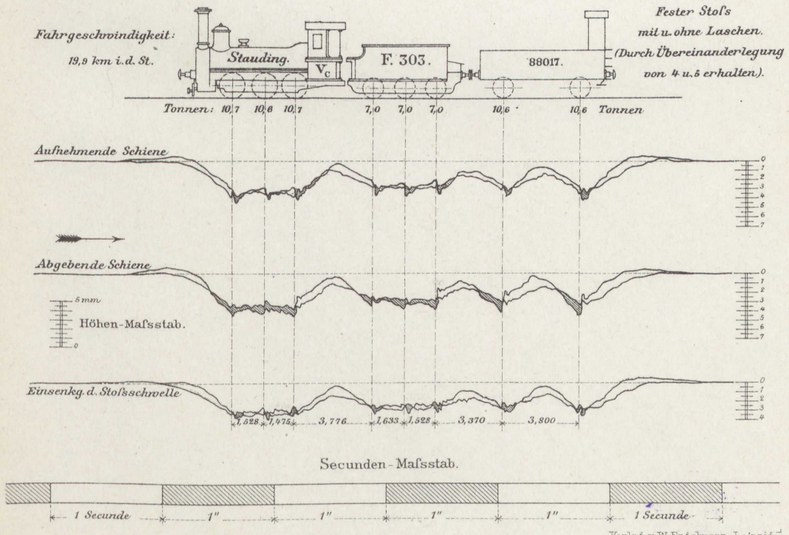


Abb. 6.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Verlag v. W. Engelmann, Leipzig.

Biblioteka Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie

Vorrichtungen zum Messen der Schienenabnutzung.

(Zu § 10 des V. Kapitels.)

Abb. 1.

Vorrichtung von Bischoff. M. 1 : 4.

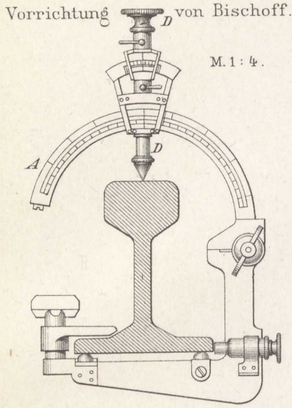


Abb. 2ª bis 2ª. Vorrichtung von Hattemer. M. 1 : 4.

Abb. 2ª.

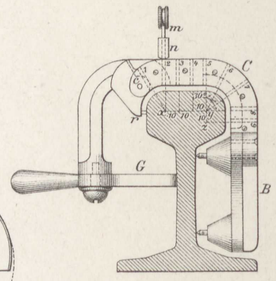


Abb. 2ᵇ.

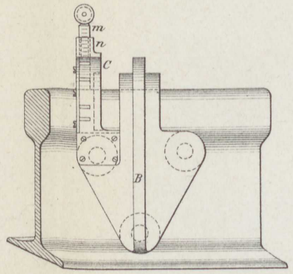


Abb. 2ᶜ.



Abb. 2ª.

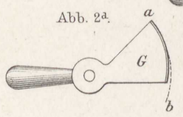
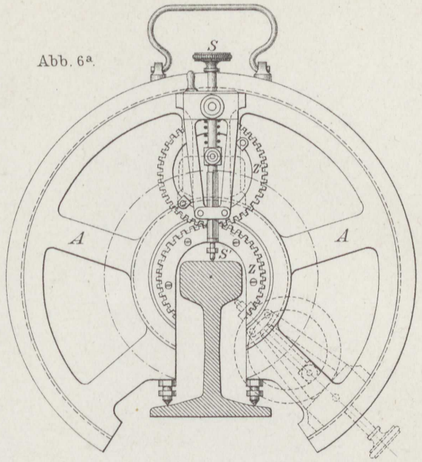


Abb. 6ª bis 6ᶜ. Vorrichtung von Brüggemann. M. 3 : 14.

Abb. 6ª.



Längenschnitt. Seitenansicht.

Abb. 6ᵇ.

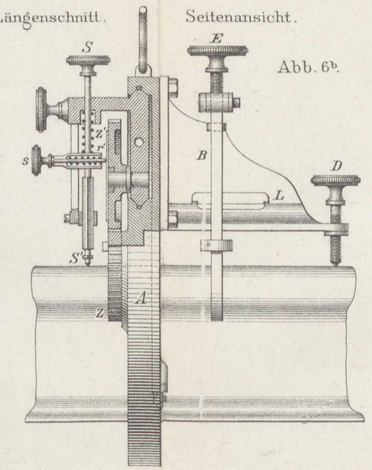


Abb. 3ª u. 3ᵇ. Vorrichtung von Zimmermann. M. 7 : 20.

Abb. 3ª.

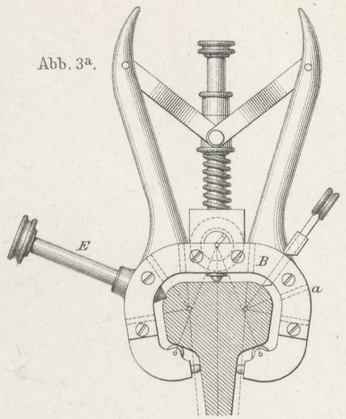


Abb. 3ᵇ.

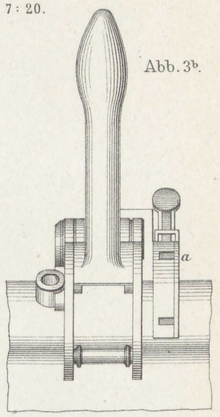


Abb. 4ª bis 4ᶜ.

Vorrichtung von Kraft. M. 1 : 4.

Abb. 4ª.

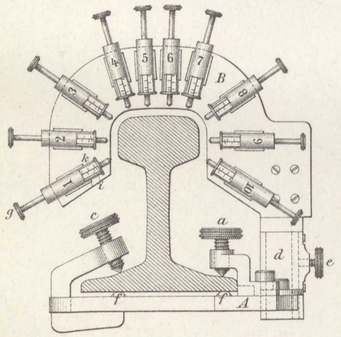


Abb. 4ᵇ.

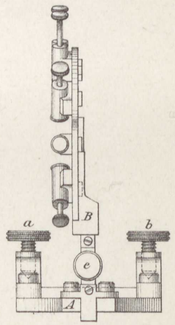


Abb. 4ᶜ.

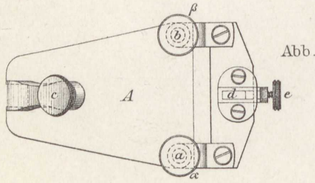


Abb. 5.

Vorrichtung der Badischen Staats-Eisenbahn.

M. 3 : 13.

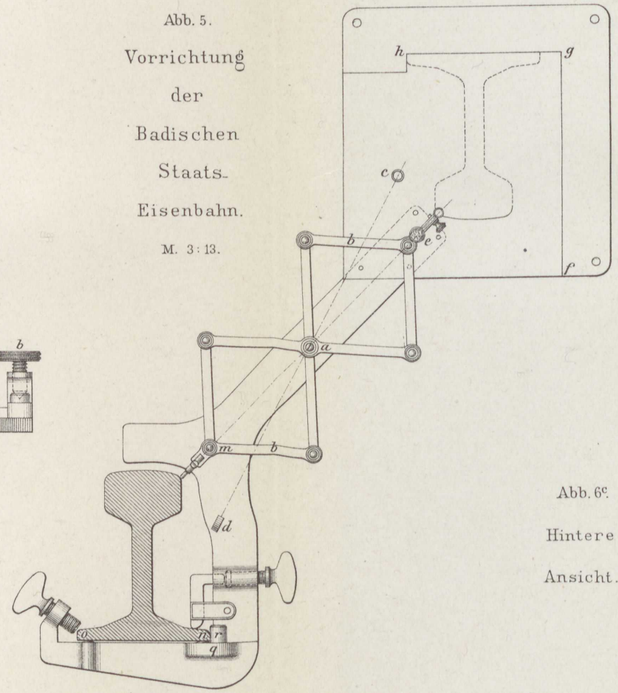


Abb. 6ᶜ.

Hintere Ansicht.

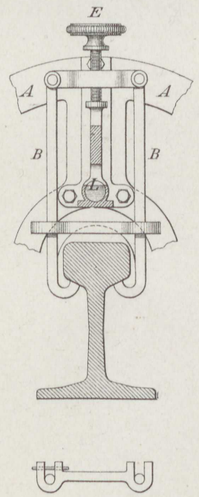


Abb. 7ª bis 7ª. Vorrichtung von Schilling. M. 3 : 14.

Abb. 7ª. Ansicht.

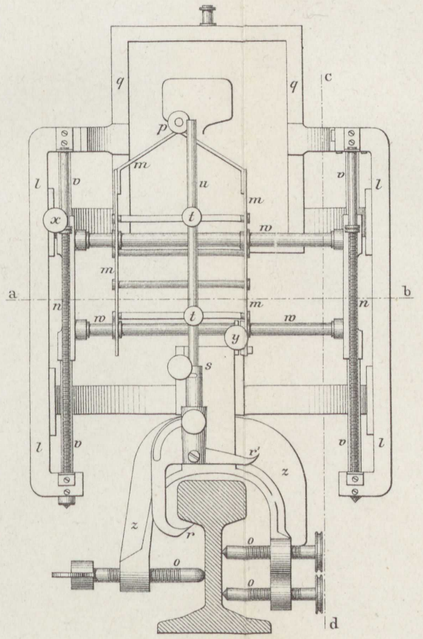


Abb. 7ᵇ. Querschnitt nach c d.

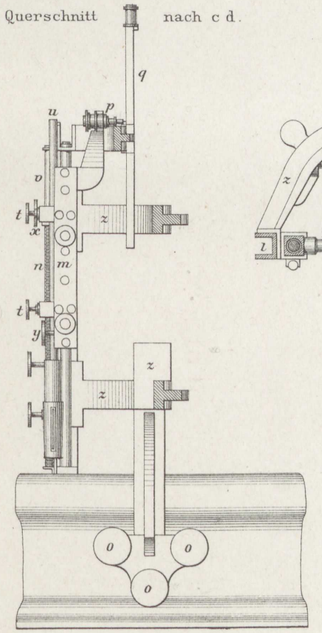
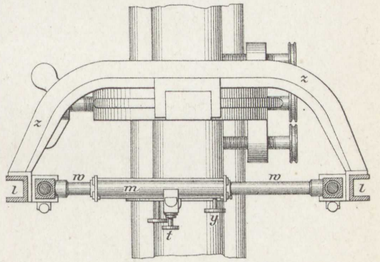


Abb. 7ᶜ. Grundrifs nach a b.



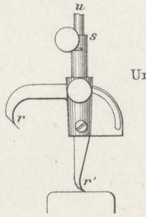


Abb. 7ª. Umgelegte Spitze.

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

Verlag v. W. Engelmann, Leipzig.

Biblioteka Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie

Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ-III.901/2
300-000901-02-0