

HANDBUCH
DER
INGENIEURWISSENSCHAFTEN

in fünf Teilen.

Fünfter Teil:

Der Eisenbahnbau.

Ausgenommen Vorarbeiten, Unterbau und Tunnelbau.

Herausgegeben

von

F. Loewe und Dr. H. Zimmermann.

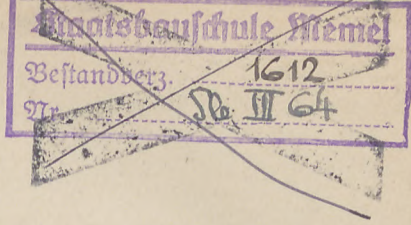
Erster Band.

Zweite, vermehrte Auflage.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1908.



DER
EISENBAHNBAU.

Ausgenommen Vorarbeiten, Unterbau und Tunnelbau.

V. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften.

Erster Band:

Einleitung und Allgemeines. Bahn und Fahrzeug
im allgemeinen.

Bearbeitet von

Alfred Birk,

herausgegeben von

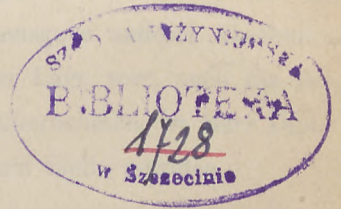
F. Loewe

K. Geh. Hofrat, Ord. Professor
an der Technischen Hochschule
zu München

und

Dr. H. Zimmermann

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



Zweite, vermehrte Auflage.

Mit 125 Abbildungen im Text sowie ausführlichem Namen- und Sachverzeichnis.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1908.

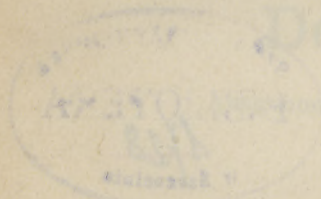


625.1



Q-III. 902/1

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten.



Dr. H. Zimmermann

K. Loewe



Vorwort.

Von den beiden Kapiteln, die den ersten nun in zweiter Auflage vorliegenden Band bilden, war das zweite Kapitel in erster Auflage von Herrn Professor Kreuter in München bearbeitet worden. Nachdem derselbe wegen starker Berufsbelastung und ausgedehnter Tätigkeit bei der Bearbeitung und Herausgabe anderer Abschnitte des Handbuches der Ingenieurwissenschaften nicht in der Lage war, auch die Bearbeitung des zweiten Kapitels in der neuen Auflage zu übernehmen, ist Herr Dipl.-Ing. Prof. Birk in Prag in dankenswerter Weise an dessen Stelle getreten.

München und Berlin, im April 1908.

Die Herausgeber.

Inhaltsverzeichnis.

Fünfter Band.

I. Kapitel.

Einleitung, Geschichtliches über Eisenbahnen, Einteilung derselben.

Bearbeitet von Dipl. Ing. Alfred Birk, Professor.

(Mit 22 Textabbildungen.)

	Seite
§ 1. Begriff der Eisenbahn	1
§ 2. Verhältnis der Eisenbahnen zu den Land- und Wasserstraßen	2
§ 3. Schnelligkeit und Billigkeit des Eisenbahnverkehrs	6
§ 4. Pünktlichkeit und Sicherheit, Massenleistung und Güte des Eisenbahnverkehrs	9
§ 5. Wirkungen der durch die Eisenbahnen herbeigeführten Transportvervollkommnung	12
§ 6. Wirkungen der Eisenbahnen. Fortsetzung	16
§ 7. Geschichtliche Entwicklung der Spurbahnen	20
§ 8. Geschichtliche Entwicklung der Dampffuhrwerke	23
§ 9. Entwicklung und Ausbildung der Eisenbahnen in Europa	27
§ 10. Entwicklung und Ausbreitung der Eisenbahnen. Fortsetzung	33
§ 11. Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen	39
§ 12. Einteilung der Eisenbahnen in verschiedenen Ländern	44
§ 13. Verschiedene Standpunkte bei Einteilung der Eisenbahnen	45
§ 14. Einteilung der Eisenbahnen nach der größten zulässigen Fahrgeschwindigkeit	48
§ 15. Einteilung der Eisenbahnen in Rücksicht auf die Bodenverhältnisse	49
§ 16. Einteilung der Eisenbahnen in Rücksicht auf ihre Bauweise: Spurweite, Anzahl der Gleise, Lage des Planums, besondere bauliche Anordnungen	54
§ 17. Einteilung der Eisenbahnen nach dem Betriebsmotor	61
§ 18. Bauwürdigkeit einer Eisenbahn	65
§ 19. Erläuterung einiger Begriffe aus der Eisenbahntechnik	73
Literatur	74

II. Kapitel.

Bahn und Fahrzeug im allgemeinen.

Bearbeitet in erster Auflage von Franz Kreuter,
in zweiter Auflage von Dipl. Ing. Alfred Birk, Professor.

(Mit 103 Textabbildungen.)

Erster Abschnitt.

Die Fahrbetriebsmittel der Gegenwart.

§ 1. Allgemeine Grundsätze für den Bau der Fahrzeuge	75
§ 2. Die Lokomotiven	78
§ 3. Die Lokomotiven, Fortsetzung: Ihre Zugkraft und Leistung; Brennstoff- und Wasserverbrauch	81
§ 4. Übersicht heutiger Lokomotivgrundformen	84
a) Schnellzug- und Personenzuglokomotiven für Hauptbahnen	84
b) Lokomotiven für gemischte Züge und Güterzüge	87
c) Lokomotiven für den Verschiebedienst, für Nebenbahnen und Kleinbahnen	89
§ 5. Tender	91
§ 6. Die Eisenbahnwagen. Allgemeines	91

	Seite
§ 7. Die Eisenbahnwagen. Fortsetzung: I. Personen-, Post- und Gepäckwagen	92
§ 8. Die Eisenbahnwagen. Fortsetzung: II. Güter- und Bahndienstwagen	96
§ 9. Die Eisenbahnwagen. Fortsetzung: III. Personen- und Güterwagen für Schmalspurbahnen. Schneepflüge	99
§ 10. Kraftwagen für Bahnbetrieb (Motorwagen, Selbstläufer)	102
§ 11. Lenkachsen	107
§ 12. Zug- und Stoßvorrichtungen	110
§ 13. Die Zugbildung	113

Zweiter Abschnitt.

Bewegung der Eisenbahnfahrzeuge im Gleise.

§ 14. Bewegung in gerader Strecke	116
§ 15. Bewegung in Krümmungen	118
§ 16. Form der Laufflächen und der Spurkränze	122
§ 17. Die Ursachen der Abnutzung der Spurkränze und Schienen in Bahnkrümmungen	124
§ 18. Konstruktive Mittel zur Verminderung der Abnutzung von Spurkränzen und Schienen in Bahnkrümmungen	128

Dritter Abschnitt.

Anordnung und Gestalt der Bahn in Krümmungen und Geraden.

§ 19. Überhöhung des äußeren Schienenstranges in Bögen	135
§ 20. Übergangsbögen	141
§ 21. Absteckung der Übergangsbögen mit unverändertem Halbmesser	150
§ 22. Einschaltung eines Übergangsbogens in ein bestehendes Gleis	152
§ 23. Korbbögen	154
§ 24. Wahl der Konstanten C bei Übergangsbögen	156
§ 25. Grenze für die Anwendung der Übergangsbögen	158
§ 26. Beurteilung der gebräuchlichen Form des Übergangsbogens	159
§ 27. Gegenkrümmungen. Zwischengerade	161
§ 28. Spurweite in geraden Gleisen	162
§ 29. Die Spurweite in Krümmungen. Spurerweiterung	163
§ 30. Spurerweiterung. Anwendung der gefundenen Formeln	166
§ 31. Ausführung der Spurerweiterung	170
§ 32. Umgrenzung des lichten Raumes	172
§ 33. Gleisabstand	174
§ 34. Ausrundung der Neigungswechsel	175

Vierter Abschnitt.

Widerstände von Eisenbahnfahrzeugen.

§ 35. Allgemeines	178
§ 36. Widerstand auf gerader, wagrechter Bahn	179
§ 37. Widerstand in Krümmungen	186
§ 38. Widerstand auf Steigungen	188
§ 39. Beispiel	189

Fünfter Abschnitt.

Einfluß der Neigungen und Krümmungen auf den Betrieb.

§ 40. Maßgebende, unschädliche, schädliche Steigungen	192
§ 41. Unmerkliche Krümmungen	198
§ 42. Verbindung von Steigungen und Krümmungen. Länge ununterbrochener Steigungen	198
§ 43. Wahl der Krümmungs- und Neigungsverhältnisse	200
§ 44. Verlorene Steigung	202
§ 45. Anlaufsteigung	204
§ 46. Wirkung der Bremsen	205
Literatur	208
Namen- und Sachverzeichnis	209

I. Kapitel.

Einleitung, Geschichtliches über Eisenbahnen, Einteilung derselben.

Bearbeitet von

Dipl. Ing. **Alfred Birk**,
Professor.

(Mit 22 Textabbildungen.)

§ 1. Begriff der Eisenbahn. — Der Begriff Eisenbahn, im eigentlichen Sinne des Wortes genommen, gilt für alle jene Beförderungswege, die mit metallenen Gleise, d. i. mit einem eisernen Schienenstrange oder mit mehreren parallel laufenden eisernen Schienensträngen als Bahn für die Beförderungsmittel versehen sind, um auf solche Weise deren Lauf zu regeln, eine Verminderung der Reibung zwischen Fahrzeug und Fahrbahn zu bewirken und mithin die Leistungsfähigkeit des Fördermittels zu erhöhen. Es muß als ein Kennzeichen der Eisenbahn angesehen werden, daß sie von den Landfuhrwerken gewöhnlicher Bauart nicht befahren werden kann und daß anderseits die Eisenbahnfahrzeuge auf die ausschließliche Benutzung der Schienenwege angewiesen sind. Das Gleis bildet für den Begriff der Eisenbahn das entscheidende Moment; die Art der bewegenden Kraft kommt erst in zweiter Linie zur Geltung.

Bei dem Umstande, daß die Eisenbahnen erst durch die Anwendung der Dampfkraft als Bewegungsmittel ihre große Bedeutung erlangten, und bei dem weiteren Umstande, daß diese Betriebskraft auch noch jetzt im Eisenbahnwesen die wichtigste Rolle spielt und wohl auch noch für lange Zeit den ersten Rang einnehmen wird, erscheint die Dampflokomotive als Bewegungsmittel mit dem Begriffe der Eisenbahnen so innig verbunden, daß dieser von manchen Schriftstellern überhaupt auf Dampfbahnen beschränkt wird, so z. B. von Sax und Gleim. Bis in die jüngste Zeit bildete sich überall, wo andere Kräfte zur Benutzung gelangen, der Begriff des Außergewöhnlichen in Hinsicht auf die Bestimmung der Eisenbahn und auf ihren Betrieb, so daß in der technischen Literatur allgemein die nicht mit Dampf betriebenen Bahnen unter die außergewöhnlichen Anlagen eingereiht wurden und noch eingereiht werden. Schon heute bereitet sich in dieser Auffassung eine berechtigte Änderung insofern vor, daß infolge der wachsenden Verwertung der Elektrizität als Betriebskraft selbst der Begriff der Hauptbahnen nicht mehr an die Verwendung der Dampfkraft gebunden erscheint. Die eben erwähnte Beschränkung des Begriffes ist also nicht im Wesen der Sache begründet; aber ebenso unbegründet ist es, für die Einreihung eines Verkehrsweges mit Gleisen unter den Begriff der Eisenbahn die maschinelle Förderung vorauszusetzen, wie es Ulrich (»Archiv für Eisenbahnwesen«

1884), Haushofer und v. d. Leyen (»Wörterbuch des deutschen Verwaltungsrechtes«) tun. Auch bei den mittels Tieren betriebenen Straßen- und Schlepfbahnen, bei den Rollbahnen, auf welchen die menschliche Muskelkraft zur Beförderung der Fuhrwerke dient, wie bei Bremsbergen, wo die Schwerkraft allein Verwendung findet, kommt jene wesentliche Eigentümlichkeit der Eisenbahnen: den Massentransport in unverrückbar gegebener Richtung zu lenken, so unzweideutig zum Vorschein, daß es nicht angeht, diese Verkehrswege von den Eisenbahnen auszuschneiden. Die Kabelbahnen, die atmosphärischen Bahnen, die durch geregelte Wasserkraft betriebenen Bahnen und selbst jene Drahtseilbahnen, bei denen das Fahrzeug an einem Seile hängend durch die Luft befördert wird, gehören zu den Eisenbahnen im allgemeinen Sinne des Wortes, wogegen Straßenlokomotiven, Dampfwagen, Gaswagen, elektrische Wagen, die ohne Gleise auf den Straßen laufen, mit den Eisenbahnen nichts zu tun haben.

Unsere Anschauung deckt sich vollständig mit der Begriffsbestimmung, die vom deutschen Reichsgerichte in einer Entscheidung vom 17. März 1879 vom Standpunkte des Reichshaftpflichtgesetzes gegeben wurde und wegen ihres Eingehens auf alle Einzelheiten der Eigenschaften von Eisenbahnen bemerkenswert ist; hiernach ist die Eisenbahn »ein Unternehmen, gerichtet auf wiederholte Fortbewegung von Personen und Sachen über nicht ganz unbedeutende Raumstrecken auf metallener Grundlage, welche durch ihre Konsistenz, Konstruktion und Glätte den Transport großer Gewichtsmassen, bzw. die Erzielung einer verhältnismäßig bedeutenden Schnelligkeit der Transportbewegung zu ermöglichen bestimmt ist und durch diese Eigenart, in Verbindung mit den zur Erzeugung der Transportbewegung benutzten Naturkräften (Dampf, Elektrizität, tierischer oder menschlicher Muskeltätigkeit, bei geeigneter Ebene der Bahn auch schon der eigenen Schwere der Transportgefäße und deren Ladung) beim Betriebe des Unternehmens auf derselben eine verhältnismäßig gewaltige Wirkung zu erzeugen fähig ist«.

Vom Standpunkte des Eisenbahnrechtes aus genießen allerdings die mit Dampfkraft betriebenen Eisenbahnen insofern einen gewissen, die anders betriebenen Bahnen mehr oder weniger von dem Begriffe der Eisenbahnen ausschließenden Vorzug, als die Gesamtheit der eisenbahnrechtlichen Normen in der Regel eben nur auf diese Bahnen — sofern sie dem öffentlichen Verkehre dienen — Anwendung findet, während die übrigen Arten der Eisenbahnen nur einzelnen derjenigen eisenbahnrechtlichen Normen, die für alle Lokomotivbahnen gleichmäßig anwendbar sind, unterworfen erscheinen. Für die Eisenbahnbautechnik ist eine Ursache für die Bevorzugung der Dampfisenbahnen wohl nur durch den Umstand gegeben, daß eben diese Eisenbahnen — wie schon erwähnt — die überwiegende Mehrzahl aller Eisenbahnen bilden und vor allem jene Verkehrswege darstellen, denen eine hervorragende Bedeutung für den Weltverkehr zufällt, die also auch in bau- und betriebstechnischer Hinsicht besondere Einrichtungen behufs sehr rascher Förderung bedeutender Massen erfordern. Neben den Dampfisenbahnen gewinnen die elektrisch betriebenen Bahnen stetig an Verbreitung.

§ 2. Verhältnis der Eisenbahnen zu den Land- und Wasserstraßen. — Das Verkehrswesen hat durch die Eisenbahnen eine tiefgehende Neugestaltung und eine große Vervollkommnung erlangt; wir werden darauf noch näher zu sprechen kommen. Dennoch würde es nicht den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen, wenn die Eisenbahn als das für alle Fälle einzig zweckmäßige Verkehrsmittel betrachtet würde.

Gegenüber der Landstraße gewährt die Eisenbahn die Vorteile großer Fördergeschwindigkeit, bedeutender Massenbewegung, sowie der Regelmäßigkeit der Beförderung und im allgemeinen auch der Billigkeit der Förderung. Diese Vorteile treten aber in der Regel nur auf längeren Förderstrecken hervor; auf kurze Entfernungen, wo die Kosten für die Umladung der Güter im Vergleiche zu den eigentlichen Beförderungskosten sich zu hoch stellen, oder wo die Beschränktheit des Eisenbahnverkehrs, der an bestimmte Haltepunkte und Zeiten gebunden ist, sich unangenehm und hindernd fühlbar macht, tritt die Beförderung auf Landstraßen in wirksamen Wettbewerb mit jener auf den Eisenbahnen. Das zeigt sich sehr deutlich bei kürzeren Lokalbahnen; hier bleibt vielfach der Straßenverkehr fast ungeschmälert neben der Eisenbahn aufrecht, namentlich dann, wenn der Zugverkehr auf der Lokalbahn hinsichtlich Zahl und Reisegeschwindigkeit der Züge den verschiedenen Bedürfnissen der Bevölkerung nicht gerecht wird. So geschieht es, daß der Güterverkehr durch längere Zeit nach der Betriebseröffnung meistens wesentlich hinter den gehegten Erwartungen und Berechnungen, die oft die vollständige und sofortige Übernahme des bestehenden Straßenverkehrs durch die Eisenbahn voraussetzen, zurückbleibt. Aus vielfachen geschäftlichen Gründen muß der Landmann das Fuhrwerk trotz des Bestehens eines Schienenweges behalten, ohne es im vollen Umfange für den näheren Zweck, besonders für Feldarbeiten, ausnützen zu können; er ist deshalb bestrebt, die Kosten des Unterhaltes desselben nach Möglichkeit durch die Übernahme von Beförderungen jeder Art zu decken und leistet daher solche Dienste zu gewissen Zeiten um Förderpreise, auf welche die Eisenbahn und namentlich die Kleinbahn unmöglich herabgehen kann. Hier und da gewinnt die Eisenbahn allmählich infolge der durch sie bewirkten allgemeinen Verschiebung der wirtschaftlichen Verhältnisse die Oberhand — in vielen Fällen aber bleibt auch der Straßenverkehr unvermindert aufrecht und es findet eine Art Teilung des gesteigerten Verkehrs zwischen Bahn und Straße statt.

So hat sich auch der Omnibus in den Großstädten (London, Paris, Wien) neben den Straßenbahnen trotz der rasch fortschreitenden Verdichtung ihrer Netze als ein wichtiges Verkehrsmittel erhalten, dessen Eigentümlichkeit und darauf beruhende Bedeutung für das städtische Leben gerade erst durch die Straßenbahnen in das rechte Licht gestellt wurde.

Die Landstraßen haben nicht an Bedeutung verloren; das Netz der Landstraßen hat sich — und zwar gerade in den letzten Jahrzehnten — wesentlich vergrößert; so ist z. B. in Preußen das Chausseenetz seit 1876 um 37486 km erweitert worden; es ist aber eine Verschiebung des Verkehrs eingetreten. Die Landstraßen sind gegenwärtig nicht mehr die Pfade des Weltverkehrs oder überhaupt nur des Verkehrs auf große Entfernungen oder von hervorragender Bedeutung; sie dienen vorwiegend dem örtlichen Verkehre, dem Verkehre auf kürzeren Strecken, dem Verkehre zu den Eisenbahnen oder auch dem Verkehre über Gebirgspässe, über die noch kein Schienenweg führt. Durch die Ausbildung des Selbstfahrwesens wird dem Straßenverkehre eine belebende Anregung gegeben; die Möglichkeit der raschen Abwicklung des Verkehrs infolge der Erreichbarkeit größerer Fahrgeschwindigkeiten bei vollkommener freier Beweglichkeit rücksichtlich der Abfahrtszeiten, der Aufenthalte usw. bietet dem Straßenverkehre dieser Art eine bedeutsame Stütze in dem Wettbewerbe mit dem Eisenbahnverkehr. Durch die Verwertung der Selbstfahrwagen für den Straßenpostdienst wird dieser entschieden konkurrenzfähig mit der Straßenbahn und selbst

mit der Lokalbahn in verkehrsarmen Gegenden. Der Selbstfahrwagen wird überall dort, wo es sich darum handelt, zunächst durch Erleichterung des Transportes die Industrie eines Tales zu erwecken und zu stärken, der Vorläufer des Eisenbahnzuges werden, für den er die Grundbedingungen seiner Rentabilität — eine lebhafte und entwicklungsfähige Industrie — schaffen muß. So gewinnt die Landstraße immer mehr und immer nachdrücklicher die Bedeutung eines das Eisenbahnnetz vorteilhaft ergänzenden Verkehrsweges.

Der Verkehr auf Wasserstraßen — Kanälen und Flüssen — befindet sich infolge der Unstetigkeit und Unregelmäßigkeit des Betriebes, der geringen Geschwindigkeit der Beförderung, der umständlichen Handhabung mit kleineren Stückgütern und der verhältnismäßig nicht kleinen Ladungs- und Entladungskosten dem Eisenbahnverkehre gegenüber entschieden und allgemein im Nachteil. Diese ungünstigen Eigenschaften treten bei Personen- und Schnellgüterverkehr besonders scharf hervor, während sie für Roh- und Massengüter, die hohe Transportkosten nicht vertragen und bei denen die Reisezeit eine untergeordnete Rolle spielt, außer Betracht kommen, so daß hier der Wassertransport, gegenüber dem Eisenbahntransport, im Vorteil erscheint. Nach Sympher (»Transportkosten auf Eisenbahnen und Kanälen, 1885«) kostet die Förderung einer Tonne längs 1 km bei Annahme günstiger Konstruktion der Schiffe und zweckmäßiger Durchführung des Betriebes auf Kanälen um rund 60 v. H. weniger als auf Eisenbahnen. R. Koch (»Transportbedingungen für organisierten Massengüterverkehr auf Eisenbahnen«, 1889) hat die Anlage eigener Schleppbahnen zur Erhöhung der Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Wasserstraßen vorgeschlagen und hierfür Tarifsätze entwickelt, die unter jenen der Förderkosten auf Wasserstraßen verbleiben würden. Es darf nur nicht übersehen werden, daß die Ausnutzung der vorhandenen Wasserwege, wie des Meeres, das längs den Küsten mit den Schienenpfaden in Wettbewerb tritt, und der Flußläufe, so weit sie schiffbar sind oder durch Regelung ihres Laufes und ihrer Wassertiefe schiffbar gemacht werden können, im Interesse der Volkswirtschaft und des Volkswohlstandes dringend geboten erscheint; denn jene niedrigen Förderkosten, wie sie auf solchen Verkehrswegen möglich sind, können auf Eisenbahnen nicht erreicht werden, so lange eine Deckung der Selbstkosten des Betriebes durch die Betriebseinnahmen als Grundsatz gilt; es gibt aber nicht nur viele Güter, für welche eine größere Reisezeit innerhalb gewisser Grenzen nicht in Betracht kommt, sondern auch zahlreiche Reisende, für welche die Zeit unter Umständen einen geringen Wert hat, die mithin lieber langsam und billig, als schnell und teuer fahren. Überdies bestehen in der Regel an den Ufern schiffbarer Flüsse Industrieanlagen aller Art, und auch sonstige Unternehmungen, Waldbestände, Landwirtschaften usw., für welche die natürliche Wasserstraße günstiger liegt, als je ein anderer Verkehrsweg gelegt werden könnte. Vielfach bieten die Uferlandschaften der Flüsse auf große Strecken auch durch ihre Schönheit mächtige Anziehungspunkte für den Touristenverkehr, der die Wasserstraße der Eisenbahn vorzieht.

Anders stellen sich Eisenbahnen und Kanäle zueinander. Letztere sind, günstige Geländebeziehungen vorausgesetzt, nur in Gegenden, wo Roh- und Massenprodukte in grosser Menge zur Beförderung gelangen, wie auch hauptsächlich nur dann gerechtfertigt, wenn sie als Verbindung schiffbarer Flüsse erscheinen oder außer dem Verkehre auch noch zu Be- oder Entwässerungsanlagen dienen, wie dies namentlich in Holland der Fall ist. Ob die, nur mit großem Bauaufwande und mit

Überwindung bedeutender bau- und betriebstechnischer Schwierigkeiten zu bewirkende Übersteigung größerer Gebirgsketten mittels Kanälen wirtschaftliche Vorteile bietet, darüber sind die Meinungen geteilt. Die in Ausführung begriffenen Kanalverbindungen in Österreich: Donau-Moldau, Donau-Oder usw. haben beträchtliche Höhenunterschiede zu überwinden, so daß wiederholt die Anlage von Schlepfbahnen an ihrer Stelle angeregt wurde.

Der Wettstreit zwischen den Eisenbahnen und Kanälen hat verschiedene Entwicklungsstufen durchlaufen. Anfangs gelang es zuweilen den Kanalunternehmungen im Vereine mit Fuhrwerksunternehmungen, Gasthausbesitzern und anderen Beteiligten den Bau konkurrierender Eisenbahnlinien zu verzögern; sobald aber einmal die Vorteile des Eisenbahnverkehrs sich geltend gemacht hatten, vermochten die Eisenbahnen durch fortgesetzte Verminderung der Tarife die Kanalunternehmungen lahm zu legen, und diese sahen in dem Zusammengehen mit ersteren den einzigen Ausweg aus zunehmender finanzieller Bedrängnis. In England und Frankreich gingen auf solche Weise die Kanäle sehr bald an die Eisenbahngesellschaften über, die aber kein Interesse daran hatten, deren Ausgestaltung und Ausnützung zu fördern. Auch in Deutschland und Österreich ließ man die Kanäle fast unbenützt liegen und der Kanalbau hörte Jahrzehnte lang überhaupt vollständig auf. Nur in Holland und Belgien, wo durch den Reichtum des Landes an Naturerzeugnissen, sowie durch die eigenartigen Geländebeziehungen alle Vorbedingungen für den Fortbestand des Verkehrs auf den Wasserstraßen gegeben waren und das weitverzweigte Netz solcher Straßen den Verkehr selbst außerordentlich förderte, erhielten sich die Kanäle in fast ungeschwächter Blüte neben den Eisenbahnen. In Amerika bot der in der Zeit von 1817—1825 erbaute Erie Kanal den Eisenbahnen einen erfolgreichen Wettbewerb, bis es den letzteren endlich in den siebziger Jahren durch eine bedeutende Verminderung der Tarife gelang, einen großen Teil des Kanalverkehrs an sich zu ziehen.

In neuerer Zeit — etwa seit zehn bis fünfzehn Jahren — hat sich die Aufmerksamkeit der Volkswirte und Techniker den Wasserstraßen wieder mehr zugewendet. Man hat einerseits ihre Daseinsberechtigung und ihre Bedeutung als ein für gewisse Verhältnisse wertvolles und zweckmäßiges Verkehrsmittel erkannt und ist andererseits auch zu der Überzeugung gelangt, daß die Ursache der Niederlage der Kanäle im Wettbewerbe mit den Eisenbahnen vornehmlich in der allmählich unzulänglich gewordenen Bauart der ersteren zu erblicken ist. Diese Erkenntnis führte zu dem Bestreben, die Leistungsfähigkeit der alten Kanäle durch Verbreiterung und Vertiefung ihres Wasserbettes, sowie durch Vervollkommnung ihrer Schleusenanlagen zu erhöhen und neue Kanäle von vornherein entsprechend diesen Grundsätzen auszuführen.

Außerordentlich bezeichnend ist in dieser Hinsicht der Beschluß des Binnenschiffahrtskongresses aus dem Jahre 1890, mit welchem erklärt wird, daß die Wasserstraßen infolge ihrer niedrigen Herstellungs- und Betriebskosten ein wertvolles Mittel für den Transport von Massengütern zu billigen Preisen bilden und der gleichzeitige Bestand und die gleichzeitige Entwicklung derselben neben den Eisenbahnen erwünscht ist, weil diese beiden Transportmittel sich ergänzen und jedes nach seiner besonderen Eigenschaft mit dem anderen zusammenwirken soll, und weil weiter die Entwicklung von Handel und Industrie, welche die unausbleibliche Folge der Verbesserung der Verkehrswege ist, schließlich gleichmäßig den Eisenbahnen und anderen Verkehrsstraßen zu gute kommt. In England wurde in neuerer Zeit der große

Manchester-Schiffskanal erbaut, dessen Genehmigung die Eisenbahnunternehmungen lebhaften und anfangs sehr erfolgreichen Widerstand entgegenseetzten; wenn nun auch der Verkehr auf ihm ziemlich langsam — obwohl andauernd — wächst, und wenn auch die Reineinnahmen noch weit davon entfernt sind, die Zinsen der gesellschaftlichen Schuld zu decken, so beginnen sich doch im allgemeinen in England die Erträge der von den Eisenbahnen unabhängigen Kanalgesellschaften stetig zu verbessern. Frankreich begann zu Ende der siebziger Jahre tatkräftig mit der Instandsetzung der Kanäle durch Vertiefung des Wasserbettes auf 2,0 m und durch Einführung einer Normalschleuse; der Verkehr auf den Wasserstraßen stieg infolge dessen in dem Zeitraume von 1879—1888 um 57 v. H., während der Güterverkehr auf den Eisenbahnen sich im gleichen Zeitraume um nur 12,3 v. H. hob; auch gelangte eine Reihe neuer Kanäle zur Herstellung. In Holland, Belgien, Italien und Rußland bestehen großartige Kanalprojekte, namentlich ist das letztere Reich bemüht sein Wasserstraßennetz in jeder Beziehung zu vervollkommen.

In Österreich-Ungarn, das etwa 230 km Kanalstrecken besitzt, ist nunmehr — wie erwähnt — das lang erörterte Projekt eines Donau-Oder-Kanals seiner Verwirklichung nahe gerückt; gleichzeitig wurde die Regulierung beziehungsweise Kanalisierung mächtiger Flüsse, wie z. B. der Moldau und Elbe in Angriff genommen. Deutschland ist in gleicher Weise, wie auf den Ausbau der Eisenbahnen, auch auf jenen der Wasserstraßen bedacht; der Nord-Ostsee-Kanal, der Rhein-Ems-Kanal, der Oder-Spree-Kanal und eine größere Zahl von hervorragenden Kanalprojekten sind Beweise hierfür.

Solche Erscheinungen legen in zweifelloser Weise dar, daß Wasserstraßen und Eisenbahnen gemeinsam dem stetig zunehmenden Verkehre zu dienen haben, und so hat sich denn allmählich aus dem Wettstreite beider Verkehrsmittel ein friedliches Zusammenwirken in gleicher Art entwickelt, wie zwischen den Eisenbahnen und den Landstraßen. Die Eisenbahnen überlassen den Wasserstraßen jene Güter, die sich für diesen Verkehr hauptsächlich eignen, und übernehmen es, den Wechselverkehr zwischen den Wasserstraßen und den abseits von ihnen liegenden Gebieten in Bezug auf diese Güter zu vermitteln. An vielen schiffbaren Flüssen, wie auch an den Kanälen wurden sogenannte Umschlagplätze errichtet, in denen der Austausch der Güter zwischen Eisenbahn und Wasserstraße erfolgt, und die Eisenbahnunternehmungen selbst fördern den Umschlagverkehr durch eigene Tarife und durch Erleichterungen des Betriebes und Transportes.

§ 3. Schnelligkeit und Billigkeit des Eisenbahnverkehrs. — Seit der Erfindung der Buchdruckerkunst hat keine andere Erfindung so tief, nachhaltig und umwälzend in die gesamte Tätigkeit der Menschen eingegriffen und alle Lebensverhältnisse in den Kulturländern so gründlich umgestaltet und verändert, wie die Erfindung der Lokomotiveisenbahn, dieser innigen Verbindung des Schienenweges mit der fahrenden Dampfmaschine. Die Erfindung der Dampfmaschine an sich bezeichnet allerdings einen bedeutsamen Abschnitt in der Kulturgeschichte, und sie mußte auch jener der Eisenbahnen naturgemäß vorausgehen; aber die großartige Verbreitung, welche die Dampfmaschine bisher gefunden, und den mächtigen Einfluß, welchen sie auf die Größe der menschlichen Leistungsfähigkeit und die Güte der menschlichen Arbeit ausgeübt hat, konnte sie nur durch das Eisenbahnwesen erlangen, so daß dieses in seiner außerordentlichen Bedeutung noch hoch über jener steht.

Unter den Eigenschaften, welche den Eisenbahnen eine so hervorragende Einflußnahme verschafft und gesichert haben, ist in erster Linie die durch sie gebotene Möglichkeit rascher, billiger und mit großer Pünktlichkeit und Sicherheit sich vollziehender Massentransporte zu nennen; dies gilt sowohl rücksichtlich des Personen- als auch des Güterverkehrs, und nichts vermag diese Änderung der Verkehrsverhältnisse, die mit einer gewissen, verblüffenden Schnelligkeit erfolgte, schärfer zu kennzeichnen, als Zahlenangaben über die Beförderungs- und Reiseverhältnisse unmittelbar vor und nach den ersten Eisenbahnschöpfungen in den verschiedenen Ländern. In England, der Heimat des modernen Eisenbahnwesens, fuhren die alten »Diligenzen« mit einer Geschwindigkeit von 15 bis 16 km in der Stunde und legten die Frachtwagen auf der Landstraße durchschnittlich 4 km in der gleichen Zeit zurück; die »Rocket«, Stephenson's preisgekrönte Lokomotive (siehe § 8), entwickelte dagegen bei ihrer Probefahrt mit einem Zuge von etwa 20 t Gewicht eine stündliche Geschwindigkeit von rund 30 km, welche schon von ihren unmittelbaren Nachfolgern wesentlich überboten wurde. Der Fahrpreis in den Diligenzen betrug durchschnittlich $4\frac{1}{2}$ Pence für die englische Meile, der Tarif für Güter im allgemeinen 11,1 Pence für die Tonne und Meile; die Liverpool-Manchester-Eisenbahn dagegen erhob für die englische Meile einen Fahrpreis von nur $1\frac{1}{2}$ Pence und hatte einen Tarif von 3,8 Pence für die Tonne; bei Massengütern, wie Kalk, Eisen und Kohle, stellte sich der Frachtsatz noch wesentlich geringer. — In Frankreich erreichte die Personenbeförderung auf den Landstraßen kaum eine höhere Geschwindigkeit als 6 km, während die Personenzüge der ersten Eisenbahn schon mit 25 bis 30 km in der Stunde verkehrten; die Tarife der Landpost stellten sich auf 14 Centimes für das Kilometer; jene der Eisenbahn überschritten nicht 7 Centimes. Der Frachtsatz für Tonne und Kilometer betrug auf den Landstraßen durchschnittlich 30 Centimes bei gewöhnlicher, 44 Centimes bei beschleunigter Beförderung; auf der Eisenbahn aber nur 9 bis 10 Centimes. Die stete Zunahme der Reisegeschwindigkeit und ihren plötzlichen Sprung bei Einführung der Eisenbahnen in Frankreich zeigt deutlich folgendes Beispiel, das nach einem Bilde, welches sich auf der Weltausstellung in Paris 1900 befand, zusammengestellt ist. In dem Augenblicke, wo der mit 91 km/Stunde verkehrende Expreszug von Paris aus in dem 295 km entfernten Calais eintrifft, würde die Carosse von 1692 5 km, die Diligenze (1786) 12 km, die Mallepost (1834) 32 km, der Postzug (1867) 193 km und der Schnellzug (1887) 212 km von Paris entfernt sein. Die Reisezeit Paris-Calais beträgt heute 3 Stunden 15 Minuten und betrug 1692 7 Tage, 1786 3 Tage, 1834 28 Stunden; man zahlte im Jahre 1692 0,1076 Francs, 1786 0,1952, 1834 0,1862 Francs für 1 km und zahlt gegenwärtig 0,112 Francs in erster Klasse, 0,0756 in zweiter und 0,0493 Francs in dritter Klasse für 1 km.

In den deutschen Staaten waren die Verhältnisse sehr verschieden; die Eilposten erreichten unter besonders günstigen Verhältnissen Reisegeschwindigkeiten von durchschnittlich 10 km in der Stunde; die Personentarife schwankten zwischen 6 und 8 Sgr. für die Meile; die Fahrgeschwindigkeit auf den Eisenbahnen betrug in der ersten Zeit etwa 15 km, steigerte sich aber sehr bald auf das Zwei- und Dreifache; ihre Fahrpreise richteten sich nach den Posttaxen in der Weise, daß sie in der ersten Klasse denselben gleich, in der zweiten und dritten Klasse um 33, bzw. 60 v. H. niedriger waren. Mit dem Güterverkehre war es vielfach infolge des mangelhaften, ja zumeist elenden Zustandes der Straßen sehr schlecht bestellt; auf den

Straßen Westfalens z. B. konnte ein Pferd auf wagerechter Strecke nur 18 Ztr. Nettolast befördern und in Oberschlesien waren bei ungünstiger Witterung ein Mann und zwei Pferde erforderlich, um 10 bis 12 Ztr. während 12 Stunden eine Strecke von 3 bis 4 Meilen unter Aufgebot aller Kräfte fortzuschaffen; eine Fracht von Steinkohlen, welche im November 1834 von Gleiwitz aus auf dem Klodnitz-Kanal verladen worden war, erreichte ihren Bestimmungsort Breslau erst nach zweimaliger Überwinterung und Umladung auf kleinere Fahrzeuge im Herbst 1836. Die Eisenbahnfrachtsätze wechselten je nach der Höhe der Landfrachten und des zum Baue der Bahn verwendeten Anlagekapitals zwischen 3 und 6 Pf. (alt) für Zentner und Meile gegenüber dem Frachtsatze von 10 bis 18 Pf. für Zentner und Meile auf den Landstraßen.

In Österreich hob die Kaiser-Ferdinands-Nordbahn, bekanntlich die erste Lokomotiveisenbahn in diesem Reiche, für die vier Klassen, die sie sofort einführte, den Fahrpreis von 18 Kreuzer, bzw. 12, 9 und 6 Kreuzer Konventionsmünze für die Meile ein und blieb hiermit noch unter den Posttarifen, die bei einem Innensitz mit 20 und bei einem Außensitz mit 10 Kreuzer Konventionsmünze für die Meile festgesetzt waren. Die Bahnfracht für Meile und Zentner entsprach mit $1\frac{2}{5}$ bis $2\frac{1}{2}$ Kreuzer Konventionsmünze zumeist dem niedrigsten Fuhrlohne auf den im Wettbewerb stehenden Straßenzügen; letzterer unterlag aber je nach dem Ausfalle der Ernte bedeutenden Schwankungen.

Noch viel großartiger zeigt sich die Vervollkommnung des Transportes, welche die Eisenbahnen durch die Verbilligung und Beschleunigung, durch die Erhöhung der Regelmäßigkeit und Sicherheit, sowie durch die Vermehrung des Verkehrs geschaffen haben und noch stetig bewirken, wenn wir die gegenwärtigen Verhältnisse ins Auge fassen, wobei auch die Güte des Eisenbahnwesens nicht außer acht gelassen werden darf. Die Einheitssätze der Eisenbahnen haben sowohl im Personen-, als auch im Güterverkehre, und hier namentlich in Bezug auf die Massenartikel, seit den vierziger Jahren eine beständige Ermäßigung erfahren, die gegenwärtig für gewisse Fälle bis 75 v. H. und mehr beträgt. Dabei tritt immer stärker das Bestreben in den Vordergrund, für die Tarifbildung eine Grundlage zu gewinnen, die den begründeten Ansprüchen der Bahnverwaltungen einerseits und der Reisenden oder Verfrachter andererseits in gleicher Weise gerecht wird und den eigenartigen Verhältnissen des Betriebes, dessen Kosten nicht direkt und in einfachem Grade mit der Reise- oder Transportlänge wachsen, entspricht. Es bildet sich dabei zwischen den Bahnverwaltungen und ihren Kunden allmählich in Bezug auf Fahr- und Förderpreise jene Beziehung heraus, die zwischen dem Fuhrmann und seinen Kunden bestanden; Fahr- und Förderpreis richtet sich immer mehr nach den besonderen Bedürfnissen und Verhältnissen, in gewissem Sinne auch nach Verkehrs- und Transportgröße, wie dies in den Rückfahrkarten, Dauerkarten, Rundreisekarten usw., oder in der Klassifikation der Güter nach Tarifsätzen, in Ausnahmetarifen usw. zum Ausdruck gelangt. Die zweckmäßige Gestaltung der Fahr- und Förderpreise — die Tarifbildung — ist ein wichtiger, aber auch schwieriger Zweig der Eisenbahnwissenschaften, der auf den Hochschulen gepflegt werden sollte.

Die Fahrgeschwindigkeit hat auf den Eisenbahnen wesentlich zugenommen. Die Schnellzüge fahren mit Geschwindigkeiten von 60 bis 90 km, wobei aber das Bestreben obwaltet, dieselben noch bedeutend zu erhöhen, und wesentlich größere Schnelligkeiten auch jetzt schon öfters vorkommen; die Personenzüge erreichen Ge-

schwindigkeiten bis zu 50 km, während die Güterzüge mit einer solchen von 20 bis 30 km befördert werden, obgleich in den verschiedenen Staaten höhere Geschwindigkeiten (in Deutschland 45 km) für diese Züge zulässig sind.

Durch die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung Deutschlands vom 4. November 1904 ist die Grenze der zulässigen höchsten Fahrgeschwindigkeit auf 120 km in der Stunde hinaufgerückt worden; die für Österreich gültigen Vorschriften für den Verkehrsdienst auf den Hauptbahnen setzen überhaupt keine Grenze für die Fahrgeschwindigkeit fest, sondern machen diese von der Bauart der Lokomotiven, den besonderen Verhältnissen der einzelnen Bahnstrecken und dem auf gebremsten Achsen ruhenden Gewichte abhängig. Bemerkenswert ist, daß im allgemeinen die Zahl der Zugverbindungen mit hohen Fahrgeschwindigkeiten wächst und auch die Zahl der Schnellzugsverbindungen, die lange Bahnstrecken ohne Anhalten durchlaufen, stetig zunimmt. Häufig finden sich in Zeitschriften Zusammenstellungen über die durchschnittlichen und höchsten Fahrgeschwindigkeiten, ermittelt aus der gesamten verwendeten Fahrzeit in die zurückgelegten Schnellzugskilometer, in den verschiedenen Staaten Europas und Amerikas. Bei Beurteilung der so ermittelten Zahlen, namentlich bei Vergleichen und Folgerungen auf die Leistungsfähigkeit der Bahnen in den verschiedenen Staaten darf nicht übersehen werden, daß die Gestaltung des Geländes, das die Bahnen durchziehen, also die Steigungs- und Krümmungsverhältnisse der letzteren von bedeutendem Einflusse auf die Fahrgeschwindigkeit sind und daß auch die wirtschaftlichen und kulturellen Zustände der Länder dabei eine wichtige Rolle spielen; in Gebieten mit einer Bevölkerung, die sich vorwiegend mit Landwirtschaft befaßt, besteht das Bedürfnis nach großer Reisegeschwindigkeit nicht so sehr, wie in industriell hoch entwickelten Landstrichen. Man muß also auch stets sich der Ursachen klar werden, welche auf die Rangordnung der Staaten nach der Höhe der Fahrgeschwindigkeit Einfluß nehmen; in den Alpenländern wird die Reisegeschwindigkeit immer kleiner sein, als in der norddeutschen Tiefebene, wo die Züge keine großen Steigungen zu befahren haben.

§ 4. Pünktlichkeit und Sicherheit, Massenleistung und Güte des Eisenbahnverkehrs. — Was Regelmäßigkeit und Sicherheit des Eisenbahnverkehrs anbelangt, so wurde der hohe Grad von Vollkommenheit, der den heutigen Eisenbahnbetrieb auszeichnet, wohl nur allmählich erreicht. Noch im Jahre 1844 war — um nur ein Beispiel zu erwähnen — für die auf der Düsseldorf-Elberfelder Bahn zur Personenbeförderung dienenden gemischten Züge ein Größtwert für die Fahrzeit nicht vorgesehen, weil, wie es in dem Geschäftsbetriebe hieß, die auf der Fahrt eintretenden Hindernisse sich nicht voraussehen ließen; auch pflegte man fast allgemein, selbst in den vierziger Jahren noch, die Abfahrts- und Ankunftszeiten der Züge nur mit dem ausdrücklichen Vorbehalte eines Spielraumes von 10 bis 15 Minuten anzugeben. Mit der stetigen Erweiterung des Eisenbahnnetzes, namentlich infolge des Baues durchgehender Linien und Anschlußbahnen, wie auch mit der fortwährenden schnellen Zunahme des Verkehrs und der rasch wachsenden Einflußnahme des Eisenbahnverkehrs auf alle Lebensverhältnisse wuchs die Notwendigkeit einer streng geregelten und geradezu peinlich genauen Abwicklung des Betriebes, denn nur bei gewissenhafter Einhaltung der Fahrordnung ist es möglich, den Anschlußverkehr im Kleinen und Großen, d. i. im Bereiche engerer Gebiete, wie ganzer Kontinente zufriedenstellend zu bewirken und auch bei einem lebhaften Nahverkehre größere Störungen zu vermeiden.

Der Postverkehr auf den Landstraßen erfolgte allerdings auch mit einer gewissen Regelmäßigkeit; er war aber von Zufälligkeiten aller Art und von der Witterung im hohen Maße abhängig; bei dem Güterverkehre lag die Sache noch ungünstiger und zwar schon insofern, als der Abgang des Transportes gewöhnlich erst dann erfolgte, wenn der Fuhrmann volle Ladung hatte, wie es gegenwärtig noch beim Straßenverkehr und namentlich beim Verkehr zu Wasser in hohem Grade der Fall ist. Jetzt kann der Eisenbahnreisende seine Ankunft am Reiseziele — und läge es auch noch so ferne — bis auf die Minute genau vorausbestimmen, und hinsichtlich der Güterbeförderung übernimmt die Eisenbahnverwaltung die Sicherstellung für eine bestimmte Frist, innerhalb welcher das Gut an seinem Bestimmungsorte angelangt sein muß. Störungen durch Unfälle oder Elementarereignisse gehören im Verhältnisse zu der ungeheuren Größe des Zugverkehrs zu den Seltenheiten, und wenn sie eintreten, gelingt es in der Regel außerordentlich rasch die Unterbrechungen vollständig zu beheben oder doch durch zeitweilige besondere Einrichtungen an den Unfallstellen möglichst wenig empfindlich für den Verkehr werden zu lassen. Auch die Zugverspätungen sind verhältnismäßig gering an Zahl und an Bedeutung. Die strenge Kontrolle, welche in dieser Hinsicht seitens der staatlichen Aufsichtsorgane in manchen Ländern des europäischen Festlandes geübt wird, ist von großem Einflusse, während in England und Amerika besonders der lebhafteste Wettkampf zwischen den Eisenbahnen zur Erhöhung der Pünktlichkeit im Eisenbahnbetriebe beiträgt.

Die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs ist weitaus größer als jene des Landstraßenverkehrs. Es gilt dieser, von der Statistik erwiesene Ausspruch nicht allein bezüglich der Personen-, sondern auch rücksichtlich der Güterbeförderung. Einzelne Unfälle, die gewöhnlich wegen der Zahl der Opfer und der Größe des Schadens, wie namentlich auch durch ihre, oft schrecklichen Begleiterscheinungen weitreichendes Aufsehen verursachen, können an dieser Tatsache nichts ändern, denn die hierbei getöteten oder verletzten Reisenden bilden nur einen verschwindend kleinen Bruchteil der Gesamtzahl aller durch die Eisenbahnen beförderten Personen, wie auch der Schaden an Waren nur einen ganz geringen Teil aller bewegten Güter betrifft. Zur näheren Beleuchtung der im allgemeinen großen Sicherheit des Eisenbahnverkehrs mögen nachfolgende Mitteilungen dienen. In Deutschland entfielen auf 10 Mill. Zugkilometer im Jahre 1901 acht Entgleisungen und acht Zusammenstöße; die absolute Zahl der Entgleisungen im Jahre 1901 betrug 450, jene der Zusammenstöße 290. In Österreich wurden im Jahre 1903 im ganzen 9 Reisende getötet und 227 Reisende verletzt; es kam je eine Tötung auf 19607385 und je eine Verletzung auf 777385 Reisende. Die Zahl der getöteten Bediensteten stellte sich auf 76, der Verletzten auf 886 bei einer Leistung von rund 151 Mill. Lokomotiv-Nutzkilometern. Auf den englischen Eisenbahnen entfällt nach L. Francke ein getöteter Reisender auf rund 50 Millionen und ein Verletzter auf rund 4 Mill. Reisende. Diese Zahlen sind vielleicht etwas zu günstig gegriffen; immerhin aber bleibt es unbestritten, daß der Straßenverkehr in London oder in anderen großen Städten weit mehr Opfer fordert, als der lebhafteste Eisenbahnverkehr¹⁾.

Die Vermehrung des Verkehrs durch die Eisenbahnen bedarf kaum besonderer Erwähnung, so sehr ist die Erkenntnis dieser ihrer Wirkung schon zum allgemeinen Bewußtsein geworden; dennoch mögen Wenige sich vollkommen klar sein

¹⁾ Vergl. Hans Wegele, Die Sicherheit im Eisenbahnwesen. Darmstadt 1902.

über die Größe des Gegensatzes zwischen den Verhältnissen der Gegenwart und jenem vor oder auch noch bei Beginn des Zeitalters der Eisenbahnen. Einige statistische Mitteilungen werden den bedeutenden Unterschied kennzeichnen. Auf den gesamten deutschen Eisenbahnen wurden Personenkilometer (Zahl der Personen \times Zahl der gefahrenen Kilometer) zurückgelegt: im Jahre 1868 ... 3 Milliarden, 1880 ... 6,5 Milliarden, 1890 ... 11 $\frac{1}{2}$ Milliarden, 1901 rund 20,5 Milliarden; die Leistung von Tonnenkilometern betrug in Milliarden: 1868 ... 5, 1880 ... 13,5, 1890 ... 22, 1901 rund 33. Auf 1 km Betriebslänge entfielen im Jahre 1880 rund 200000, 1890 ... 250000 und 1901 rund 400000 Personenkilometer.

Der Verkehr auf den preußischen Bahnen betrug im Jahre 1841, als das Bahnnetz 214,4 km umfaßte, rund 1200000 Personen, im Jahre 1860 bei einer Länge der Eisenbahnen von 5389,4 km bereits 21641083, im Jahre 1890 über 274 Millionen Personen, so daß in diesem Jahre für einen Kilometer Eisenbahn 11000 Personen zur Beförderung gelangten.

In Österreich wurden im Jahre 1903 rund 5,3 Milliarden Personenkilometer (265000 für 1 km Betriebslänge) und rund 11,5 Milliarden Tonnenkilometer (564000 für 1 km Betriebslänge) geleistet, während z. B. zu Beginn der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts das Ansuchen um die Genehmigung für den Bau einer Bahn von Wien nach Brünn mit dem Bemerken abgewiesen wurde, daß der bestehende Verkehr nicht einmal genüge, die täglich einmal verkehrenden Postkutschen zu besetzen. Die Postverbindungen zwischen den größeren Städten wurden vor Eröffnung der Eisenbahnen überhaupt wenig benützt.

So waren die Postkutschen zwischen Berlin und Potsdam sehr selten besetzt, während schon im ersten Jahre nach Eröffnung der Eisenbahn diese über 583000 Personen zu befördern hatte. Zwischen Nürnberg und Fürth verkehrten im Jahre 1833 zu Wagen 180000, im Jahre 1838 auf der Eisenbahn, in deren Rentabilität man in Kaufmannskreisen wenig Vertrauen gesetzt hatte, mehr als 500000 Personen.

Nach einer Zusammenstellung im »Archiv für Eisenbahnwesen« (1894) wurden im Jahre 1892 auf den 42964 km langen Bahnen Deutschlands 488,2, auf den 32703 km langen Bahnen Englands 864,4 und auf den 38423 km langen Bahnen Frankreichs 305,2 Millionen Personen befördert. Der Güterverkehr bezifferte sich in demselben Jahre auf 230,9 Mill. Tonnen in Deutschland, 314,6 Mill. Tonnen in England und 106,2 Mill. Tonnen in Frankreich; halten wir hiergegen die Verkehrsdaten aus dem Anfange der vierziger Jahre, so zeigt sich ein gewaltiger Unterschied: die Post in Frankreich beförderte durchschnittlich 710000 Reisende in einem Jahre und der Verkehr auf den Landstraßen betrug im Jahresmittel 5 Milliarden Tonnenkilometer, wogegen die sechs großen französischen Eisenbahngesellschaften allein im Jahre 1889 einen Güterverkehr von weit über 11 Milliarden Tonnenkilometer auswiesen. In England betrug der Postkutschenverkehr im Jahre 1834 rund 31 Mill. Reisende.

Was schließlich die Güte des Eisenbahnverkehrs anbelangt, so hat auch diese in außergewöhnlicher Weise zugenommen. Die ersten Personenwagen der Eisenbahnen waren den unbequemen Postkutschen nachgeahmt oder bestanden aus Plattformwagen mit Sitzen, wobei die Reisenden dem Funkenfluge und allen Unbilden der Witterung preisgegeben waren. Die allmählichen Verbesserungen in der Bauart der Wagen bezweckten, den Reisenden größere Bequemlichkeit und Sicherheit zu gewähren und haben heute zu einer Ausstattung geführt, die mitunter alle berech-

tigten Ansprüche an Bequemlichkeit übersteigt und den Anschein überflüssiger Pracht gewinnt. Diese Tatsache kommt in dem Umstande zum Ausdruck, daß das Gewicht der Personenwagen für den internationalen Verkehr oder für ganz besondere Züge schon auf 1,6 t und darüber, auf den Fahrgast ausgerechnet, gestiegen ist. Aber auch hinsichtlich der Güterbeförderung steht der Eisenbahnverkehr auf einer entschieden höheren Stufe der Güte als der Landstraßenverkehr. Der Schutz der Güter gegen die Einflüsse der Witterung ist größer, ihre Lagerung und Bergung sind besser und die Erschütterung derselben ist geringer. Unablässig ist das Bemühen der Ingenieure dahin gerichtet, durch Verbesserung einerseits des Gleises, anderseits der Wagenbauart den ruhigen Lauf der Fahrzeuge zu bewirken und zu sichern. Bemerkenswert sind auch die Erfolge auf dem Gebiete des sogen. Spezialwagenbaues, welcher bezweckt, die Wagen für besondere Waren (Bier, Fleisch, Fische, Kohlen, Ziegel, Pferde, Kleinvieh usw.) derart zu bauen, daß die Förderung dieser Waren in einer Weise erfolgen kann, welche deren Güte keinen Abbruch tut.

§ 5. Wirkungen der durch die Eisenbahnen herbeigeführten Transportvervollkommnung. — Vermöge der in den vorausgehenden Paragraphen erörterten Eigenschaften und bei ihrer Überlegenheit gegenüber den Land- und Wasserstraßen hinsichtlich der Beförderung von Personen und Gütern, namentlich auf weitere Entfernungen hin, haben die Eisenbahnen in dem kurzen Zeitraume eines halben Jahrhunderts Handel und Verkehr in außergewöhnlicher Weise umgewandelt und ausgebildet; sie haben auf das ganze Wirtschaftsleben der Erde eine tiefgehende und nutzbringende Wirkung ausgeübt, sie sind in politischer und sozialer Beziehung nicht ohne wesentlichen Einfluß geblieben, haben sich als ein unschätzbare Bildungs- und Erziehungsmittel erwiesen und für die moderne Kriegführung ganz neue Bedingungen geschaffen. Es lohnt sich, auf diese Verhältnisse mit einigen Worten näher einzugehen.

Die unmittelbare Wirkung der durch die Eisenbahnen ermöglichten raschen und billigen Massenbeförderung war die Steigerung der Massenerzeugung einerseits und des Massenverbrauches anderseits; zahlreiche Güter wurden jetzt erst transportfähig, geringwertigen Gütern erschloß sich ein größeres Absatzgebiet, hochwertige Güter fanden bei dem geringen Transportpreise nicht mehr einen ihre Absatzfähigkeit beschränkenden Faktor. Die Roherzeugnisse rückten in den Kreis der Handelserzeugnisse vor, die Kunsterzeugnisse traten in lebhaften, erweiterten Wettbewerb. Die Beförderungskosten waren bei den Eisenbahnen nicht mehr von Zufälligkeiten abhängig. Der Verfrachter der Güter brauchte nicht mehr fallweise, wie bei dem Straßen- und Wassertransporte, die Frachtpreise unter dem Eindrucke der Menge der zu befördernden Waren, der Zahl der Fuhrwerke u. dgl. m. zu vereinbaren, die Frachtsätze waren von vornherein festgesetzt; infolge dieser Umstände gewannen die Verkaufspreise der Güter an Festigkeit und regelten sich über die weitesten Gebiete, über ganze Länder und Erdteile, wozu auch der Umstand in hohem Grade beitrug, daß die Eisenbahnen zwischen Bedarf und Überfluß sowohl an Gütern wie an Arbeitskräften auf große Entfernungen hin einen viel rascheren und sicheren Ausgleich herbeiführten, als dies je zuvor auch nur annähernd möglich war.

Diese Wirkungen der Eisenbahnen gestalteten sich noch kräftiger durch den Umstand, daß Bau und Betrieb der Eisenbahnen selbst den Bedarf an gewissen Rohprodukten und Industrieerzeugnissen bedeutend steigerten; hier sind in erster Linie Eisen, Holz, Kohle, Bausteine, Öl zu nennen — doch bleibt gegenwärtig wohl kein

Industriezweig von den Eigenbedürfnissen der Eisenbahnen unberührt. Auch wurden neue Berufszweige geschaffen, neue Quellen für Verdienst und Arbeit erschlossen.

So sehen wir also infolge der allgemeinen Einführung der Eisenbahnen die gesamte produktive Tätigkeit in großartiger Weise sich erweitern und ausdehnen. Die Landwirtschaft hat vor allem eine größere Absatzfähigkeit ihrer Produkte gewonnen; Bedarf und Überschuß an solchen werden auf die weitesten Entfernungen hin ausgeglichen, örtliche Notstände sind in den Eisenbahnländern fast ganz beseitigt; Gemüse und Obst haben sich den Weltmarkt erobert, Fleisch, Eier, Butter, Milch nehmen ihren Weg nach fernen Gegenden. Aber auch die Verbesserung des Bodens ist dem Landwirte durch billigen Bezug von Dungstoffen wesentlich erleichtert. Einen mächtigen Aufschwung hat der Bergbau genommen; wir dürfen, die Ursache erwägend, hierbei nicht allein an die gewaltige Steigerung des Kohlen- und Eisenverzehrverbrauches durch die Eisenbahn selbst denken, sondern müssen uns auch vor Augen halten, daß erst durch den Eisenbahntransport die heute einzig dastehende Anwendung der Steinkohlen und Erze für Industrie und Gewerbe ermöglicht wurde. Friedrich der Große mußte noch die Verwendung der Steinkohlen zu Fabrikzwecken durch besondere Belohnungen, die zwischen 50 und 400 Thaler schwankten, anregen; im Jahre 1840 betrug die Steinkohलगewinnung in den Revieren von Saarbrücken, Aachen, der Ruhr, Nieder- und Oberschlesien 2 448 201 t, im Jahre 1890 war sie auf 63 419 099 t gestiegen.

Den Aufschwung auf dem Gebiete der Industrie förderten hauptsächlich die billigen Transportpreise, vor allem der billige Bezug der Brennstoffe, der Hilfsmaterialien und der zur Verarbeitung dienenden Stoffe. Die Industrie ist nicht mehr darauf angewiesen, in der unmittelbaren Nähe der Rohstoffgewinnungsplätze zu verbleiben; sie kann ihre Heimstätte nach der leichteren Beschaffung der Arbeits- und Betriebskräfte, nach der Eignung des Absatzmarktes usw. nahezu unbeschränkt wählen; die Massenerzeugung, die Arbeit auf Vorrat, der Betrieb im Großen sind ermöglicht und vorteilhaft. Die Großindustrie, welche anstelle der Handarbeit die Maschinenarbeit setzt, gewinnt an Bedeutung und Macht; die Arbeitsteilung, die Spezialisierung der Industrie erweitert sich immer mehr und vervollkommnet in rascher Weise die einzelnen Zweige; neue Industrien (z. B. die Herstellung von Reisebüchern, Veranstaltung von Reiseunternehmungen, Hotelbetrieb auf Eisenbahnen usw.) haben sich gebildet und entwickelt.

Die Steigerung der Rohproduktion, sowie die Förderung der Industrie einerseits und die Erleichterung des persönlichen und schriftlichen Verkehrs andererseits haben auch den Handel zu ungeahnter Blüte emporgehoben. Die weitgehende Ausbildung des Postwesens in Hinsicht auf Beförderung von Briefen und Paketen, sowie auf den durch die Post vermittelten Nachrichten- und Geldverkehr ist durch die Eisenbahnen unabweislich angeregt und überhaupt ermöglicht worden. Die heute für die Einrichtung der Post im allgemeinen geltenden Grundsätze sind zwar schon vor Einführung der Eisenbahnen — zuerst in Preußen durch den großen Kurfürsten — festgestellt und als Richtschnur für die weitere Ausgestaltung genommen worden; mit der Einführung der Eisenbahnen aber gewann das Postwesen insofern eine neue Gestalt, als nunmehr nach und nach der Postverkehr auf die Eisenbahnen überging, die ihn teils ohne Entgelt, teils gegen eine die Selbstkosten nicht erreichende Entschädigung besorgen; so übersteigen z. B. in Preußen die Selbstkosten der von den Staatseisenbahnen im Interesse der Post bewirkten Leistungen den von dieser ver-

güteten Betrag um mehr als das Doppelte. Das Porto für einen einfachen Brief betrug in Preußen vor Eröffnung der Eisenbahnen vom Jahre 1825 an bis 2 Meilen 1 Sgr., für 4 bis 10 Meilen 2 Sgr., für 10 bis 15 Meilen 3 Sgr. usw. und kam für die weiteste Entfernung auf 19 Sgr. Schon nach Eröffnung der Eisenbahnen wurde das Briefporto ermäßigt; die höchste Taxe sank auf 6 Sgr.; nach wiederholter Verminderung wurden endlich durch den Vertrag von Bern (1874) die heute geltenden, überaus mäßigen Tarife geschaffen. Die Zahl der portopflichtigen Briefe betrug in Preußen im Jahre 1840 rund 23, im Jahre 1850 schon 46 Millionen, während die deutsche Reichspost im Jahre 1898 über 4 Milliarden Sendungen beförderte. An Postpaketen übernahm die deutsche Reichspost im Jahre 1883 74 Millionen Stück zur Beförderung; in den übrigen Ländern des Weltpostvereins, in denen die günstigen Bedingungen für den Postpaketverkehr nicht bestehen, erreichte dieser zusammen 52 Millionen Stück.

Durch die Ermöglichung rascher Massentransporte hat das Eisenbahnwesen auch eine so große militärische Bedeutung erlangt, daß die Rücksichtnahme auf militärische Interessen heute bei dem Bau und Betrieb von Eisenbahnen fast in erster Linie steht, ja sogar viele Bahnen nur im Hinblick auf militärische Rücksichten geschaffen werden. Die Eisenbahnen vermitteln die rasche Zusammenziehung der Truppen an wichtigen Punkten, sie machen selbst die gewaltigsten Heere leicht beweglich und sichern ihnen die notwendige Pünktlichkeit der Verpflegung; erst durch die Einführung der Eisenbahnen ist das Aufgebot jener ungeheuren Menschenmassen, mit denen die modernen Kriege geführt werden, in das Gebiet der Möglichkeit gerückt worden.

Im Anfange des Eisenbahnwesens traten wohl die widerstreitendsten Meinungen über die Art der Benutzung dieses neuen Verkehrsmittels für militärische Zwecke hervor; aber schon im Jahre 1850, gelegentlich des drohenden Konfliktes zwischen Preußen und Österreich-Ungarn spielte die Durchführung des strategischen Aufmarsches mittels der Eisenbahnen eine wichtige Rolle. Die Kriegsergebnisse des Jahres 1866 führten dann den Wert eines guten Eisenbahnnetzes deutlich vor aller Augen. Die Erfahrungen dieses Kriegsjahres wurden dann durch den musterhaft vorbereiteten und erstaunlich rasch durchgeführten Aufmarsch der deutschen Armee im Jahre 1870 bestätigt¹⁾.

Nach den Ergebnissen der Statistik wurden in der Zeit vom 24. Juli bis 3. August 1870 deutscherseits in rund 1200 Zügen 350 000 Mann, 87 000 Pferde, 8400 Geschütze und Fahrzeuge an die Grenze befördert und dabei die einzelnen Linien täglich mit 12 bis 18 Zügen von 60 bis 100 Achsen belastet. Hierbei ist wohl zu berücksichtigen, daß das damalige bunte Durcheinanderlaufen von Privat- und Staatsbahnlinien bedeutende administrative und technische Schwierigkeiten bereitete. In Frankreich war der ungestörte Aufmarsch nicht möglich, weil wenige und mangelhafte Bahnlinien zur Verfügung standen (drei Linien mit zum Teil eingleisigem Oberbau), weil eine Organisation für Militärtransporte fehlte und die Ausrüstung der Nebenbahnen sich als unzulänglich erwies²⁾; der letztere Umstand machte sich namentlich

¹⁾ Zanantoni, Eduard, Die Eisenbahnen im Dienste des Krieges und moderne Gesichtspunkte für deren Ausnutzung. Wien 1904.

²⁾ Im Jahre 1890 besaß Frankreich schon neun fast durchaus zweigleisige, nach der Ostgrenze führende Eisenbahnlinien, wie überhaupt das gegenwärtige Bahnnetz Frankreichs infolge der in den Jahren 1870—71 gemachten Erfahrungen den militärischen Interessen vollkommen angepaßt erscheint.

dann sehr unangenehm bemerkbar, als die militärisch am besten ausgerüsteten Linien zum Teil in die Hände des deutschen Heeres gefallen und die Nebenlinien den nun an sie herantretenden Leistungen nicht gewachsen waren. Welche Bedeutung aber die Eisenbahnen für eine siegreich vordringende Armee besitzen, geht aus der Tatsache hervor, daß für die Gewinnung der Linie Rheims-Mézières-Diedenhofen-Metz-Saarbrücken die Belagerung der Festungen Soissons, La Fère, Mézières, Diedenhofen und Montmédy ausschließlich zu diesem Zwecke kein zu großes Opfer schien und daß im Jura Eisenbahnlinien unter Aufbietung aller Kräfte hergestellt und betrieben wurden.

Die Mobilisierung der russischen Armee im Jahre 1876 zeigte die Notwendigkeit, bezüglich der Zuführung des Aushilfsmaterials, namentlich der Lokomotiven, schon im Frieden die weitestgehende Vorsorge zu treffen. Jedenfalls ist ohne ein vorzüglich ausgerüstetes Eisenbahnnetz und ohne tüchtige Eisenbahnbeamte ein militärischer Erfolg in einem künftigen Feldzuge nicht zu erringen. Andererseits darf aber nicht übersehen werden, daß die Eisenbahnen bei aller Leistungsfähigkeit doch Verbindungslinien bilden, auf deren Starrheit und Schwerfälligkeit der Heerführer oft weitergehende Rücksicht nehmen muß, als ihm dies im Interesse des raschen und ununterbrochenen Fortschreitens seiner Offensivbestrebungen lieb sein wird. Es ist daher das hohe Interesse begreiflich, das die Heeresleitungen den Straßenselbstfahrern zuwenden¹⁾.

Die Verbesserung der Verkehrsmittel infolge Einführung der Eisenbahnen ist auch in staatlicher und sozialer Beziehung nicht ohne Einfluß geblieben. Das Staatsbewußtsein, das Gefühl der Zusammengehörigkeit selbst der am weitesten entfernt liegenden Provinzen eines Staates wird durch Erleichterung des gegenseitigen Verkehrs, durch das Hinstreben der Eisenbahnlinien nach dem Mittelpunkte, nach der Hauptstadt des Reiches geweckt und gefördert. Sprache, Sitte und Trachten gleichen sich mehr und mehr aus und verlieren ihre Sondergefühle nährende Eigenschaft. Die Staatsregierung gewinnt einen raschen und nachhaltigen, mehr persönlichen Einfluß bei der Ausübung der ihr zustehenden Gewalt auch in den fernsten Bezirken. Die Steuerkraft des Landes wird erhöht und die Eisenbahnen selbst werden zu bedeutenden Einnahmequellen für den Staat, nicht zum wenigsten durch die ihnen auferlegten Leistungen für öffentliche Zwecke. Die einzelnen Staaten sind im Zeitalter der Eisenbahnen einander näher getreten, politische und nationale Gegensätze wurden vermindert und internationale Vereinbarungen von größter Tragweite für das Wirtschaftsleben aller Kulturvölker, beispielsweise bezüglich der Münzen, Maße und Gewichte, der Post usw., getroffen. Sehr richtig bemerkt Sax, daß die Eisenbahnen die Anlässe zu Kriegen sicherlich vermindern.

In sozialer Beziehung erscheint die Ermöglichung der freien Bewegung auch für die unteren, ärmsten Klassen der Bevölkerung als die wichtigste Folge der Einführung der Eisenbahnen. Der Arbeiter ist nicht mehr so unlösbar wie in früheren Zeiten an die Scholle gebunden, er kann den Erwerb dort suchen, wo er seine Arbeitskraft am besten verwerten kann, wo ein Bedarf nach derselben, sowie nach seinen etwaigen besonderen Kenntnissen oder Leistungen vorhanden ist. Auch eine Verbesserung der Wohnungsverhältnisse für die ärmeren Volksklassen ist mit Hilfe der Eisenbahnen möglich geworden. Die Eisenbahnen, diese »demokratischen« Verkehrs-

¹⁾ Engels, Das militärische Verkehrswesen der Gegenwart. Berlin 1902.

mittel, haben die schroffen Gegensätze zwischen den einzelnen Ständen beseitigt, sie haben den Kastengeist gemildert und auch in den untersten Schichten der Bevölkerung das Bewußtsein ihrer Daseinsberechtigung und ihres Rechtes auf Berücksichtigung im staatlichen und sozialen Leben wachgerufen.

§ 6. Wirkungen der Eisenbahnen. Fortsetzung. — Wie auf die Entwicklung des wirtschaftlichen, des staatlichen und sozialen Lebens, so haben die Eisenbahnen auch auf jene der Wissenschaften und Künste einen mächtigen Einfluß ausgeübt, und zwar nicht allein durch die von ihnen bewirkte Verbesserung des Verkehrs, wodurch Studienreisen, Kongresse aller Art, Ausstellungen usw. erleichtert und ermöglicht wurden, sondern vielfach auch durch die Neuartigkeit ihrer Erscheinung, durch die vielen eigenen Anforderungen und Bedürfnisse und die ungewöhnlichen Verhältnisse, welche durch die Anlage und den Betrieb der Eisenbahnen geschaffen wurden. Am großartigsten zeigt sich dieser Einfluß in der Blüte der Ingenieurwissenschaften und aller mit diesen zusammenhängenden und verwandten Disziplinen; der Bau- und Maschinentchnik, wie auch der Hüttentechnik erwuchs eine Fülle neuer Aufgaben; der Brückenbau entwickelte sich in rascher Weise. Der Straßenbau hat durch das Bedürfnis nach besseren Verkehrswegen, das die Eisenbahnen wachgerufen haben, eine bedeutsame Förderung erfahren; nicht minder aber auch der Wasserbau, namentlich bezüglich Regelungs- und Schutzanlagen, die zur Sicherung des Bestandes der Eisenbahnen erforderlich wurden. Für die theoretischen Fächer entstand eine Reihe wichtiger Fragen, die zu steten neuen Forschungen und zur Erweiterung des technischen Gesichtskreises führten; es ist besonders der Eisenbahnoberbau, der in dieser Beziehung manche neue Aufgabe stellte. Die Elektrotechnik ist im wahrsten Sinne des Wortes ein Kind der Eisenbahnzeit; erst unter dem mächtigen Drucke des Eisenbahnbetriebes, der zu seiner Sicherung einer Kraft bedurfte, welche auch die am schnellsten vorwärts eilende Dampfmaschine an Geschwindigkeit übertrifft und ihre Wirkung nicht bloß am Punkte ihrer Erzeugung, sondern auch auf weite Entfernungen hin äußert, ist die Elektrotechnik aus ihren ängstlichen Anfängen herausgetreten und hat sich in jener großartigen Weise entwickelt, welche selbst den Fachmann mit Bewunderung erfüllen muß.

In gesundheitlicher Beziehung bietet der Eisenbahnbetrieb viele neuartige Momente, welche die Ausbildung der medizinischen Wissenschaften gefördert haben und auch fernerhin noch von Bedeutung bleiben werden. Die Rückwirkung ist allerdings zumeist keine unmittelbare, wie z. B. bei den technischen Wissenschaften; sie ist mehr oder weniger eine mittelbare und zwar insofern, als der Eisenbahnverkehr die allgemeinen Gesundheitsverhältnisse der Bevölkerung, sowie auch die Gesundheit des Einzelnen, namentlich des mit der Ausübung des Verkehrsdienstes betrauten Personals nicht unberührt läßt und so zu neuen Forschungen und Studien Veranlassung gibt; die Gefahr der Verbreitung von Krankheiten ist größer geworden und kann nur durch energische, früher nicht gekannte Hilfs- und Schutzmittel abgewendet werden; die Reisenden leiden unter den Einwirkungen der Fahrt und ihrer vielen, die regelmäßige Tätigkeit aller Organe beeinträchtigenden Erscheinungen, während die Eisenbahnbediensteten je nach dem ihnen obliegenden besonderen Berufe, wie Lokomotivdienst, Stationsdienst, Zugbegleitungsdienst usw. besonderen sich allmählich entwickelnden oder plötzlich auftretenden Erkrankungen unterworfen sind.

Der Eisenbahnbetrieb hat übrigens auch erst auf manche Schwäche des menschlichen Organismus aufmerksam gemacht, die früher unbeachtet blieb, weil sie in ihren

Folgen ohne Bedeutung war, so auf die sogen. Farbenblindheit, das sind Farbensinnstörungen, die hauptsächlich die Erkenntnis und Unterscheidung der roten und grünen Signalfarben betreffen; diese Störungen waren schon 1853 von Wilson erkannt worden, erregten aber erst im Jahre 1875 allgemeines wissenschaftliches und praktisches Interesse, als auf einer schwedischen Bahn ein Zusammenstoß stattfand, dessen Ursache auf eine Verwechslung der farbigen Signallaternen von seiten des Lokomotivführers zurückgeführt werden mußte¹⁾. Wir verdanken den billigeren Bezug fremdländischer Arzneimittel, die hierdurch erst eine allgemeinere Verwendung finden konnten und die Behandlung gewisser Krankheiten in neue Bahnen lenkten, vornehmlich den Eisenbahnen, die übrigens auch ermöglichten, manche epidemisch auftretenden Krankheiten am Orte ihres Entstehens aufzusuchen, zu studieren und mehr oder weniger erfolgreich zu bekämpfen. Es wäre füglich auch zu betonen, daß gerade im Eisenbahnbetrieb, dessen sichere Abwicklung stets nüchterne und verlässliche Beamte verlangt, die Bestrebungen nach Mäßigkeit im Genuß des Alkohols nachhaltige Förderung finden.

Die Geographie erfuhr durch die Erleichterung des Reisens in ferne Länder eine erfreuliche Bereicherung und Vertiefung; die Verbreitung geographischer und ethnographischer Kenntnisse wurde eine allgemeinere; die Reiselust steigerte sich, das Touristenwesen nahm einen lebhaften Aufschwung, die Alpenwelt wurde den weitesten Kreisen erschlossen. Hand in Hand hiermit ging die Ausbildung des Wissens auf dem naturgeschichtlichen und naturwissenschaftlichen Gebiete. Auch die Weltgeschichte wurde durch die Eisenbahnen in ihrer Ausgestaltung begünstigt, insofern das Quellenstudium durch den erleichterten Verkehr ebenfalls erleichtert wurde. Die Statistik ist erst im Zeitalter der Eisenbahnen zu einer Wissenschaft geworden, die auch für das Eisenbahnwesen selbst große Wichtigkeit erlangt hat; auch Gesetzgebung und Rechtslehre fanden sich mit der Entwicklung der Eisenbahnen vor immer neue, wichtige Aufgaben gestellt. Ursprünglich wurden die Eisenbahnen im Hinblick auf die Gesetzgebung und überhaupt alle juridischen Fragen in gleicher Weise wie die Landstraßen und demgemäß auch die Frachtgeschäfte nach den Bestimmungen für gewöhnliche Frachtfuhren behandelt. Aber die besondere Stellung der Eisenbahnen im Wirtschaftsleben und die eigentümlichen Rechtsverhältnisse derselben drängten bald zu besonderen gesetzlichen Bestimmungen über Konzessionierung, über Enteignung von Grund und Boden, über Handhabung der staatlichen Aufsicht usw.; auch die einzelnen Staaten begegneten sich auf dem Gebiete der Eisenbahngesetzgebung in mancherlei gleichen Bestrebungen, die zu dem Abschlusse internationaler Eisenbahnverträge führten. Die Rechtsprechung begegnete immer neuen Erscheinungen, weil sich fast täglich neue Beziehungen und dabei auch strittige Punkte zwischen den Bahnverwaltungen, dem Publikum usw. ergeben; die Eisenbahnrechtsprechung bildet ein besonderes, wichtiges Kapitel der Rechtswissenschaft, das gründliche Pflege an den Hochschulen erfordern würde.

Der Volkswirtschaftslehre erwachsen nach dem Auftreten der Eisenbahnen ganz neue Aufgaben. Mit unwiderstehlicher Gewalt drangen die Eisenbahnen umgestaltend in das gesamte wirtschaftliche Leben ein; sie schufen neue Grundlagen für dessen Abwicklung, bewirkten in allen seinen Verhältnissen vielfach jäh oder doch mit verblüffender Raschheit sich folgende Veränderungen und führten zu ganz

¹⁾ Dr. Th. Gelpke, Über die Beziehungen der Farbenblindheit zum Eisenbahnbetrieb.



entschiedenen Verschiebungen des Verkehrs. Die Fragen, ob der Bau von Eisenbahnen dem Staate vorbehalten oder den Privaten überlassen werden soll, ob der Staat die letzteren zu unterstützen habe oder nicht, ob es zweckmäßiger sei, den Betrieb in den Händen des Staates oder der Privaten zu belassen, beschäftigen noch heute, obgleich dieselben schon in einigen Staaten endgültig entschieden sind, Politiker und Volkswirte und zeitigen auf den besonderen Schaffensgebieten beider manchen wertvollen Gedanken und manche wertvolle Anregung.

Es hieße die Bedeutung der Eisenbahnen nur einseitig würdigen, wenn nicht auch jener Einflüsse und Wirkungen gedacht würde, welche vielfach als ungünstige für die Entwicklung des Kulturlebens bezeichnet werden und von einigen Schriftstellern in den Anfangszeiten des Eisenbahnwesens sogar als solche Erscheinungen gekennzeichnet wurden, die gegen die Ausführung und Verbreitung der Eisenbahnen sprechen. Es erscheint nicht zweifellos richtig, von ungünstigen Eigenschaften, von Nachteilen der Eisenbahnen zu sprechen, denn diese können nur in gewisser Beziehung als solche bezeichnet werden, d. h. diese Wirkungen der Eisenbahnen zeigen sich nachteilig nur in Rücksicht auf das schon Errungene, Bestehende und Gebräuchliche, nicht aber im Hinblick auf das zu Erringende, Kommende und Neuartige. Ob das Festhalten am Alten oder das Erringen des Neuen für den Fortschritt der menschlichen Kultur geeigneter und besser gewesen wäre — das zu beurteilen steht erst der Zukunft bevor, welcher die ferneren Wirkungen nicht mehr fremd oder unklar sein werden, wie sie es der Gegenwart sind.

Als ein wesentlicher Nachteil der Eisenbahnen wird die Verschiebung des Verkehrs bezeichnet, welche der Beschränktheit ihrer Anlage, der Abhängigkeit vom Schienenwege entspricht und sich in der allmählichen Verarmung der vom Eisenbahnnetze ausgeschlossenen Gegenden am schärfsten ausprägt. Diese Folgewirkung wird — wenn man nur die Allgemeinheit im Auge behält — in überwiegendem Maße durch den zunehmenden Wohlstand und Reichtum der von den Schienenwegen durchzogenen Landstriche wieder ausgeglichen. Daß einzelne Gegenden durch den Bau von Eisenbahnen leiden, ebenso wie einzelne Personen genötigt werden, neue Erwerbszweige zu suchen oder in Not geraten, kann nicht von vornherein als ein Übelstand bezeichnet werden. Übrigens bringt der in letzterer Zeit lebhaft geförderte Bau einfacher, billiger Bahnen mit einfachem, billigem Betriebe auch in dieser Hinsicht wieder Veränderungen der wirtschaftlichen Verhältnisse hervor, die wohl nicht so grell zutage treten, wie bei Hauptbahnen, immerhin aber recht fühlbar werden können. Solche Erscheinungen lassen sich jedoch im Wechsellaufe der kulturellen Entwicklung einfach nicht vermeiden.

Auch das mit einzelnen unleugbaren Schattenseiten verbundene Anwachsen der großen Städte, das durch die Eisenbahnen begünstigt und gefördert wird, kann nicht unbedingt als eine nachteilige Wirkung der letzteren hingestellt werden. Diese großen Städte sind die Mittelpunkte alles geistig regen Lebens, der Industrie und des Handels, sie sind die großen Abnehmer der Erzeugnisse des »flachen Landes«, das ohne ihren Bestand mit wesentlich ungünstigeren Umständen zu rechnen hätte; in den großen Städten ist die Quelle des für viele Länder so ergiebigen Touristenwesens, denn die in ihren Häusern zusammengedrückte Bevölkerung fühlt mehr als jede andere das Bedürfnis nach der erquickenden Luft der Berge und Wälder. Die großen Städte sind nicht mehr, wie einst, die Brutherde verheerender Krankheiten, seit es gelungen ist, deren Entstehung und Verbreitung in wirksamer Weise

zu verhüten; es stehen also den Vorteilen der Anhäufung großer Bevölkerungsmassen nicht mehr jene bedeutenden Nachteile gegenüber, welche eine Verurteilung der Eisenbahnen von diesem Standpunkte aus rechtfertigen würden.

Man sagt, daß die Eisenbahnen das internationale Hochstaplerwesen geschaffen, daß sie die schnelle Fortpflanzung ansteckender Krankheiten ermöglichen. Bieten aber nicht auch die Eisenbahnen die Mittel zu rascher Verfolgung und Dingfestmachung der Gauner? Gewähren sie nicht — wie schon angedeutet wurde — in der leichten und schnellen Entsendung von Ärzten und Hilfsmitteln die erfolgreichste Bekämpfung der Seuchen an ihren Entstehungsorten und in den von ihnen ergriffenen Gegenden, noch ehe die Seuchen ihre verheerende Wanderung antreten? Gerade im Zeitalter der Eisenbahnen können internationale Betrüger, wie sie frühere Jahrhunderte kannten, nicht mehr auftauchen, und gerade im Zeitalter der Eisenbahnen ist z. B. der Kampf gegen die Cholera ein erfolgreicher gewesen.

Mit Vorliebe wird auf die durch die Eisenbahnen geweckte und gepflegte Reiselust, als die Ursache der Unstetigkeit, der Unruhe und des Kosmopolitismus hingewiesen. In der Tat, unser Zeitalter trägt den Stempel der Hastigkeit, der Nervosität, einer gewissen Unruhe in allem Tun an sich; aber es darf diese Erscheinung wohl noch nicht als die endgültige Wirkung der Eisenbahnen aufgefaßt werden, sie ist vielmehr eine Folge der sich auf allen Gebieten vollziehenden Umwandlungen und wird schließlich eine Gestaltung annehmen, die vielleicht nichts weniger als einen Nachteil der Eisenbahnen darstellt.

Zum Schlusse der Ausführungen über die Bedeutung der Eisenbahnen sei es noch gestattet, mit wenigen Worten jener wissenschaftlichen Bestrebungen zu gedenken, welche den Einfluß der Eisenbahnen auf die Erhöhung des Volkswohlstandes in Ziffern auszudrücken suchen. Es ist klar, daß die Herabsetzung des Fahrpreises und des Frachtsatzes und die dadurch wachgerufene Steigerung des Verkehrs den Volkswohlstand in außerordentlichem Grade erhöhen mußten. Man bezeichnet die Summe, welche durch diese Verbilligung und Steigerung des Verkehrs auf den Eisenbahnen gegenüber den Landstraßen für das allgemeine Wirtschaftsleben gewonnen wurde, als den gemeinwirtschaftlichen Nutzen der Eisenbahnen. Seine Berechnung kann sich bei der großen Unbestimmtheit der in Betracht kommenden Faktoren nur in großen Umrissen bewegen. In einfacher Weise und mit befriedigender Genauigkeit löst Launhardt die interessante Frage¹⁾. Er nimmt das arithmetische Mittel aus dem jetzt auf den Eisenbahnen an der geleisteten Einheit (Tonnen- bzw. Personenkilometer) erreichten Betriebsüberschusse \ddot{U} und aus dem Unterschiede zwischen den Betriebskosten auf Eisenbahnen B_e und Landstraßen B_s und multipliziert diese Größe $\frac{\ddot{U} + (B_e - B_s)}{2}$ mit der von den Eisenbahnen geleisteten Verkehrsmenge.

Hiernach ermittelt er an der Hand der Betriebsergebnisse des Jahres 1891 den gemeinwirtschaftlichen Reingewinn der deutschen Eisenbahnen in diesem Jahre mit 2000 Millionen Mark. Dieser Nutzen der Eisenbahnen gelangt zum Ausdrucke in der Höhe der Grundrente, in der gesteigerten Ausbeute der mineralischen Bodenschätze, in dem Geschäfts- und Unternehmernergewinn der zahlreichen, erst durch die Eisenbahnen geweckten oder doch wesentlich geförderten Unternehmungen, in der erheblichen

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1894, S. 253—255.

Zunahme des Jahreseinkommens der Bevölkerung, in der Ermäßigung des Preises und in dem dadurch bewirkten größeren Umsatze vieler wirtschaftlicher Güter.

§ 7. **Geschichtliche Entwicklung der Spurbahnen.** — Der Ursprung der Eisenbahnen, d. i. der eigentlichen Spurbahnen, ist in den deutschen Bergwerken zu suchen. Er steht in keiner Beziehung zu jenen steinernen Gleisbahnen, welche auf den antiken Straßen Griechenlands bestanden, mit dem Niedergange des hellenischen Volkes aber allmählich und schließlich vollständig verschwunden sind und erst in der Neuzeit wieder entdeckt wurden. Die einfachen Holzbahnen, welche in den Stollen der deutschen Bergwerke die Beförderung der Kohlen und Erze vermitteln, waren das Ergebnis langjähriger Erfahrungen, Beobachtungen und Versuche der tätigen, werkerfahrenen Kunstmeister, welche bemüht waren, die Fortschaffung der »Hunde« durch Verminderung der Reibung ihrer Laufräder zu erleichtern.

Von Deutschland aus kam die Idee der hölzernen Spurbahn nach England. Um die Mitte des 15. Jahrhunderts wurden nämlich von der englischen Regierung Bergleute aus Böhmen, Österreich, den deutschen Ländern und Ungarn nach England berufen, um durch sie die Entwicklung des Bergbaues daselbst zu fördern. Hier trat alsdann die Spurbahn auch unter freiem Himmel auf. Das Bestreben, die Beförderung der Kohlen nach den Hafenplätzen zu beschleunigen und zu verbilligen, führte naturgemäß zu einer Verbesserung der Wege. Ursprünglich legte man in die ausgefahrenen Gleise der Straßen nur starke Bohlen, später stützte man diese auch mit Querschwellen, noch später — gegen die Mitte des 18. Jahrhunderts — war man schon zu kunstgerechten Anlagen gelangt. Man schenkte der Linienführung der Straßen Aufmerksamkeit, verlegte die kräftigen Querschwellen aus Eichenholz in gleichen, bestimmten Entfernungen und benutzte als Fahrschienen eichene Langhölzer von 6 bis 7" Breite und 4 bis 5" Stärke, welche mit den Querschwellen verdübelt wurden; zwischen die Langschwellen kam ein fester Steinschlag. Auf solchen Holzbahnen verkehrten in der Regel die gewöhnlichen Landstraßenfuhrwerke und es lag dann die obere Fläche der Holzbalken bündig mit der Straßenoberfläche. Bei anderen Holzbahnen waren die Längsbalken etwas höher verlegt und es besaßen die Fuhrwerke an ihren Rädern $1\frac{1}{2}$ " hohe Spurkränze, wodurch sie verhindert wurden, von den Schienen abzufallen; bei den Wendeplätzen kamen zuweilen Drehscheiben zur Verwendung.

Die ersten Verbesserungen an diesen hölzernen Spurbahnen betrafen die »Fahrschienen«. Der hölzerne Längsbalken, auf dem die Räder liefen, ging rasch zugrunde, seine Auswechslung war umständlich und kostspielig, weshalb man auf die mit den Querschwellen verbundene Langschwelle eine Bohle aus härterem Holze nagelte, die als eigentliche Fahrschiene diente und leicht ausgewechselt werden konnte. Von der hölzernen zur eisernen Fahrschiene war dann nur noch ein Schritt, und er geschah — wie so oft nachhaltige Fortschritte — unter dem Einflusse volkswirtschaftlicher Verhältnisse. Der Verbrauch an Steinkohlen hatte zwischen 1760 und 1770 einen großartigen Aufschwung genommen; auf den hölzernen Spurbahnen rollten unausgesetzt die Kohlenzüge von den Gruben zu den Verschiffungsplätzen, so daß die hölzernen Fahrschienen in ungewöhnlichem Maße abgenutzt wurden. Da beschloß Reynolds, der Eigentümer der Eisen- und Kohlenwerke zu Colebrookdale, seine Bahnen mit eisernen Schienen zu belegen. In den Werken lagerten mächtige Vorräte an Roheisengänsen, deren Wert infolge der maßlosen Überproduktion tief gesunken war; es erschien als ökonomisch gerechtfertigt, diese Vorräte wenig-

stens vorübergehend in anderer Weise nutzbar zu verwenden. Die ersten plattenförmigen Eisenschienen, welche am 13. November 1767 gegossen wurden¹⁾, waren 5' lang, $1\frac{1}{4}$ " dick und $4\frac{1}{2}$ " breit (Abb. 1); ihre Oberfläche bildete eine flache

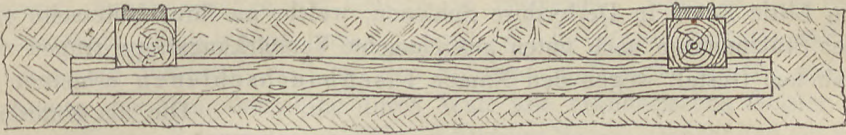


Abb. 1. Reynolds's Flachschiengleis (1767).

1 : 20.

Rinne, um den Rädern einen sicheren Lauf zu gestatten; sie waren mit drei Nagelöchern und auf der Unterseite mit den üblichen Bruchkerben versehen, so daß die Möglichkeit verblieb, sie nach dem Steigen der Eisenpreise wieder zu entfernen und anderweitig besser zu verwerten. Dies geschah jedoch nicht, obgleich bald darauf die Verhältnisse des Eisenmarktes sich wirklich besserten; die eisernen Schienen wurden nicht wieder entfernt, denn die Erfahrung weniger Jahre hatte die Vortrefflichkeit des Systems klar erwiesen und drängte im Vereine mit der zunehmenden Größe des Verkehrs zu steten Verbesserungen. Schon im Jahre 1776 ließ J. Curr²⁾ Gußeisenschienen mit einem Spurrande herstellen, um das Ablaufen der Räder von den Schienen zu verhüten; sie bestanden (Abb. 2) aus einer 5" breiten Platte mit einem $2\frac{1}{2}$ " hohen, rechtwinkelig angegossenen Rande; in der Mitte und an den Enden waren Löcher vorhanden, durch welche hölzerne oder eiserne Nägel in die hölzernen Querschwellen, welche später als Unterlagen dienten, eingetrieben wurden. Anfangs hatte man wohl auch noch Langschwellen verwendet; man erkannte jedoch bald, daß die Schiene steif genug war, um sich von Querschwelle zu Querschwelle frei zu tragen. Und gerade diese Erkenntnis, beziehungsweise deren Verwertung in der Praxis, führte zu neuen Vervollkommnungen des Schienenweges. Im Jahre 1789 benutzte Jessop die in Bergwerken schon bekannten gußeisernen Schienen mit hohem Profil und kopfartiger Verdickung — also eine Art Pilzschiene — auch für Eisenbahnen von den Kohlengruben zu den Hafenplätzen. Bei Verwendung solcher Schienen mußten dann die Räder der Fahrzeuge mit vorragenden Spurkränzen versehen werden. Damit aber waren die Eisenbahnfahrzeuge auf die ausschließliche Benutzung der Schienenwege angewiesen und die Trennung des Bahnverkehrs vom Straßenverkehre vollzogen. Die Eisenbahn trat als selbständiges Verkehrsmittel auf.

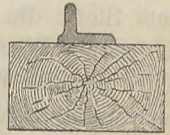


Abb. 2.

Curr's Schiene (1776).

1 : 10.

Die Vorteile des Schienenweges offenbarten sich immer deutlicher und wurden auch in weiteren Kreisen mehr und mehr erkannt und gewürdigt. Die Geschäftsunternehmung Homfray, Hill & Comp. trug daher nur einem größeren Bedürfnisse Rechnung, als sie sich im Jahre 1794 durch das englische Parlament die Konzession zur Anlage einer der allgemeinen Benutzung zugänglichen Pferdeisenbahn von Cardiff nach Merthyr-Tydfil in South-Wales erteilen ließ. Bei dem Betriebe dieser Bahn traten die Mängel des bisherigen Oberbaues schärfer hervor; neben der

¹⁾ Francis, History of the English Railroad.

²⁾ Curr, Coal viewer and engine builder, London 1790.

schlechten Einbettung und Befestigung des Gestänges, wodurch der Gang der Fahrzeuge beunruhigt wurde, führten besonders die häufigen Brüche der Schienen zu ersten Unfällen. Diesem Fehler sollte durch Verstärkung des Schienenquerschnittes abgeholfen werden. Benjamin Outram verwendete im Jahre 1799 auf der Kohlenbahn von Little Eaton in Derbyshire Schienen, welche an ihrer Unterseite eine zwischen den Stützpunkten nach unten ausgebauchte Verstärkungsrippe trugen und ihrer eigentümlichen Gestalt wegen den Namen Fischbauchschienen erhielten (Abb. 3).

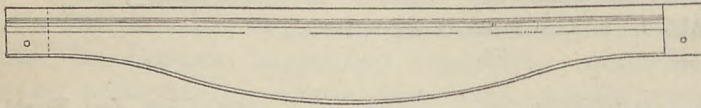


Abb. 3. Fischbauchschiene.
1 : 10.

Die als Unterlagen benutzten Steinwürfel waren ohne Querverbindungen in Entfernungen von etwa 4' angeordnet und die Schienen ruhten anfangs mit Hilfe an-

gegossener Ansätze auf den Würfeln; später ließ man diese Ansätze wegen ihrer leichten Zerbrechlichkeit weg und verwendete besondere Stühle zur Aufnahme der Schienenenden.

Trotz aller Bemühungen, die zu mannigfachen Abänderungen der Schienenform führten, gelang es nicht, die Betriebsunsicherheit der Schienenwege, die aus der geringen Widerstandsfähigkeit der Fahrschienen entsprang, zu beseitigen. Hervorragende Ingenieure erkannten sehr bald, daß nicht so sehr der Form, als vielmehr dem Stoffe die Schuld an diesen Übelständen beizumessen sei und daß nur ein entschiedener Wechsel des letzteren die ersehnte Hilfe bringen könne. Schon 1803 hatte Nixon an der Wallbottle-Kohlengrube bei Newcastle-on-Tyne schmiedeeiserne Schienen verwendet, aber wegen zu geringer Stärke derselben keinen Erfolg errungen. In den Steinkohlengruben des Lord Carlisle zu Tindalfell wurden im Jahre 1810 ebenfalls walzeiserne Barren als Schienen verlegt, aber auch hier war der Erfolg kein günstiger und es zeigte sich, daß die Räder durch die scharfen Kanten der Schienen stark abgenutzt wurden. Daneben bestand im allgemeinen die Besorgnis, daß die Schienen aus Schmiedeisen unverhältnismäßig rasch unter der Einwirkung des Rostes zugrunde gehen würden. Dennoch setzten einzelne Ingenieure die Versuche fort. Im Jahre 1820 gelang es in der Tat dem technischen Leiter der berühmten Bedlington-Eisenwerke, John Berkinshaw, das Auswalzen des Schmiedeisens in lange profilierte Stäbe mit Erfolg zu bewerkstelligen. Bald wurde die Erfindung für den Gleisbau der Eisenbahnen verwendet; aber jetzt, da man den Stoff gewechselt, blieb man — von einem begreiflichen Irrtum befangen — an der Form der gußeisernen Schiene haften. Man gab nämlich auch den schmiedeeisernen, in größeren Längen (15') gewalzten Schienen die Fischbauchform auf die durch den Abstand der Unterstützungsstellen bedingte Länge und beseitigte infolgedessen die Mängel des gußeisernen Gleises nur zum Teil. Die schmiedeeiserne Fischbauchschiene fand ihre erste ausgedehnte Anwendung auf der Stockton-Darlington-Eisenbahn, die im Jahre 1825 eröffnet wurde. In der zweiten Hälfte des zweiten Jahrzehnts endlich vollzog sich abermals ein wesentlicher Fortschritt in der Ausbildung des Gleisbaues durch die Einführung der gewalzten Schienen mit gleichem Querschnitt auf ihrer ganzen Länge. Damit aber hatte der Oberbau der Eisenbahn eine Ausbildung erlangt, die ihn als unmittelbaren Vorläufer des noch heute üblichen Stahlschienenoberbaues erscheinen läßt.

§ 8. **Geschichtliche Entwicklung der Dampffuhrwerke.** — Die Erfindung Berkinshaw's versetzte den Schienenweg in jenen besseren Zustand, der es gestattete, ihn auch mit Lokomotiven zu befahren. Die Entwicklung der letzteren kam nunmehr in rascheren Fluß. Die frühesten Versuche, die Dampfkraft in solcher Weise zur Beförderung der Wagenzüge auf Gleisen zu verwerten, fallen in den Beginn des 19. Jahrhunderts. Trevithick (geb. 13. April 1771 in Illogan) war der erste, welcher die Überzeugung aussprach, daß mit den Straßendampfwagen, welche seit der Vervollkommnung der Dampfmaschine durch Watt alle erfinderischen Geister in hohem Grade beschäftigten, kein entsprechender praktischer Nutzen erreicht und ein wirklicher, nachhaltiger Erfolg nur durch die Verbindung des Dampfwagens mit dem eisernen Schienenstrange gewonnen werden könnte. Im Jahre 1804 brachte Trevithick, den Max Maria von Weber mit vollem Rechte als den Ahnen der Lokomotiverfindung¹⁾ bezeichnet, seine erste bewegliche Dampfmaschine zum Ziehen beladener Wagen auf Spurbahnen in Anwendung. Es scheint, daß er mit dieser Lokomotive, wahrscheinlich infolge zu geringen Reibungsgewichtes, üble Erfahrungen machte, denn er selbst betonte die Notwendigkeit, in manchen Fällen die Lauffläche der Lokomotivräder rauh zu machen, um die Reibung zu vermehren, und lenkte hiermit die Entwicklung des Lokomotivbaues auf falsche Pfade, von denen erst nach einem vollen Jahrzehnt abgegangen wurde. Durch verschiedene Mittel — unter anderem auch durch Zahnräder und Zahnstangen — suchte man die vermeintlich zu geringe Reibung zwischen Rad und Schiene zu vermehren. Endlich gelangte W. Hendley, der Grubenaufseher Blackett's, durch ausgedehnte Versuche zu der Überzeugung, daß das Gewicht der Lokomotive mit glatten Radumfängen, dank der gleitenden Reibung zwischen Rad und Schiene, vollkommen ausreichend sei, um eine Zugkraft von genügender Größe auszuüben, wenn nur die erforderliche Anzahl Lokomotivräder zur Bewegung herangezogen, also das Reibungsgewicht erhöht würde. Blackett, welcher dieser Frage schon lange seine volle Aufmerksamkeit zugewendet hatte, machte sich diese Erkenntnis sofort zu Nutzen und im Jahre 1813 lief auf seinen Kohlenbahnen die erste reine Reibungslokomotive. Fast zu gleicher Zeit und unabhängig von ihm erbaute der Maschinenwärter George Stephenson (geb. am 9. Juni 1781 zu Wylam, gest. in Tapton-House am 12. August 1848), welcher bei seinen Bemühungen um den Bau einer fahrenden Dampfmaschine von Anfang an den richtigen Weg gegangen war, seine erste Reibungslokomotive, welche wegen der Anwendung des Blasrohres bemerkenswert ist und sich im allgemeinen gut bewährte, so daß Stephenson sich mit dem ganzen Scharfsinne seines Genies auf die weitere Ausbildung der Lokomotiven verlegte. Schon im Jahre 1824 gründete er mit Hilfe von Eduard Pearse die später von seinem Sohne Robert betriebene Lokomotivfabrik in Newcastle, aus welcher die erste Lokomotive für die Stockton-Darlington-Bahn hervorging. Bei dieser Maschine war die Kuppelung der Triebräder, anstatt durch die bis dahin zumeist angewandten, aber nicht betriebssicheren Ketten, mit Hilfe von Kuppelstangen bewirkt. Mit unermüdlichem Eifer wurde an der Vervollkommnung der Lokomotive weitergearbeitet. Im Jahre 1825 wurden Lokomotiven mit zwei besonderen vierräderigen Gestellen erbaut; im gleichen Jahre brachte Hackworth zum ersten Male die Dampfzylinder zu beiden Seiten des Kessels an und versetzte die Kurbeln der Treibachse um 90°, wodurch der Fortlauf der Lokomotive auch für den Fall gesichert wird, daß die

¹⁾ Weber, Der Ahne der Lokomotiverfindung, Westermann's Monatshefte, 1876.

Kurbel des einen Triebrades auf dem todten Punkte steht. Hackworth war es auch, der auf der Lokomotive eine durch Exzenter betriebene kurzhubige Speisewasserpumpe anbrachte und die Gewichte der Sicherheitsventile durch Federn ersetzte.

Diese Fortschritte und die durch sie erreichten Erfolge ermutigten Stephenson, für den gesamten Betrieb auf der Eisenbahn von Liverpool nach Manchester, deren Bau er leitete, die ausschließliche Anwendung von Lokomotiven in Vorschlag zu bringen. Hatte es schon bedeutende Schwierigkeiten verursacht, überhaupt die Genehmigung für den Bau einer Eisenbahn zwischen den beiden durch Kanäle verbundenen Städten zu erhalten, so begegnete die Idee, auf derselben nicht nur die Kohlenzüge — wie auf der Stockton-Darlington-Bahn — sondern auch die Personenzüge mit fahrenden Dampfmaschinen zu befördern, heftigen Widerspruch. Die ersten Techniker Englands traten dagegen auf und selbst die Direktoren der Liverpool-Manchester-Eisenbahn zögerten lange, dem Antrage ihres Chef-Ingenieurs zuzustimmen. Endlich entschied man sich für eine Preisausschreibung auf Lokomotiven als den günstigsten Ausweg aus dem Kampfe und Widerstreit der Meinungen. Die erste Bedingung dieser Preisausschreibung lautete dahin, daß die Lokomotive ihren Rauch verzehren müsse. Außerdem sollte sie nicht mehr als 6 t wiegen und bis Rauchfangoberkante nicht höher als 4,5 m sein; auf der horizontalen Bahn hatte sie bei 3,5 kg Dampfspannung einschließlich des Kohlenwagens 20 t Gewicht mit einer Geschwindigkeit von 16 km in der Stunde zu befördern; der Achsdruck durfte 2 $\frac{1}{4}$ t nicht übersteigen, der Anschaffungspreis nicht über 550 Pfd. Sterling hinausgehen. Der Preis für die beste Lokomotive war mit 500 Pfd. Sterling festgesetzt.

Zu den berühmten Wettfahrten, welche am 1. Oktober 1829 auf der Ebene von Rainhill begannen, waren fünf Lokomotiven angemeldet worden: Bradreth's »Cyklop«, Braithwaite & Erikson's »Novelty«, Stephenson's »Rocket«, Hackworth's »Sanspareil« und Burstall's »Perseverance«. Der »Cyklop« mußte einiger Gebrechen halber von den Wettfahrten abstehen und die »Perseverance« wurde überhaupt nicht zu den Versuchen zugelassen, weil sie mehreren Bedingungen nicht entsprach. Die »Novelty« aber, welche einige vorzüglich ausgeführte Einzelkonstruktionen aufwies, trat mitten im Wettlaufen vom Kampfplatze zurück, weil ihr Gebläse versagte, und die »Sanspareil« erwies sich zu schwer und konnte ihres großen Brennstoffverbrauches wegen nicht genügen. Nur die »Rocket« (Abb. 4) zeigte in allen ihren Teilen das

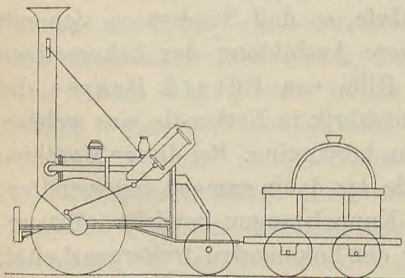


Abb. 4. »Rocket« (1829).

richtige Verhältnis zwischen Beanspruchung und Widerstandsfähigkeit und vermochte alle Bedingungen der Preisausschreibung ohne Anstand, ja glänzend zu erfüllen.

Stephenson hatte seiner Lokomotive auf Empfehlung des Sekretärs Booth die angeblich von Séguin, dem Direktor der Eisenbahn von St. Etienne nach Lyon, erfundenen Feuerröhren gegeben, und zwar 25 Stück, und auf solche Weise eine verhältnismäßig große Heizfläche geschaffen, wie sie durch die einfachen Kessel der stehenden Dampfmaschine nicht erreicht werden konnte; die Zylinder der »Rocket« hatten 203 mm Durchmesser und 419 mm Hub, ihre Treibräder 1434 mm Durchmesser; die Rostfläche betrug 0,557 qm, die Feuerbüchsheizfläche 1,858 qm, die Röhrenheizfläche 10,943 qm. Die »Rocket« wog dienstbereit 4,50 t, ihr Tender mit

Wasserfaß 3,06 t. Der gebrauchte Dampf wurde durch ein Blasrohr in den Rauchfang geleitet. Dieses Blasrohr war, wie schon erwähnt, eine Erfindung Stephenson's; es bildet mit eine Grundlage der Lebensfähigkeit der Lokomotive, weil es die Herstellung des für die Erhaltung einer kräftigen Feuerung notwendigen Luftzuges durch den Rost, die Feuerbüchse und die Feuerröhren ermöglicht.

Stephenson blieb bei dem Erungenen nicht selbstzufrieden stehen; seine »Rocket« war für die kommenden Lokomotiven nur ein Vorbild, wenn auch ein mustergültiges. Seine »Northumbrian«, welche am 15. September 1830 die Fahrten auf der Liverpool-Manchester-Eisenbahn eröffnete, trug schon 90 Feuerröhren in ihrem Kessel und zeigte mannigfache Verbesserungen in der Anordnung und Ausführung der Einzelteile. Einen weiteren Schritt nach vorwärts machte Hackworth, dieser ideenreiche, aber in seinen Ausführungen nicht immer glückliche Konstrukteur, indem er zwei innenliegende, wagrechte Zylinder anbrachte und deren Kolbenstangen direkt auf eine doppeltgekröpfte Treibachse wirken ließ, während die Schieber durch je ein besonderes Exzenter angetrieben wurden. Die Grundzüge dieser Bauart sind noch heute in England maßgebend für den Lokomotivbau.

Der »Planet« (Abb. 5), den Stephenson im Jahre 1831 mit Berücksichtigung aller bis dahin gewonnenen Erfahrungen erbaute, hatte bereits 129 Feuerröhren mit einer Heizfläche von 34,34 qm, ferner eine Feuerbüchsheizfläche von 3,46 qm und vier Räder von 1,523, beziehungsweise 0,914 m Durchmesser; er wog dienstbereit 9,1 t und beförderte Züge von 77 t mit der größten

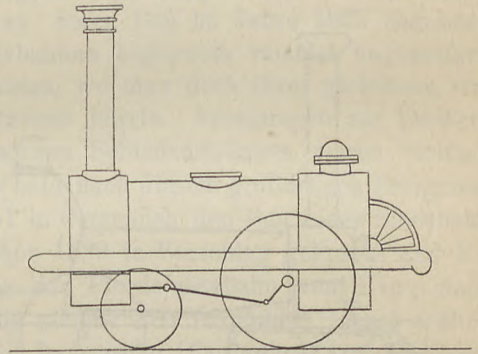


Abb. 5. »Planet« (1831).

Geschwindigkeit von 24 km in der Stunde auf horizontaler Strecke auch bei ungünstigem Winde. Hawthorn in Newcastle führte im Jahre 1837 für jeden der

beiden Zylinder zwei feste Exzenter ein, je eines für Vor- und Rückwärtsgang; die Verbindung mit dem Schieber war jedoch noch sehr verwickelt. Ihre erfolgreiche Vereinfachung gelang erst R. Stephenson, dem Sohne des Erfinders der Lokomotive; seine berühmte Steuerung — worunter die Gesamtheit aller jener Teile ver-

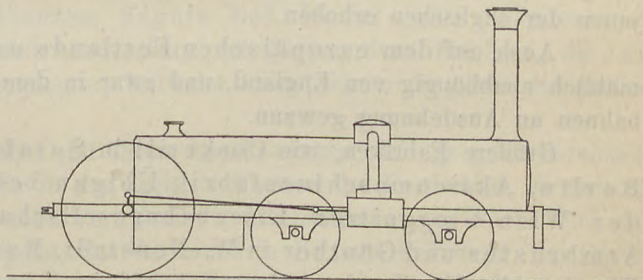


Abb. 6. Cramptonlokomotive (1846).

standen wird, welche die Regelung des Dampfzutrittes zu den Zylindern gestatten — gelangte im Jahre 1842 zur ersten Anwendung. Eine durch lange Zeit sehr beliebte Lokomotivbauart (Abb. 6) wurde endlich im Jahre 1846 dem Ingenieur Crampton patentiert: die Treibachse liegt bei ihr hinter der Feuerbüchse und sie besitzt Räder von sehr großem Durchmesser; der Schwerpunkt liegt tief, das gesamte Laufwerk befindet sich außen. Die Cramptonlokomotiven der South-Eastern-Eisenbahn vermochten 44 t mit 104,8 km in der Stunde zu befördern; ähnliche »ungekuppelte« Lokomotiven

sind noch bis vor kurzem für leichten Schnellzugsverkehr auf englischen Bahnen mit nicht ungünstigen Neigungsverhältnissen im Dienste gestanden.

Der Sieg der »Rocket« und der Erfolg des Lokomotivbetriebes auf der Eisenbahn von Liverpool nach Manchester erregten die Aufmerksamkeit in allen Kulturländern. Zunächst nahm wohl Amerika den regsten Anteil an der weiteren Ausbildung des Eisenbahnwesens und namentlich der Lokomotive selbst. Hier entstanden schon in den ersten Jahren nach 1829 neue und eigenartige Lokomotivkonstruktionen. Unter anderen entwarf Horatio Allen, welcher die erste Lokomotive von England nach Amerika gebracht hatte, im Jahre 1831 eine achträderige Doppellokomotive. Die Entwicklung des Drehgestells, das den Lauf der Lokomotive durch die Bögen erleichtert, weil es die Achsenentfernung vermindert, war von Stephenson bereits im Jahre 1825 angewandt worden und blieb nach seiner erfolgreichen Einführung in den Lokomotivbau durch William Norris vorwiegend in amerikanischen Händen, da es für die damaligen mangelhaften Gleisanlagen und die scharfen Bahnkrümmungen unerlässlich erschien (Abb. 7). Baldwin erbaute 1836 und 1837 Lokomotiven von

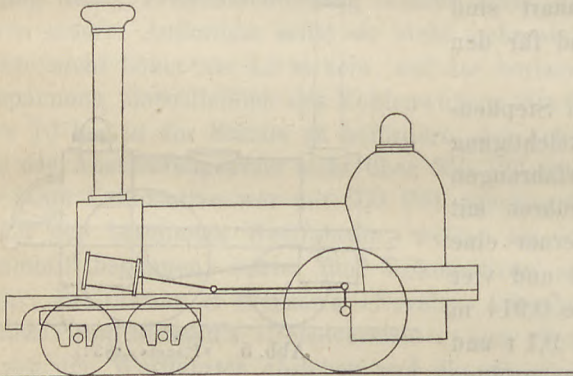


Abb. 7. Lokomotive mit Drehgestell (1840).

12,5 t Dienstgewicht auf einer Achse und für einen Dampfdruck in den Zylindern von 8 bis 9 at; er überholte in letzterer Beziehung auf solche Weise die englischen Konstrukteure, die über 4,2 at nicht hinausgegangen waren. Hierzu traten noch verschiedene bauliche Einzelheiten, welche in Amerika infolge der hier obwaltenden besonderen Verhältnisse im Bau und Betrieb der Eisenbahnen eine eigentümliche, vorteilhafte

Ausgestaltung erfuhren und den Ruf der amerikanischen Lokomotiven selbst über jenen der englischen erhoben.

Auch auf dem europäischen Festlande machte sich der Lokomotivbau allmählich unabhängig von England, und zwar in dem Maße, als der Bau der Eisenbahnen an Ausdehnung gewann.

Größere Fabriken, wie Cockerill in Seraing, Dr. Kufahl und Borsig in Berlin, Aktienmaschinenfabrik Übigau bei Dresden, Maschinenfabrik der Wien-Gloggnitzer Eisenbahngesellschaft in Wien, Prevenhuber, Armbruster und Günther in W.-Neustadt, Maffei und Krauss in München, Kessler in Karlsruhe, Eggenstorff in Linden, Henschel in Cassel, Schneider in Creuzot wendeten sich frühzeitig dem Lokomotivbau zu und nahmen bestimmenden Einfluß auf dessen allmähliche Ausgestaltung.

Bei der ersten in Deutschland erbauten Lokomotive, der aus der Aktienmaschinenfabrik Übigau für die Leipzig-Dresdener Eisenbahn hervorgegangenen »Saxonia« (Abb. 8) findet sich das englische Vorbild noch scharf ausgeprägt. Borsig trat mit abgeänderten Norrislokomotiven in den Wettbewerb ein, während Eggels in Berlin schon frühzeitig mit einer deutschen Konstruktion — von Hoppe — hervortrat. In Österreich machte man sich verhältnismäßig sehr bald von

amerikanischen und englischen Mustern frei, ohne daß es jedoch in den ersten Jahrzehnten des Eisenbahnwesens gelang, selbst bestimmenden Einfluß auf die Gestaltung des Lokomotivbaues auszuüben. In Frankreich fand neben den schweren Lokomotiven für den Güterdienst die Cramptonlokomotive sehr ausgedehnte Anwendung; in Belgien haben insbesondere De Ridder und Belpaire manche wertvolle Verbesserung geschaffen, so unter anderem auch die Verankerung der Feuerbüchdecken mit Stehbolzen an Stelle der englischen Deckenbarren, welche die Kesselsteinbildung begünstigten.

§ 9. Entwicklung und Ausbildung der Eisenbahnen in Europa.

— Auf dem europäischen Festlande entstanden die ersten Eisenbahnen, mit Pferden betrieben, im dritten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts. Eine der bedeutendsten Pferdeisenbahnen, die dem allgemeinen öffentlichen Verkehre diente, war die Eisenbahn von Budweis nach Linz, deren Bau im Jahre 1825 begonnen worden war. Die Einführung der Lokomotivbahnen begegnete zumeist ungünstigen Anschauungen, selbst in kaufmännischen Kreisen, wo man doch ihrer gleichsam wie eines Erlösers aus schwerdrückenden Verhältnissen harrtete. Anregungen zur Verwendung der fahrenden Dampfmaschine auf eisernen Schienensträngen waren vielfach schon vor dem Siege der »Rocket« oder doch bald nach diesem großartigen Ereignisse gegeben worden; so hatte Professor Riepl in Österreich den Bau einer Eisenbahn von Brody an das adriatische Meer schon 1829 in Vorschlag gebracht und Fr. J. Ritter von Gerstner die Umgestaltung der Pferdeisenbahn von Linz nach Budweis in eine Lokomotiveisenbahn um die gleiche Zeit empfohlen. Noch früher, nämlich bereits im zweiten Jahrzehnt, trat der bayerische Oberbergrat und Professor J. v. Baader lebhaft für den Bau von Eisenbahnen ein und warnte späterhin vor der Wiederholung der Mängel des englischen Eisenbahnwesens in Deutschland, wobei er allerdings mitunter auf Irrpfade geriet. Außerdem sei an Henschel in Kurhessen, an Friedrich Harkort in Westfalen und den Rheinlanden, an v. Amsberg in Braunschweig erinnert. Der Franzose Séguin ließ die im Jahre 1828 eröffnete Kohlenbahn von St. Étienne nach Andrézieux mit Lokomotiven befahren, die, aus Stephenson's Fabrik hervorgegangen, teilweise nach seinen Angaben konstruiert waren.

Solche Männer blieben aber mit ihren Anschauungen anfangs ganz vereinzelt. Wenn auch Handel und Industrie in den meisten Staaten des Festlandes, so namentlich in Deutschland, aus den engen Verhältnissen hinausstrebten, so fehlte doch den Kapitalisten der Unternehmungsgeist, das Vertrauen in die neue Erfindung, der Glaube an deren Einwirkung auf die Belebung des Verkehrs und der Produktion. Man meinte vielfach, daß den dringendsten Bedürfnissen des Güter- und Personenverkehrs durch die Verbesserung und Erweiterung des Land- und Wasserstraßennetzes vollauf entsprochen werden könne und brachte hierfür auch namhafte Opfer, so namentlich in Frankreich, in einzelnen deutschen Ländern, in Österreich usw. Aus diesem letzteren Umstande entsprang auch zumeist die ablehnende Haltung der Regierungen. Dazu trat die weitere Tatsache, daß man den Lokomotiveisenbahnen im allgemeinen eine sehr geringe militärische Bedeutung beimaß, sie vielmehr als nachteilig für militärische Unternehmungen betrachtete; nur einzelne geniale Männer, wie Moltke,

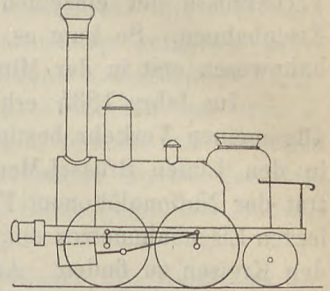


Abb. 8. »Saxonia« (1838).

Erzherzog Johann erkannten ihren Wert für die Kriegführung, blieben aber mit ihren Anschauungen vereinzelt. In Deutschland bildeten insbesondere die politischen Verhältnisse der einzelnen Länder ernstliche Hindernisse für die Ausbreitung der Eisenbahnen. So kam es, daß auf dem europäischen Festlande das Lokomotiveisenbahnwesen erst in der Mitte des vierten Jahrzehnts festen Fuß faßte.

Im Jahre 1835 erhielten Belgien und Deutschland die ersten, für den allgemeinen Verkehr bestimmten Lokomotiveisenbahnen des europäischen Festlandes in den Linien Brüssel-Mecheln, beziehungsweise Nürnberg-Fürth. In Deutschland trat der Nationalökonom Friedrich List für die Schaffung eines einheitlich angelegten Eisenbahnnetzes ein, ohne hierfür jedoch volles Verständnis in den maßgebenden Kreisen zu finden. Am 6. Januar 1838 wurde in Österreich die Linie Wien-Wagram als Teilstrecke der Kaiser-Ferdinands-Nordbahn, die aus Riepl's Projekt hervorgegangen war, eröffnet; desgleichen im selben Jahre in Frankreich die Eisenbahn von Paris nach St. Germain und in Rußland die von Fr. J. R. v. Gerstner erbaute Linie von St. Petersburg nach Zarskoje-Selo, welche als Probe- und Musterbahn für das von ihm entworfene und gut ausgedachte russische Eisenbahnnetz dienen sollte. Im Jahre 1839 folgten das Königreich der Niederlande (Amsterdam-Harlem) und das Königreich Neapel (Neapel-Portici).

Die Ausbreitung des Eisenbahnnetzes schritt in den einzelnen Staaten mehr oder minder rasch fort, je nachdem die wirtschaftlichen, politischen und sozialen Verhältnisse mehr oder weniger günstig waren¹⁾. Wie in England und den Vereinigten Staaten von Nordamerika blieben auch auf dem europäischen Festlande die Anlage und der Betrieb der Eisenbahnen zunächst vollständig dem Privatunternehmungsgeiste überlassen; die Regierungen behielten sich nur gewisse Rechte vor und suchten durch Gesetze und Verordnungen den sich geltend machenden Rechtswirkungen nach Tunlichkeit Rechnung zu tragen. In Frankreich wurde die Eisenbahngesetzgebung durch eine Verordnung vom Jahre 1833 eingeleitet, welche den Bau neuer Eisenbahnen von einem besonderen Konzessionsgesetze abhängig machte; ihm folgten im Jahre 1835 Belgien und 1838 England mit Gesetzen über die Konzession der Linien, bzw. die Beförderung von Postsäcken durch die Eisenbahnen. Überhaupt ist hervorzuheben, daß die meisten älteren Gesetze sich nur auf besondere Verhältnisse, namentlich die Enteignung beziehen. Gesetze von mehr umfassendem Inhalte bestehen z. B. in Preußen seit 1838 »über die Eisenbahnunternehmungen und insbesondere über das Verhältnis der Eisenbahngesellschaften zum Staate und zum Publikum«, in Hessen seit 1842 über den Bau und Betrieb der Eisenbahnen, desgleichen in Württemberg seit 1843 usw. Österreich erhielt die erste Eisenbahnbetriebsordnung im Jahre 1854. Zu Anfang des fünften Jahrzehnts begann in der Betätigung der Staaten an der Vervollständigung des Eisenbahnnetzes ein Umschwung sich vorzubereiten, der dann in den siebziger Jahren vor allem in Deutschland und Österreich zu energischen Anläufen führte, den Bau und Betrieb der Eisenbahnen vollständig in die Hände des Staates zu legen.

Was den Eisenbahnoberbau in der ersten Zeit der Entwicklung der Eisenbahnen betrifft, so erfuhr die oben erwähnte englische Bauart je nach den besonderen Verhältnissen der hier in Rede stehenden Länder, wie auch in dem Maße, als die

¹⁾ Vgl.: Birk, »Die Triebkräfte in der Entwicklung der Verkehrswege der Neuzeit. »Bahn frei« (Wien), Nr. 33 und 36 vom Jahre 1904 und Nr. 9, 11 und 12 vom Jahre 1905.

Achsdrücke der Lokomotiven und die Fahrgeschwindigkeiten der Züge erhöht wurden, mancherlei Ausgestaltungen.

Nachdem man in England von der gewalzten Fischbauchschiene, die z. B. auch bei der Liverpool-Manchester-Eisenbahn ursprünglich Verwendung gefunden hatte, abgegangen war, gelangte der Oberbau zu einer für die Zukunft maßgebenden Form: Gewalzte Pilz- oder Doppelkopfschienen ruhten in Abständen von etwa 3' (engl.) in gußeisernen Stühlen, die ihrerseits auf Steinquadern, seltener auf hölzernen Querschwellen befestigt waren; besondere Aufmerksamkeit wurde hierbei der Herstellung einer kräftigen, in allen Teilen aus durchlässigem Stoffe gebildeten Bettung geschenkt. (Stuhlschienenoberbau, vgl. Abb. 9, 10 und 12.)

In Amerika, wo die Eisenbahnen vielfach als Pfadfinder der Kultur in unwirtsame Gegenden geführt wurden, sahen sich die Ingenieure notgedrungen veranlaßt,



Abb. 9.
Stuhlschiene auf Holzquerschwellen.
(Nürnberg-Fürth, 1835.)
1 : 10.



1 : 200.

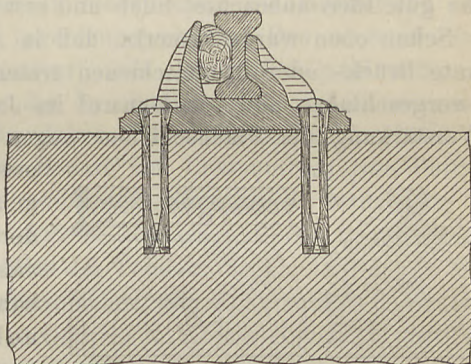


Abb. 10. Stuhlschiene auf Steinwürfeln.
(Taunusbahn, 1840.)
1 : 10.

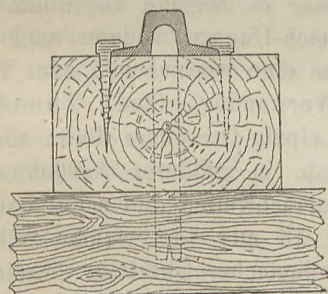


Abb. 11. Brückschiene auf Lang- und Querschwellen. (Mannheim-Heidelberg, 1840.)
1 : 10.

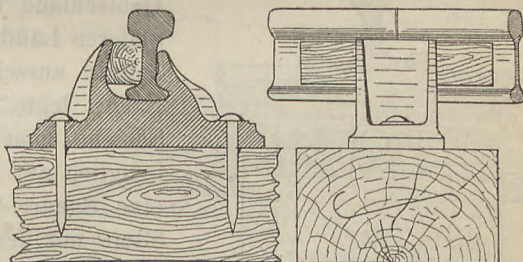


Abb. 12. Stuhlschiene auf Holzquerschwellen.
(Bayerische Staatsbahn, 1845.)
1 : 10.

das zumeist leicht zu beschaffende, gewöhnlich im Überfluß vorhandene Holz in größerem Ausmaße zu verwenden und den Gebrauch des Eisens nach Möglichkeit zu beschränken. So bildete sich dort neben der englischen Anordnung eine besondere Form des Eisenbahnoberbaues aus, bei der gewalzte Flach- oder breitfüßige Brückschienen von verhältnismäßig geringem Gewichte eine unmittelbare Unterstüzung nach ihrer ganzen Länge durch starke hölzerne Langschwellen erfuhren. (Vgl. Abb. 11.)

Auf dem europäischen Festlande folgte man zunächst ängstlich dem englischen

Vorbilde, ließ sich aber auch von den amerikanischen Formen beeinflussen. So gelangten namentlich in Deutschland Flachschienen neben Brück-, Pilz- und Doppelkopfschienen, hölzerne Langschweller neben Steinquadern und hölzernen Querschwellen zur Anwendung. Da nun hierbei fast auf jeder Bahn besondere Konstruktionseigentümlichkeiten zur Geltung kamen, so zeigt der Eisenbahnoberbau der dreißiger und vierziger Jahre des 19. Jahrhunderts ein sehr buntes Bild.

Ein näheres Studium der damaligen Verhältnisse gewährt eine Vorstellung von der schwierigen Lage der Eisenbahnbau-Ingenieure, welche — von der Neuheit der an sie herantretenden Aufgaben geradezu überrascht — mangels eigener Erfahrungen sich vielfach nur von ihrem »technischen Gefühle« leiten lassen konnten, von diesem aber mitunter irreführt wurden. Mancher Gedanke, der von tatsächlicher Verkenntnis der Verhältnisse zeugt, wurde rasch aufgenommen und verwirklicht, während manche gute Idee unbeachtet blieb und erst in späterer Zeit wieder zu Ehren gelangte.

Schon oben wurde bemerkt, daß in Amerika an Stelle der Flachschienen sogenannte Brück- oder Brunelschienen traten. Dieselben wurden 1835 von Strickland vorgeschlagen und von Brunel im Jahre 1836 in England eingeführt, da sich eine Verstärkung der Flachschienen wegen der größeren Achsdrücke als notwendig

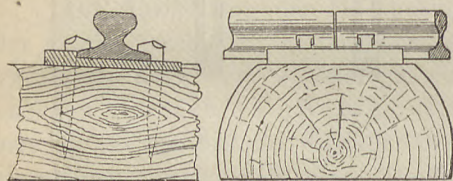


Abb. 13. Breitfußschiene auf Holzquerschwellen.
(Leipzig-Dresden, 1838.)
1 : 10.

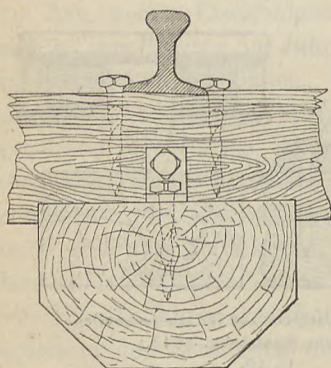


Abb. 14. Breitfußschiene auf hölzernen
Quer- und Langschwellen.
(Semmeringbahn, 1850.)
1 : 10.

erwiesen hatte. Aus dem gleichen Grunde gelangte Stevens zur Erfindung einer anderen breitfüßigen Schiene, die bereits im Jahre 1832 auf der Camden-Amboy-Eisenbahn verlegt, im Jahre 1836 aber von Vignoles in England in Verbindung mit hölzernen Langschwellen angewendet und seitdem nach diesem Ingenieur benannt wurde. Diese Schiene — heute als Breitfuß-

schiene bekannt — war es, welche vor allem in Deutschland und Österreich-Ungarn, sodann auch in anderen Ländern Europas eine weitgehende, zum Teil nahezu ausschließliche Verwendung fand. Theodor Kunz legte auf der Leipzig-Dresdener Bahn diese Schiene zum ersten Male in größerer Ausdehnung lediglich auf hölzerne Querschwellen und schuf damit eine Bauart (siehe Abb. 13 und 14), welche früher öfters mit dem Namen »deutscher Oberbau« bezeichnet worden ist. Gegen Ende der vierziger Jahre dachte man auch ernstlicher an eine Verbindung der Enden der aneinander stoßenden Schienen durch Flacheisenstücke (»Laschen«), ohne daß diese jedoch damals schon zu allgemeiner Einführung gelangten; die feste Lagerung der Schienenenden bei gleichzeitiger Anwendung verschiedener Mittel zur Sicherung der

Schienenlage wurde noch immer für genügend erachtet.

Ein neuer Abschnitt im Lokomotiveisenbahnwesen beginnt mit dem Baue der Eisenbahn über den Semmering. Hier handelte es sich zum ersten Male um die Überschienung eines Hochgebirgsgebietes von nicht gewöhnlicher Ausdehnung durch eine für den Weltverkehr bestimmte Bahn mit andauernd starken Steigungen

und zahlreichen scharfen Bögen. Die Semmeringbahn ist eine Teilstrecke der Linie Wien-Triest und wurde erbaut von Karl Ritter von Ghèga (geb. am 10. Januar 1802 in Venedig, gestorben am 13. März 1860), der im Jahre 1841 zur Bauleitung der Linie Wien-Triest berufen worden war. Damals stand erst die Teilstrecke Wien-Gloggnitz im Betriebe; der weitere Bau über die Ausläufer der norischen Alpen erregte wegen der Wahl eines richtigen Betriebssystems so große Bedenken, daß man die Entscheidung hierüber in der Schwebe beließ und zunächst die Bahn von Mürz-zuschlag aus (am südlichen Fuße des Semmering) nach Graz weiterführte. Ghèga empfahl auf Grund seiner Studien in Amerika, wo schon kürzere Gebirgsbahnen im Betriebe standen, sowie auf Grund der Erfahrungen auf der Lokomotivbahn über die Alp in Württemberg (Geislingen-Amstetten), die Überschienung des Semmerings mittels einer gewöhnlichen Lokomotivbahn; daneben wurde auch die Anlage einer atmosphärischen Eisenbahn studiert. Keissler befürwortete die Herstellung eines 6 km langen Tunnels, der österreichische Ingenieurverein den Bau einer Seilbahn. Die Regierung entschied sich für Ghèga's Entwurf, ließ — zum Teil wohl unter dem Drucke der sozialen Verhältnisse, welche die Beschaffung von Arbeit notwendig machten — den Bau der Lokomotivbahn im Jahre 1848 beginnen und schrieb auf Ghèga's Vorschlag einen Preis für die beste Bauart von Lokomotiven zum Betriebe der neuen Linie aus. Die Preislokomotive sollte bei günstiger Witterung auf der Steigung von 25 v. T. und im Bogen von 284 m Halbmesser eine Bruttolast von wenigstens 2500 Zentner Gewicht (ausschließlich des Tenders) regelmäßig mit 14,2 km in der Stunde befördern. Zum Wettbewerbe erschienen vier Lokomotiven: »Bavaria« von Maffei in München, »Wiener-Neustadt« von Günther in Wiener-Neustadt, »Seraing« von Cockerill in Seraing und »Vindobona« von der Wien-Gloggnitzer Maschinenfabrik. Die »Bavaria« (Abb. 15) hatte acht Räder; die vorderen vier waren in einem Drehgestell, die rückwärtigen

in einem festen Rahmen vereinigt; die drei Tenderachsen waren gekuppelt und mit der Hinterachse der Lokomotive durch eine Kette verbunden; auf gleiche Weise waren die Drehgestellachsen mit den Achsen im festen Rahmen

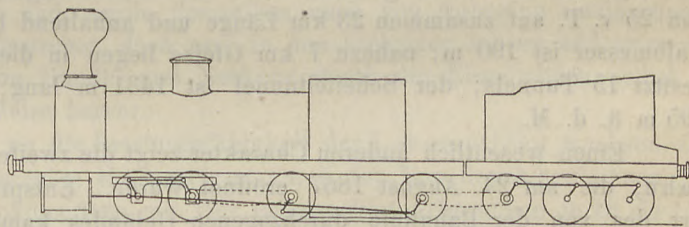


Abb. 15. »Bavaria«.
(Semmering-Preislokomotive, 1851.)

verbunden; es war also das ganze Gewicht der Lokomotive mit Tender für die Zugkraft ausgenützt. Die »Wiener-Neustadt« und die »Seraing« bestanden aus zwei Lokomotiven mit je vier Rädern und zwei Zylindern; die »Seraing« hatte zwei aneinander stoßende Kessel und nur Wasser- und Dampfraum gemeinsam; die »Wiener-Neustadt« besaß nur einen Kessel. Die »Vindobona« stellte sich als Lokomotive gewöhnlicher Bauart mit vier gekuppelten Achsen dar. Von diesen Lokomotiven wurde die »Bavaria« preisgekrönt, die übrigen drei Lokomotiven wurden angekauft; da sie aber Einrichtungen aufwiesen, welche teils gewagt erschienen, teils nicht erprobt waren, so hielt man keine für die dauernde Verwendung geeignet. Der Wettbewerb hatte jedoch eine Fülle von Gedanken zutage gefördert, deren allmähliche Verwertung im Lokomotivbau jene großartige Entwicklung desselben herbeiführte, die uns mit Bewunderung erfüllen muß. Die Lokomotive Engerth's, die lange Zeit auf

der Semmeringbahn, in Frankreich und in der Schweiz Anwendung fand, war mit Rücksicht auf die durch den Wettbewerb geweckten Anschauungen und dabei erworbenen Erfahrungen konstruiert worden. Der bis vor die Feuerbüchse verlängerte Tenderrahmen war mit dem Lokomotivgestelle durch einen Bolzen derart gekuppelt, daß sich beide Rahmen in Krümmungen in wagrechter und senkrechter Ebene gegeneinander verstellen konnten; die vordere und die hintere Gruppe gekuppelter Achsen waren miteinander wieder durch Zahngetriebe verbunden, so daß bei freier Drehbarkeit die Kuppelung sämtlicher Achsen für Reibungszwecke erreicht war; später wurde diese Kuppelung der beiden Achsgruppen wieder verlassen. Die »Wiener-Neustadt« erschien nach kurzer Zeit wieder als »System Meyer«, die »Seraing« fast unverändert als »System Fairlie« und beide gewannen einen hervorragenden Platz im modernen Eisenbahnbetriebe. Die »Vindobona«, welche sich allein dauernd im Betriebe behauptete, wurde das Vorbild der modernen Gebirgslokomotiven. Am 17. Juli 1854 wurde die zweigleisig erbaute Semmeringbahn dem allgemeinen Verkehr übergeben, und nun bestand für die Lokomotive auf dem Festlande, sozusagen, kein Hindernis mehr. In verhältnismäßig kurzen Zwischenräumen entstanden die großartigsten und kühnsten Alpenbahnen und jede von ihnen bedeutete einen neuen, gewaltigen Fortschritt im Eisenbahnwesen, jede von ihnen bildete einen hervorragenden Markstein in der Geschichte des Eisenbahnbaues, des Eisenbahnbetriebes und der technischen Wissenschaften.

Bei der Anlage der 41 km langen Semmeringbahn hatte man, durch die Natur des Geländes veranlaßt, von Erddämmen, Steinpflasterungen usw. wenig Gebrauch gemacht, die Bahn vielmehr fortwährend unter ausgedehnter Anwendung von Stütz- und Wandmauern, deren Gesamtlänge 13 km beträgt, an die Berglehne angeschmiegt und zahlreiche Viadukte aus Stein ausgeführt, so daß man sie nicht mit Unrecht eine »gemauerte« Bahn genannt hat. Die Semmeringbahn hat größte Steigungen von 25 v. T. auf zusammen 23 km Länge und anhaltend bis zu 5,3 km. Der kleinste Halbmesser ist 190 m; nahezu 7 km Gleise liegen in dieser Krümmung. Die Bahn besitzt 15 Tunnel; der Scheiteltunnel ist 1431 m lang; der höchste Punkt liegt 895 m ü. d. M.

Einen wesentlich anderen Charakter zeigt die zweite Alpenbahn, die Brennerbahn, die am 24. August 1867 eröffnet wurde. Entsprechend der eigentümlichen Art des von der Bahnlinie durchzogenen Geländes kamen in ausgedehntem Maße bedeutende Anschüttungen zur Ausführung, auch wurden neben in Mörtel erbauten Stützmauern sehr mächtige Trockenmauer- und Steinsatzanlagen hergestellt. Besondere Schwierigkeiten bereiteten dem Baue die Wildbäche, die teils neben der Bahn hinführen, teils dieselbe kreuzen; die geringe Standfähigkeit des verwitterbaren, von Wasser stark durchzogenen Gehänges erschwerte die Ausführungen. Zum ersten Male kamen bei der Brennerbahn Bachtunnels für die Ableitung von Bächen und Kehrtunnels, in denen das Gleis schraubenförmig ansteigt, zur Verwendung, so daß durch den Bau dieser berühmten Alpenbahn die Erd- und Wasserbaukunde in nachhaltiger Weise gefördert wurde. Die Brennerbahn überschreitet die Wasserscheide unter freiem Himmel in einer Meereshöhe von 1367 m. Ähnliches gilt von der Linie über das Toblacherfeld — Pustertalbahn, zwischen Villach und Franzensfeste — bei deren Bau mit einem bedeutenden Gebirgsflusse, mit wilden Bächen und mit mächtigen Murgängen allenthalben zu kämpfen war.

Der Bau der Mont-Cenisbahn, deren Eröffnung von Buffoleno bis Modane

am 17. September, von Modane bis St. Michele am 16. Oktober 1871 erfolgte, brachte — neben der erstmaligen Untertunnelung von Murgängen an Stelle sonstiger Überführungen — mit dem großen Alpentunnel von 12,2 km Länge ein neues epochemachendes Konstruktionselement in den Eisenbahnbau. Dasselbe erfuhr eine weitere Ausbildung bei der Gotthardbahn, die mit einem 15 km langen Scheiteltunnel den Gebirgsstock des St. Gotthard durchfährt. Auf dieser Bahn, die im Jahre 1882 eröffnet wurde, finden sich Steigungen von 26 und 27 v. T. und die berühmten spiralförmigen Hebungsbögen, welche zur Erreichung der Höhe des Scheiteltunnels und zur tunlichen Vermeidung des schwierigen Lehnbaues auf unwegsamen Abhängen dienen mußten und eine wichtige Ausgestaltung der Kehrtunnelanlagen der Brennerbahn bedeuten. Bei dem Baue der Arlbergbahn, die im Jahre 1884 zur Eröffnung kam, wurden alle Erfahrungen früherer Bauten in streng kritischer Weise verwertet und manche beachtenswerte Neuerung, wie die Anwendung des stoßenden und des drehenden Bohrers, die Trennung der Ventilations- von der Bohrmaschinerie, die Förderung im Tunnel durch feuerlose Motoren usw. beim Bau des 10,25 km langen Scheiteltunnels zur Anwendung gebracht. Die Arlbergbahn bietet ein Bild der reichsten Abwechslung in Sonderkonstruktionen und zeigt namentlich auch eine weitgehende und in vielen Beziehungen bahnbrechende Anwendung des Steinmaterials bei den Brückenbauten und Lehnviadukten nach französischer Bauweise. Einen bedeutsamen Einfluß auf die Entwicklung des Erd- und Tunnelbaues werden die in der Vollendung begriffenen neuen Alpenbahnen in Österreich und der Simplontunnel ausüben.

§ 10. Entwicklung und Ausbreitung der Eisenbahnen. Fortsetzung. —

Mit der zunehmenden Ausbreitung der Eisenbahnen steigerten sich naturgemäß auch die Ansprüche an deren Leistungsfähigkeit. Erschien von allem Anfange an die Beförderung möglichst großer Mengen mit tunlichst hoher Geschwindigkeit als das Ziel der Lokomotiveisenbahnen und wurde demselben auch von Anbeginn rastlos nachgestrebt, so trat dieses Bestreben doch erst in den sechziger Jahren und zwar als Folge der Entwicklung von Handel und Verkehr durch die Eisenbahnen selbst in besonders entschiedener Weise hervor.

Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Lokomotiven wuchsen von Jahr zu Jahr; besonders wurden sie gesteigert durch den Bau der Alpenbahnen, für deren Betrieb mächtige Lokomotiven mit vier gekuppelten Achsen von je 13 bis 14 t Belastung geschaffen werden mußten, sowie durch die Einführung sehr schnell fahrender Züge (um 1870), welche Lokomotiven mit hohen Rädern, großer Verdampfungsfähigkeit des Kessels und großem Überschusse der Zugkraft über den Zugwiderstand erforderten. Neben den Lokomotiven erfuhren auch die Güter- und Personenwagen eine durchgreifende Umgestaltung. Die Tragfähigkeit der ersteren, die bis in die fünfziger Jahre höchstens 80 bis 100 Zentner betragen hatte, wurde bis auf 200 Zentner erhöht; bei den Personenwagen, die ursprünglich den Straßenfuhrwerken ängstlich nachgebildet waren, wendete man der Bequemlichkeit für die Reisenden mehr und mehr Aufmerksamkeit zu, so daß die Größe des Wagengewichtes, welches auf den einzelnen Reisenden entfiel, stetig zunahm; in den sechziger Jahren kamen die ersten Durchgangswagen und zwar zunächst im Ortsverkehr in Betrieb; dieselben bürgerten sich aber erst nach der Verbesserung durch Edmund Heusinger von Waldegg in der Mitte des achten Jahrzehnts ein.

Die Fortschritte im Lokomotiv- und Wagenbau konnten auf die Ausbildung

des Oberbaues nicht ohne Einfluß bleiben. Die kräftigeren, schwereren und schneller fahrenden Lokomotiven erforderten auch einen Oberbau, kräftiger und widerstandsfähiger als jener, der einer »Rocket« und ihren ersten Nachfolgern genügt hatte. Das Gewicht der Schienen wurde erhöht, ihre Form zweckentsprechender gewählt; an Stelle des Schmiede Eisens trat nach mancherlei Versuchen mit Vereinigungen aus Eisen und Stahl, z. B. mit Stahlkopfschienen, welche zum größten Teile nicht befriedigend ausgefallen waren, und, nach Erfindung und Ausbildung der Verfahrungsweisen zur Erzeugung von Flußmetall, der Stahl als Schienenmaterial; die Länge der Schienen nahm von da ab rasch zu; den hölzernen Langschwelen, den Steinunterlagen und den hölzernen Rosten gegenüber behauptete die Querschwellen aus Holz siegreich das Feld, um so mehr als sie kräftiger bemessen und sorgfältig eingebettet wurde. Auch der Befestigung der Schienen auf den Unterlagen und den Stoßverbindungen am Zusammenstoße der aufeinanderfolgenden Schienen eines Stranges wurde erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. Wenn hierbei der Oberbau in seiner Hauptanordnung keine wesentliche Änderung erfuhr, so wurde er doch in allen seinen Teilen vervollkommenet und verstärkt.

In den sechziger Jahren nahmen auch die Versuche mit dem sogenannten »eisernen Oberbau« einen entschiedenen Anlauf. Schon sehr früh waren Einzelunterlagen aus Gußeisen verwendet worden, von denen aber nur die Hohlkörper von Greave und die von ihnen abgeleiteten Formen bei Eisenbahnen in tropischen Gegenden dauernde Verwendung fanden. Von größerer Bedeutung als diese Konstruktionen sind die Gleisanlagen mit eisernen Querschwellen und eisernen Langschwelen. Erstere kamen ursprünglich in Belgien und Frankreich, letztere in England zur Verwendung. Während man aber in diesen Ländern später von weiteren Versuchen abging, wurden solche seit Anfang der sechziger Jahre in Deutschland und auch in Österreich in sehr lebhafter Weise in Angriff genommen, um sich bis in die jüngste Gegenwart frisch und rege zu erhalten. Für den neuerdings in den Vordergrund tretenden Querschwellenoberbau aus Eisen ist die in Abb. 16 dargestellte Vautherinschwelle, die im Jahre 1864 auf einer französischen Bahn zur ersten Verlegung

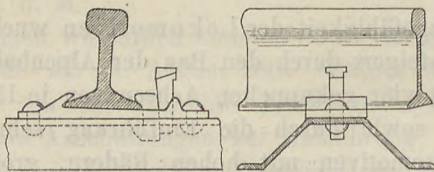


Abb. 16. Eisenquerschwellen, System Vautherin.
(Paris-Lyon-Mittelmeerbahn, 1866.)
1 : 10.

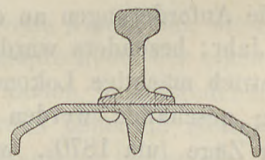


Abb. 17. Eisenlangschwellen, System Hilf.
(Nassauische Bahn, 1867.)
1 : 10.

gelangte, als Grundform zu betrachten; für die Langschwelenkonstruktionen ist vor allem der zweiteilige Langschwelenoberbau Hilf's (Abb. 17) maßgebend gewesen. Näheres hierüber gehört in den II. Band, II. Kapitel.

Dem lebhafteren Verkehre der Eisenbahnen konnten auch die einfachen Signalmittel, welche auf den ersten Bahnlinien für die Wahrung der Betriebssicherheit vollauf genügt hatten, nicht mehr entsprechen. Es war eine jener eigentümlichen Erscheinungen, die in der Geschichte der Erfindungen nicht selten überraschen, daß in die ersten Jahre des Eisenbahnwesens auch die ersten Entdeckungen auf dem Gebiete der Elektrotechnik fallen, ohne welche die großartige Entwick-

lung des Eisenbahnbetriebes unmöglich gewesen wäre; andererseits darf man sich freilich nicht verhehlen, daß ohne die fortdauernden Anregungen von Seite der Eisenbahnen die Elektrotechnik auch niemals so rasch jenen hohen Grad der Vollkommenung erreicht hätte, welchen sie heute zeigt. Die ersten Versuche, die Elektrizität in den Dienst des Eisenbahnbetriebes zu stellen, fallen in das Jahr 1840, um welche Zeit auf der Great-Western-Bahn der Fünfnadel-Telegraph von Cooke-Wheatstone zur Einführung gelangte; auf dem Festlande wurde dieser Apparat zuerst im Betriebe der schiefen Ebene zwischen Aachen und Ronheide (1843) angewendet. Morse's Schreibtelegraph fand auf den hannoverschen Staatsbahnen schon im Jahre 1846 Eingang, seine weitere Verbreitung ging jedoch sehr langsam von statten; erst seit 1858 kann von einer allgemeinen Anwendung gesprochen werden. An Stelle der durchlaufenden Liniensignale mittels optischer Telegraphen, deren Zeichen von Wärter zu Wärter weiter gegeben wurden und auf solche Weise die Ankunft eines Zuges meldeten oder auch eine andere Nachricht übermittelten, hatte Kramer nach den ersten aus dem Jahre 1846 herrührenden Versuchen des Berliner Uhrmachers Leonhard im Jahre 1847 für die Strecke Buckau-Magdeburg das erste Läutewerk eingerichtet, das, durch den elektrischen Strom ausgelöst, einzelne Glockenschläge gab und sich von selbst wieder einrückte. Diese »Glockenläutewerke« fanden später in Deutschland und Österreich rasch große Verbreitung. Zur Zugdeckung benutzten die englischen Bahnen die Elektrizität seit Beginn der fünfziger Jahre; hierbei wird die Bahnlinie in einzelne Strecken (Blockstrecken) geteilt, innerhalb deren sich jederzeit nur ein Zug befinden darf; die Strecken sind durch gegenseitig in Abhängigkeit stehende Signale (Blocksignale) begrenzt; die ersten Blockeinrichtungen wurden ohne mechanischen Verschuß der Signale ausgeführt, sie dienten also gleichsam nur zur Verständigung der Wärterposten untereinander. Hodgson war der erste, welcher (1877) die Blockapparate mit den Bahnzustandssignalen in mechanische Abhängigkeit brachte. Seitdem haben die Blockeinrichtungen vielfache tiefgehende Verbesserungen, namentlich durch Siemens & Halske erfahren. Auf amerikanischen Bahnen stehen auch selbsttätige Blockeinrichtungen in Anwendung, in Europa haben dieselben nur versuchsweise Einführung gefunden. Daneben wurde die Elektrizität auch zu anderen, die Betriebssicherheit erhöhenden Leistungen herangezogen, wie zur Kontrolle über die Stellung von Weichen und Signalen, zur Blockierung solcher usw.

In den sechziger Jahren begann die Überproduktion, welche alle Zweige der industriellen Tätigkeit beherrschte und nicht immer von einem realen Geschäftsgeiste durchdrungen war, auch auf dem Gebiete des Eisenbahnbaues sich geltend zu machen. Es entstanden — und zwar öfters nur in der Hoffnung auf raschen, finanziellen Gewinn bei der Finanzierung und dem Baue — viele Eisenbahnen, bei denen alle Vorbedingungen für einen mit der Größe, Bedeutung und Kostspieligkeit der Anlage je in Einklang tretenden Verkehr fehlten. Die Nachteile, welche die Ausbreitung des Eisenbahnwesens für die vom Schienennetze entfernt liegenden Gegenden unstreitig im Gefolge hatte, traten jetzt um so greller hervor, da die Verschiebung des Verkehrs oft mit großer Raschheit und ohne Rücksicht auf tatsächlich obwaltende Bedürfnisse und zwingende kommerzielle Notwendigkeit bewirkt wurde. Es war keine natürliche, sondern eine künstliche Entwicklung, die verhängnisvoll werden mußte. Der empfindliche Rückschlag, welcher tatsächlich auch der Überproduktion folgte, und die mit ihm verbundenen ungünstigen wirt-

schaftlichen Verhältnisse drängten zur möglichen Ausgleichung der geschaffenen, wirtschaftlich ungünstigen Verhältnisse und dies war nur durch die Einführung der Lokomotive in kommerziell und industriell weniger bedeutende Gegenden möglich, wobei es aber als oberstes, unbedingt zu befolgendes Gebot erschien, den Bau und Betrieb dieser Eisenbahnen in Einklang mit der zu erhoffenden Größe des Verkehrs zu bringen. Max Maria v. Weber hat im Hinblick auf diese Forderung sehr zutreffend von der Individualisierung der Eisenbahnen gesprochen. Die Mahnworte hervorragender Techniker und Nationalökonomien, wie Schwabe, Sorge, Plessner, Nördling, Bergeron u. a., fanden endlich in weiteren Kreisen Gehör und man schritt an die billige Herstellung von Bahnen mit einfachem, billigem Betriebe; man baute von nun an hauptsächlich Zufahrtsbahnen zu den Hauptbahnen, Saugadern der letzteren, Bahnen von örtlicher Bedeutung.

Wie mit den Hauptbahnen, so ging England auch mit den Lokalbahnen voraus. Das gebirgige Nordwales hatte schon im Jahre 1832 in der schmalspurigen Festiniogbahn die erste Eisenbahn erhalten, bei welcher Bau und Betrieb im Einklange mit der ausschließlich örtlichen Bedeutung der Bahnlinie standen; diese Bahn fand später mehrere Nachfolger, namentlich in Schottland, wo sich bald Gesellschaften zum Baue einfacher, billiger Bahnen bildeten. Auch in Frankreich erfolgte frühzeitig die Anregung zur Herstellung solcher Bahnen, zu der man nach dem Vorschlage des Generalrates des Departements Niederrhein Gemeinden und sonstige Beteiligte heranzog; die erste Lokalbahn in Frankreich wurde 1864 eröffnet — 1865 erschien das erste Lokalbahngesetz. Fast zu derselben Zeit erhielten Norwegen und Schweden ihre ersten Nebenbahnen (1862 bzw. 1863); hier waren so recht alle Vorbedingungen für eine gedeihliche Entwicklung des Nebenbahnwesens gegeben; das gebirgige Gelände einerseits und die schwache, wenig begüterte Bevölkerung andererseits nötigten zur größten Sparsamkeit beim Bau und Betrieb der Bahnen, sollte das Land ihrer Vorteile überhaupt teilhaftig werden; namentlich war man in Schweden bemüht, die Eisenbahnen genau den örtlichen Verhältnissen anzupassen, weshalb hier auch verschiedene Spurweiten bei den Bahnen zu finden sind. Von den deutschen Staaten erhielten Baden und Bayern die ersten Lokalbahn-gesetze (1869); in letzterem wurde bald darnach auch die erste staatliche Vizinalbahn eröffnet. Eine sehr tatkräftige Durchführung des Grundgedankens des Lokalbahnwesens in Deutschland erfolgte in Sachsen, wo Sorge und Plessner zu Anfang der siebziger Jahre nachdrücklich auf die Bedeutung der Sekundärbahnen hinwiesen und wo auch die Schmalspur zu weitgehender Anwendung und Ausbildung gelangte. In Sachsen-Weimar wurde 1878 die schmalspurige Feldabahn gebaut, welche ihrer geringen Herstellungskosten (18000 *M* für das km) und ihrer günstigen Ergebnisse wegen auf dem Gebiete des Lokalbahnwesens eine nachhaltige Anregung ausübte. In Preußen verhielt man sich den Lokalbahnen gegenüber lange abweisend; erst vom Jahre 1879 an behandelte man dieselben wohlwollender; namentlich brachte die Verstaatlichung der Hauptbahnen für sie bessere Tage. In Österreich lenkte die finanzielle Krise des Jahres 1873 mit gewaltigem Nachdrucke die Aufmerksamkeit der maßgebenden Kreise auf das Lokalbahnwesen, das im Jahre 1880 auch die erste gesetzliche Regelung erfuhr.

Verhältnismäßig die meisten Lokalbahnen besitzt die Schweiz; ganz besondere Entwicklung und Ausbildung fanden in diesem Gebirgslande die dem Touristenverkehre gewidmeten Bergbahnen, für welche die verschiedenartigsten Systeme zur

Anwendung gelangten; die Schweiz wurde auch die eigentliche Heimat der Zahnradbahnen. Im Gegensatze hierzu fanden in Italien und in den Niederlanden — welche Staaten weitverzweigte Netze gut gebauter Straßen besitzen — die bequemen und billigen Dampfstraßenbahnen Bevorzugung und Pflege.

Seit etwa einem Jahrzehnt erfreut sich das Lokalbahnwesen in allen Kulturstaaten der lebhaften Fürsorge der Regierungen; man sucht durch die gesetzliche Regelung der von Staatswegen zu gewährenden Begünstigungen und Erleichterungen, sowie durch direkte und indirekte finanzielle Unterstützungen das Privatkapital für den Lokalbahnbau zu gewinnen und auch die zunächst beteiligten Kreise zur Selbsthilfe anzueifern. Dabei ist man fortwährend bemüht, zwischen den Anlage- und Betriebskosten einerseits und der Bedeutung, beziehungsweise den zu erhoffenden Verkehrseinnahmen der Bahn andererseits ein tunlich günstiges Verhältnis herzustellen. Auf solche Weise erwuchs und erwächst noch heute, wie auch für die nächste Zukunft, der Eisenbahntechnik eine Fülle neuer Aufgaben, welche vornehmlich in der Forderung gipfeln: den Bau und Betrieb einfach, billig und in jedem einzelnen Falle vollkommen zweckentsprechend zu gestalten. Aber der Gegenwart bleibt auch die Fortentwicklung des Hauptbahnwesens nicht ferne. Die Forderung nach erhöhter Leistungsfähigkeit bei tunlicher Verminderung der Beförderungspreise stellt den Eisenbahntechniker vor eine Reihe wichtiger Fragen, wie die Erhöhung der Arbeitskraft der Lokomotiven ohne Vergrößerung der Raddrucke, die Steigerung ihres Wirkungsgrades, die Verstärkung des Oberbaues und der Brücken, die Selbsttätigkeit der Signale. Die Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung hat zunächst das Kleinbahnwesen und namentlich das Straßenbahnwesen in Städten — worüber noch gesprochen werden soll — wesentlich umgestaltet. Die wirtschaftlich wichtige Frage des elektrischen Betriebes auf Hauptbahnen hat in besonderen Fällen (z. B. Betrieb langer Tunnels) bereits ihre Lösung gefunden, harrt aber noch bezüglich der allgemeinen Anwendung ihres eingehenderen Studiums, das allein zur erfolgreichen Entscheidung führen kann.

Nachstehende Übersichten geben ein Bild der beständig fortschreitenden Entwicklung des Eisenbahnwesens, deren Verschiedenheit in den wichtigeren Staaten Europas aus den angefügten zeichnerischen Darstellungen (Abb. 18 und 19 auf S. 38 und 39) noch deutlicher hervortritt.

Tabelle.

Länge der im Betriebe befindlichen Eisenbahnen in Kilometer
zu Ende der Jahre:

	1835	1845	1855	1865	1875	1885	1895	1905
Europa	673	8 233	34 185	75 882	142 494	195 833	251 421	309 393
Amerika	1 282	7 683	32 417	62 534	134 098	249 246	370 321	460 196
Asien	—	—	350	5 489	11 332	22 285	43 375	81 421
Afrika	—	—	144	755	2 576	7 032	13 147	26 616
Australien	—	—	38	825	5 738	12 947	22 349	28 069
Zusammen	1 955	15 916	67 134	145 485	296 238	487 343	700 613	905 695

Tabelle.

Entwicklung der Eisenbahnen in den wichtigeren Staaten Europas.
Länge der Bahnen in km zu Ende der Jahre:

	1835	1845	1855	1865	1875	1885	1895	1905	Eröffnung der ersten Bahn	Es entfallen Ende 1905 auf	
										100 qkm	je 10 000 Einw.
										Bahnen km	
Deutschland	6	2 315	8 352	14 762	28 087	37 572	46 413	56 477	1835	10,4	10,0
Österr.-Ungarn u. Bosnien.	—	728	2 145	5 858	16 860	22 789	30 880	39 918	1838	5,9	8,5
Großbritannien u. Irland .	471	3 277	13 411	21 382	26 803	30 843	34 058	36 447	1829	11,6	8,8
Frankreich	176	883	5 535	13 562	21 547	32 491	40 230	46 466	1838	8,7	11,9
Italien	—	157	1 211	4 374	7 709	10 484	15 057	16 284	1839	5,7	4,9
Niederlande	—	153	314	694	1 132	2 438	*3 102	*3 537	1839	9,3	5,7
Belgien	20	576	1 349	2 254	3 499	4 409	5 687	7 258	1835	24,6	10,5
Rußland u. Finnland . . .	—	144	1 048	3 940	19 584	26 847	37 717	54 974	1838	0,9	4,8
Schweden	}	—	68	1 555	4 230	8 354	11 534	15 174	1854	2,0	20,6
Norwegen											
Dänemark	—	—	30	419	1 266	1 942	2 267	3 288	1846	8,5	13,4
Spanien	—	—	475	4 823	6 134	8 933	12 052	14 430	1843	2,9	7,8
Portugal	—	—	37	700	919	1 529	2 340	2 571	1854	2,8	4,7
Schweiz	—	2	210	1 322	1 986	2 854	3 509	4 289	—	10,4	12,9
Türkei-Bulgarien-Rumelien	—	—	—	66	1 234	1 394	2 254	3 142	—	1,1	3,2

* Diese Zahlen beziehen sich auf Niederlande einschließlich Luxemburg.

Abb. 18.

Entwicklung der Eisenbahnen in den wichtigsten
Staaten Europas.

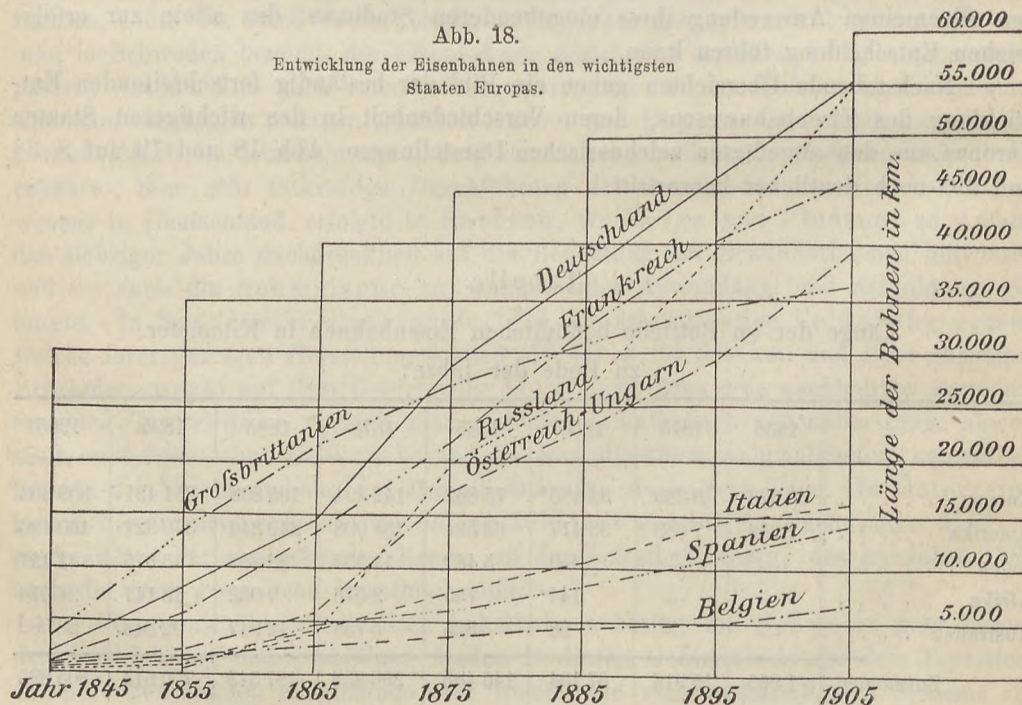
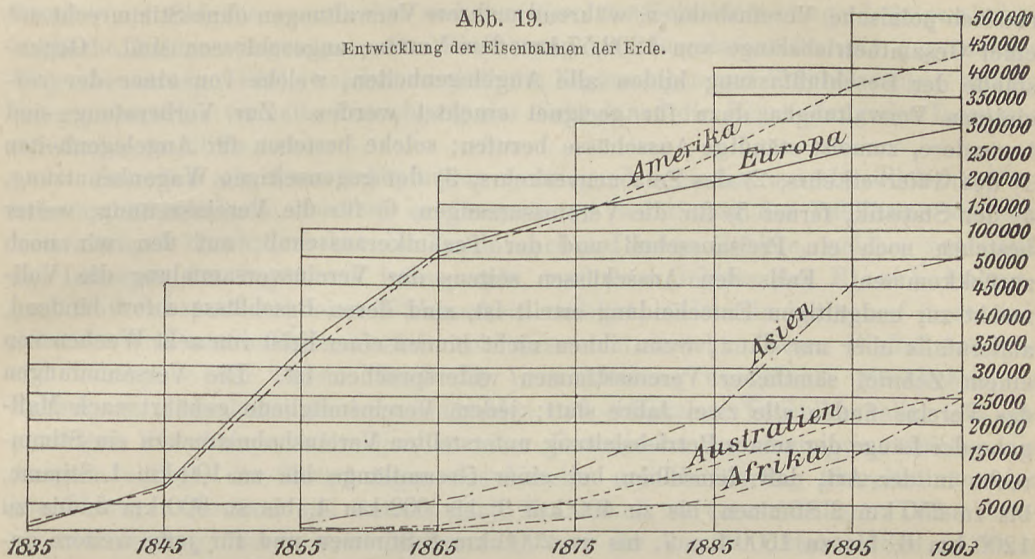


Abb. 19.

Entwicklung der Eisenbahnen der Erde.



§ 11. Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen. — Einen mächtigen Förderer finden alle auf den unablässigen Fortschritt der Eisenbahntechnik und des Eisenbahnwesens überhaupt gerichteten Bestrebungen in dem »Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen«, der in seiner Organisation, in seiner Tätigkeit und in seinen Leistungen auf dem fraglichen Gebiete unerreicht dasteht und dessen Bedeutung auch weit über die Grenzen des Vereinsgebietes hinaus allgemein und rückhaltlos anerkannt wird. Friedrich List, der berühmte Nationalökonom, welcher zuerst für den nationalen Gedanken der deutschen Handels- und Verkehrseinheit in Wort und Tat eingetreten ist, hat auch zuerst, und zwar schon im Jahre 1836, durch das von ihm begründete deutsche Eisenbahnjournal die Vereinigung sämtlicher Eisenbahnverwaltungen und Komitees, welche damals bestanden, angeregt. Der Vorschlag blieb damals unbeachtet, aber zehn Jahre später, am 10. November 1846, bildete sich auf Einladung der Berlin-Stettiner Eisenbahnverwaltung der »Verband preussischer Eisenbahndirektionen« mit dem Ziele der Förderung des eigenen Interesses und desjenigen des Publikums durch gemeinsame Beratungen und gemeinsames Handeln. Schon im nächsten Jahre erweiterte sich dieser Verband zum »Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen«, welcher alle in Deutschland gelegenen Eisenbahnen umfaßte; die Gründung dieses Vereines fand in der vom 29. November bis 2. Dezember 1847 in Hamburg abgehaltenen Generalversammlung statt; bei seiner Gründung traten ihm 40 Verwaltungen mit rund 4000 km Betriebslänge bei. Der Verein schob bald seine Grenzen über das deutsche Bundesgebiet hinaus, indem er 1858 allen Eisenbahnverwaltungen, welche ihr Domizil in einem zum deutschen Bundesgebiete gehörigen oder in einem unter einer deutschen Bundesregierung stehenden Lande hatten, und im Jahre 1864 auch nichtdeutschen Bahnen, die aber mit deutschen Bahnen im gegenseitigen unmittelbaren Transportverkehre sich befinden, die Aufnahme in den Verein unter gewissen Voraussetzungen und Bedingungen ermöglichte. So umfaßt der Verein zurzeit ein Netz von 96 485 km und zwar 52 635 km deutsche Bahnen, 37 012 km österreichisch-ungarische Bahnen, 6838 km luxemburgische, niederländische und andere (bosnische, belgische, rumänische, schweizerische und

russisch-polnische) Vereinsbahnen, während mehrere Verwaltungen ohne Stimmrecht mit einer Gesamtbetriebslänge von 1202,57 km dem Vereine angeschlossen sind. Gegenstände der Beschlußfassung bilden alle Angelegenheiten, welche von einer der vereinigten Verwaltungen dazu für geeignet erachtet werden. Zur Vorberatung sind besondere, zumeist ständige Ausschüsse berufen; solche bestehen für Angelegenheiten 1) des Güterverkehrs, 2) des Personenverkehrs, 3) der gegenseitigen Wagenbenutzung, 4) der Statistik, ferner 5) für die Vereinssatzungen, 6) für die Vereinszeitung; weiter bestehen noch ein Preisausschuß und der Technikerausschuß, auf den wir noch zurückkommen. Falls den Ausschüssen seitens der Vereinsversammlung die Vollmacht zur endgültigen Entscheidung erteilt ist, sind deren Beschlüsse sofort bindend, andernfalls aber nur dann, wenn ihnen nicht binnen einer Frist von acht Wochen von einem Zehntel sämtlicher Vereinsstimmen widersprochen ist. Die Versammlungen des Vereins finden alle zwei Jahre statt; jedem Vereinsmitgliede gebührt nach Maßgabe der Länge der seiner Betriebsleitung unterstellten Vereinsbahnstrecken ein Stimmrecht in der Art, daß demselben bei einer Gesamtlänge bis zu 100 km 1 Stimme, bis zu 250 km 2 Stimmen, bis zu 400 km 3, bis 600 km 4, bis zu 900 km 5, bis zu 1200 km 6, bis zu 1500 km 7, bis zu 2000 km 8 Stimmen und für jede weitere angefangene Strecke von 500 km eine Stimme mehr zusteht. Die Versammlung beschließt im allgemeinen mit Stimmenmehrheit; die Beschlüsse über Tarifangelegenheiten bedürfen der Genehmigung sämtlicher Verwaltungen. Seit 1. Juli 1861 erscheint, nachdem im Jahre 1860 die Gründung einer selbständigen Vereinszeitung beschlossen worden war, im Selbstverlage des Vereins die »Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen«, welche neben den offiziellen Verlautbarungen auch kürzere und längere Mitteilungen und Abhandlungen über Eisenbahnbau und -Betrieb, über Eisenbahnvolkswirtschaft, Statistik, Gesetzgebung, Eisenbahngeschichte usw. veröffentlicht, während die technischen Fragen des Eisenbahnwesens in dem »Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens in technischer Beziehung«, das seinerzeit von Heusinger von Waldegg begründet und im Jahre 1864 zur Zeitschrift des Vereins erhoben wurde, ihre streng sachliche Erörterung finden.

Die Wirksamkeit des Vereins erstreckt sich auf alle Gebiete des Eisenbahnwesens; als Richtschnur dient das vielleicht auf keinem anderen Gebiete so berechtigte Bestreben, das gesamte Eisenbahnnetz des Vereins bei Berücksichtigung aller in den örtlichen Verhältnissen begründeten Eigenheiten und ohne Verletzung wesentlicher Interessen streng einheitlich zu behandeln, d. h. gemeinsame Einrichtungen für den Personen- und Güterverkehr zu schaffen und alle jene Schwierigkeiten und Nachteile zu beseitigen, welche das Bestehen zahlreicher verschiedener Eisenbahnverwaltungen für diese selbst, wie auch für das Publikum im Gefolge haben. Als solche Errungenschaften des Vereins verdienen besonders hervorgehoben zu werden: die Schaffung einheitlicher Bestimmungen für Güterverkehr der Vereinsbahnen (1. Juli 1850) und für die Beförderung von Personen, Reisegepäck, Leichen, Fahrzeugen und lebenden Tieren (15. April 1865); die Einführung des direkten Güterverkehrs auf den Vereinsbahnen (vom 1. Mai 1884 an); die Gründung eines Tarifverbandes (1869), aus welchem im Jahre 1886 der deutsche Eisenbahnverkehrsverband hervorging, welcher sich die »Fortbildung der die Beförderung von Personen und Gütern betreffenden Dienstzweige, sowie Herbeiführung einer tunlichen Übereinstimmung der hierauf bezüglichen Vorschriften, insbesondere über das Abfertigungs- und Abrechnungsver-

fahren« zur Aufgabe gestellt hat und dem fast sämtliche deutsche und einige niederländische Bahnen angehören; die Einführung des Regulativs für die gegenseitige Wagenbenutzung (1855), welches wiederholte Ergänzungen und Verbesserungen erfuhr; die gleichmäßige formelle Einrichtung der Fahrpläne; die Begründung des Institutes der Rundreisebillets usw.

Betreffen alle diese Schöpfungen vorwiegend oder fast ausschließlich den Verkehr auf Eisenbahnen, insofern er die weiteren Bedürfnisse des Publikums und der Verwaltungen berührt, so hat der Verein auch auf jenem Gebiete, welches vor allem das Interesse des Ingenieurs beansprucht, auf dem Gebiete der Eisenbahnbau- und Betriebstechnik eine Wirksamkeit entfaltet, welche in bezug auf ihren tiefgehenden und nachhaltigen Einfluß wohl unerreicht dasteht. Diesen Einfluß erlangte und behauptete der Verein durch die Verwirklichung des ebenso glücklichen als fruchtbaren Gedankens, die hervorragenden und erfahrenen Techniker aller ihm angehörig Eisenbahnverwaltungen in einer Kommission zu vereinigen, welcher die Aufgabe obliegt, die Bestrebungen des Vereins auf Einführung übereinstimmender Einrichtungen für Bau und Betrieb nach Tunlichkeit zu verwirklichen. Diese Technikervereinigung, deren erste Einberufung auf der am 19. Oktober 1849 in Wien abgehaltenen Generalversammlung beschlossen wurde und welche im Laufe der Zeit bei allen wichtigeren Veranlassungen, zuletzt regelmäßig alle zwei bis drei Jahre zusammentrat, bot als Ergebnis ihrer ersten Beratungen, die in der Zeit vom 18. bis 27. Februar 1850 unter Vorsitz der Bauräte Mohn und Neuhaus in Berlin stattfanden, die »Grundzüge für die Gestaltung der Eisenbahnen Deutschlands« und »Einheitliche Vorschriften für den durchgehenden Verkehr auf den bestehenden Vereinseisenbahnen«. Zugleich wurde die Gründung eines »Vereins der deutschen Eisenbahntechniker« beschlossen. Sie erfolgte durch schriftliche Verpflichtung der Teilnehmer. Übrigens ist die Körperschaft der Techniker des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen in der von den Gründern angestrebten geschlossenen Form nicht wieder in die Erscheinung getreten.

Der Zusammentritt der »Technikerversammlungen« ist stets nur auf Beschluß der Generalversammlung oder auf Veranlassung der geschäftsführenden Verwaltung des Vereins erfolgt; ihre Tätigkeit war zunächst eine begutachtende; die Beschlußfassung lag in den Händen der technischen Kommissionen des Vereins. Seit 1892 kann sich jedoch der Ausschuß für technische Angelegenheiten im Bedarfsfalle zur Technikerversammlung erweitern, an der sämtliche Vereinsmitglieder teilzunehmen berechtigt sind. Die Technikerversammlungen erscheinen hiernach als eine organische Einrichtung des Vereins. Das nachstehende Verzeichnis, das der zur 50jährigen Gedächtnisfeier der Gründung des Vereins erschienenen Festschrift (»Rückblick auf die Tätigkeit des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen in technischer Beziehung 1850—1900«, Berlin 1900) entnommen ist, gibt ein Bild der Tätigkeit, welche diese Technikerversammlungen bis 1900 entwickelten.

Seit 1896 haben noch Versammlungen im Jahre 1900 in Budapest und im Jahre 1903 in Triest stattgefunden. Auf den Tagesordnungen dieser Versammlungen standen Beratungen technischer Fragen und Änderungen einiger Bestimmungen der technischen Vereinbarungen; die im Jahre 1903 abgehaltene Versammlung hat auch nach zehnjährigem Zeitraume als VII. Abteilung einen neuen Band über die »Fort-schritte der Technik im Gebiete des Vereins« herausgegeben (C. W. Kreidels Verlag in Wiesbaden).

Lfd. Nr.	Zeit		Ort	Beratungsgegenstände
	Jahr	Monat und Tag		
1.	1850	18. bis 27. Februar	Berlin	Aufstellung der »Grundzüge« und »Einheitlichen Vorschriften«, Gründung des Vereins Deutscher Eisenbahntechniker.
2.	1857	23. bis 26. Mai	Wien	Prüfung und Neufassung der »Grundzüge« und »Einheitlichen Vorschriften«, Beratung technischer Fragen.
3.	1865	11. bis 16. September	Dresden	Prüfung und Neufassung der »Grundzüge« und »Einheitlichen Vorschriften« als »Technische Vereinbarungen«, Beratung technisch. Fragen.
4.	1868	28. bis 30. September	München	Beratung technischer Fragen.
5.	1871	26. bis 29. Juni	Hamburg	Prüfung und Neufassung der technischen Vereinbarungen.
6.	1874	14. und 15. September	Düsseldorf	Beratung technischer Fragen.
7.	1876	26. bis 28. Juni	Constanz	Prüfung und Neufassung der technischen Vereinbarungen für Hauptbahnen, desgl. der Grundzüge für den Bau und Betrieb der Sekundärbahnen, Aufstellung einer Statistik über die Dauer der Schienen, Klassifikation von Eisen und Stahl, Beratung über technische Fragen.
8.	1878	18. bis 20. Juni	Stuttgart	Klassifikation von Eisen und Stahl, Beratung über technische Fragen.
9.	1882	19. und 20. Mai	Graz	Prüfung und Neufassung der technischen Vereinbarungen.
10.	1884	14. und 15. Juni	Berlin	Beratung über technische Fragen.
11.	1886	28. bis 30. Juli	Salzburg	Änderung des § 117a der technischen Vereinbarungen, Beratung der Grundzüge für den Bau und Betrieb der Neben- und Lokaleisenbahnen.
12.	1888	19. und 20. Juni	Constanz	Prüfung der technischen Vereinbarungen.
13.	1890	29. bis 31. Mai	Berlin	Änderung des § 117a der technischen Vereinbarungen, Prüfung und Neufassung der Grundzüge für den Bau und die Betriebs-einrichtungen der Nebeneisenbahnen und Lokalbahnen.
14.	1893	9. bis 11. Juni	Straßburg i. Els.	Beratung technischer Fragen, Änderung des § 84 der »Technischen Vereinbarungen«, betr. die Dampfheizung der Wagen.
15.	1896	18. bis 20. Juni	Budapest	Prüfung und Neufassung der technischen Vereinbarungen über den Bau und die Betriebs-einrichtungen der Haupt- und Nebeneisenbahnen, sowie die Grundzüge für Lokaleisenbahnen.

Wie man sieht, waren die Prüfung und zeitgemäße Weiterbildung der von der ersten Technikerversammlung beschlossenen »Grundzüge« und »Einheitlichen Vorschriften« wiederholt Gegenstand der Beratungen. In der Technikerversammlung im Jahre 1865 wurden diese beiden Veröffentlichungen zu einem einzigen Werke zusammengefaßt, das unter dem Titel: »Technische Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen über den Bau und die Betriebseinrichtungen der Eisenbahnen« erschien und dessen Bestimmungen zum Teil allgemein verbindliche, zum Teil auch

nicht bindende sind; erstere müssen von jeder Vereinsleitung insoweit befolgt werden, als nicht durch Staatsverträge oder durch die obersten staatlichen Aufsichtsbehörden hiervon abweichende Bestimmungen getroffen sind oder getroffen werden. In den späteren Versammlungen wurden einzelne Bestimmungen dieser Vereinbarungen auf Grund längerer eingehender Untersuchungen und Erörterungen durch besondere Ausschüsse abgeändert. In der Versammlung des »Vereins« zu Berlin am 28., 29. und 30. Juli 1896 erfolgte auf Grund der Beschlüsse der Technikerversammlung in Budapest (18. bis 20. Juni 1896) eine Neufassung der »Technischen Vereinbarungen (T.V.) über den Bau und die Betriebseinrichtungen der Haupt- und Nebeneisenbahnen«, die noch heute in Geltung steht. Im Jahre 1876 wurden auch besondere »Grundzüge für den Bau und Betrieb von Sekundärbahnen« aufgestellt, die im Jahre 1886 eine gründliche Umarbeitung erfuhren und deren neue Fassung ebenfalls in der oben erwähnten Versammlung zu Berlin als »Grundzüge für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Lokaleisenbahnen (G. f. L.)« zum Beschlusse erhoben wurden. Besonders erwähnenswert sind die Bemühungen der Technikerversammlungen um die Schaffung einer zuverlässigen Statistik über verschiedene wichtige Zweige der Eisenbahntechnik, so über die Dauer der Schienen in den Hauptgleisen der Bahnen, über die auf den Bahnen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen vorkommenden Achsbrüche und Achsanbrüche sowie Radreifenbrüche, über die Ergebnisse der von den Vereinsverwaltungen mit Eisenbahnmaterial angestellten Güteproben. Große Verdienste erwarben sich die Techniker des Vereins um die Lösung schwebender Fragen von hervorragender Bedeutung, wie derjenigen über den Widerstand der Fahrzeuge bei ihrer Fortbewegung, weiter um die Einführung des metrischen Maßes und Gewichtes, die Klassifikation von Eisen und Stahl usw. Neben der Beratung einheitlicher technischer Vorschriften beschäftigen sich die Technikerversammlungen vornehmlich mit der Erörterung wichtiger technischer Fragen des Eisenbahnwesens. Die zur Beratung zu stellenden Fragen werden seitens eines ständigen technischen Ausschusses ausgewählt und durch die jeweilige geschäftsführende Verwaltung den sämtlichen Vereinsverwaltungen zur Abgabe ihrer Gutachten oder Mitteilung der vorliegenden Erfahrungen zugestellt. Die einlaufenden Antworten dienen sodann dem technischen Ausschusse zur Verfassung der Gutachten, welche nach Genehmigung seitens der Technikerversammlung durch das »Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens in technischer Beziehung« zur allgemeinen Kenntnis der Fachleute gebracht werden. Diese Berichte gewähren in allen ihren Einzelheiten eine getreue Geschichte der Eisenbahntechnik, welche es ermöglicht, die bedeutendsten Fortschritte im Eisenbahnwesen bis auf ihren eigentlichen Ursprung zurück zu verfolgen. »Für die Geschichtschreibung der Eisenbahntechnik in Deutschland und im ganzen Vereinsgebiete werden diese Berichte dereinst die maßgebende Grundlage bilden.« Von den bedeutendsten Gegenständen, die sie behandeln, seien erwähnt: Einführung des Stahls als Konstruktionsmaterial für Schienen, Radreifen und Achsen, des eisernen Oberbaues, der englischen Weichen, der Weichensicherungen, des höheren Dampfdruckes, der Dampfstrahlpumpen und Bremsen der Lokomotiven, der verschiedenen Einrichtungen der Personenwagen, der verbesserten Radreifenbefestigungen, der Flußstahlscheibenräder, der durchgehenden Bremsen.

Seit dem Jahre 1861 erläßt der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen Preisausschreibungen für Verbesserungen im Bau und Betriebe der Eisenbahnen, in der Konstruktion der Fahrbetriebsmittel, für schriftstellerische Arbeiten über einschlägige technische Fragen usw. und fördert hierdurch in hohem Grade die Ent-

wicklung des Eisenbahnwesens. So bildete der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen in vergangenen Tagen, so bildet er heute und wohl auch auf lange Zeit hinaus die mächtigste Stütze und die sicherste Gewähr für den unermüdlichen Fortschritt auf allen Gebieten des Eisenbahnwesens.

§ 12. Einteilung der Eisenbahnen in verschiedenen Ländern. — Bei der großen Vervollkommnung, welche die Eisenbahnbau- und Betriebstechnik in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraume erreicht hat, ist es heute möglich, jede Eisenbahn den jeweilig obwaltenden örtlichen, volkswirtschaftlichen und finanziellen Verhältnissen tunlich anzupassen. So ist es gekommen, daß die Eisenbahnen in Bau und Betrieb eine Abstufung von den großartigsten Weltbahnen bis hinab zu den bescheidensten Straßenbahnen aufweisen und scharfe Grenzen zwischen den einzelnen Gattungen nicht leicht gezogen werden können. Aus diesem Grunde ist es auch sehr schwierig oder streng genommen unmöglich, eine allgemeine Einteilung der Eisenbahnen aufzustellen. Ja es ist überhaupt schon die Frage aufgeworfen worden, ob eine solche zweckmäßig und notwendig sei. Für die Gesetzgebung, soweit sie das Eisenbahnwesen betrifft, ist eine Einteilung jedenfalls wünschenswert und in gewissem Sinne unerlässlich. Aber gerade hier sind die Schwierigkeiten sehr bedeutende. Wohl sind in den meisten Eisenbahnstaaten gesetzliche Einteilungen durchgeführt; die Begriffsbestimmungen für die einzelnen Arten sind jedoch sehr verschieden; vielfach ist eine solche ganz vermieden und wird die Einreihung einer Bahnlinie durch die Behörden unter Berücksichtigung aller einschlägigen Verhältnisse auf Grund der zu erhebenden Bedeutung der Bahn nach dem Sinne der Gesetze vorgenommen.

In Deutschland unterscheidet man gemäß Bahnpolizeireglement und Bahnordnung für Bahnen untergeordneter Bedeutung: Hauptbahnen und (normal- und schmalspurige) Bahnen untergeordneter Bedeutung (Nebenbahnen, Lokaleisenbahnen). Welche Bahn als solche untergeordneter Bedeutung zu betrachten und zu behandeln ist, hängt von der Entschließung der zuständigen Landesbehörde und der Zustimmung des Reichseisenbahnamtes ab. Mit Gesetz vom 28. Juli 1892 wurde in Preußen der Begriff Kleinbahnen eingeführt; hierunter sind alle jene Bahnen verstanden, welche wohl dem öffentlichen Verkehre dienen, aber wegen ihrer geringen Bedeutung dem Gesetze über die Eisenbahnunternehmungen vom 3. November 1838 nicht unterliegen. Ob die Voraussetzung dieses Gesetzes vorliegt, entscheidet das Staatsministerium. Die Bahnen untergeordneter Bedeutung haben in den verschiedenen außerpreußischen Staaten verschiedene Bezeichnungen erhalten; in Bayern wurden sie früher als »Vizinalbahnen« später als »Lokalbahnen« angeführt, in Baden nennt man sie Lokal-, Zweig- und Verbindungsbahnen, in neuerer Zeit Lokal- und Nebenbahnen, in Hessen Nebenbahnen usw., daneben unterscheidet man noch Privatanschlußbahnen, die nicht dem öffentlichen Verkehr dienen und zumeist Güter befördern. In Österreich werden seit 1. Januar 1895 Hauptbahnen, Lokalbahnen und Kleinbahnen (Tertiärbahnen) unterschieden. Für die Lokalbahnen ist keine Erklärung ihrer Eigenart gegeben; sie erscheinen in dem bezüglichen Gesetze nur durch die in Klammern beigefügten Worte: »Sekundärbahnen«, »Vizinalbahnen« u. dgl. näher bezeichnet; Lokalbahnen von größerer Bedeutung werden als Hauptbahnen II. Ranges aufgeführt. Unter Kleinbahnen (Tertiärbahnen) versteht das österreichische Gesetz jene für den öffentlichen Verkehr bestimmten Lokalbahnen, welche für den allgemeinen Eisenbahnverkehr von geringer Bedeutung sind (normal-, schmalspurige Zweigbahnen, Straßenbahnen mit Dampf- oder elektrischem Betriebe, mit anderen mechanischen Motoren oder animalischer Kraft,

Seilbahnen usw.); in der Regel sind Kleinbahnen solche Bahnen, die hauptsächlich den örtlichen Verkehr in einer Gemeinde oder zwischen benachbarten Gemeinden vermitteln, sowie alle Bahnen, die nicht mit Dampf betrieben werden. Die Einreihung einer Bahn in die eine oder andere Gruppe hängt von der Entschließung der zuständigen Behörde ab. Neben den Kleinbahnen unterscheidet die österreichische Eisenbahnstatistik noch Schleppbahnen, welche Bezeichnung gleichbedeutend ist mit Privatanschlußbahnen. In Ungarn besteht ein Gesetz über Eisenbahnen von lokalem Interesse und ein besonderes Gesetz über: »Gemeindebahnen«, das sind Bahnen, die nicht über wenige Gemeinden hinaus gehen; hierdurch ist ebenfalls eine Dreiteilung der Eisenbahnen geschaffen. In Frankreich kennt man auf Grund der gesetzlichen Regelung: Chemins de fer d'intérêt général (Hauptbahnen), chemins de fer d'intérêt local (Lokalbahnen) und Tramways (Straßenbahnen). In Belgien besteht die gleiche Einteilung, nur spricht man hier von Vizinalbahnen anstatt von Lokalbahnen. Auch in Holland unterscheidet man Haupt-, Lokal- und Trambahnen. In Italien besteht seit 1896 ein besonderes Gesetz über die Straßenbahnen mit mechanischer Zugkraft und über Kleinbahnen. In Spanien hat die Dreiteilung der Eisenbahnen nicht Eingang gefunden; alle Bahnen, welche nicht in das Netz der Eisenbahnen von allgemeinem Interesse fallen, werden als Sekundärbahnen bezeichnet. In England hat sich neben den Hauptbahnen der Begriff der »light railways« eingebürgert, während in Schottland und Irland durch Parlamentsakte, welche neben den Hauptbahnen und den light railways auch tramways kennen, die Dreiteilung zur Geltung gelangte.

§ 13. Verschiedene Standpunkte bei Einteilung der Eisenbahnen. —

Man sieht, daß es in allen Staaten hauptsächlich die Entwicklung des Nebenbahnwesens war, welche zu einer gesetzlichen Einteilung und Bezeichnung der Eisenbahnen drängte, die aber auch andererseits durch weitgehende »Individualisierung« diese Einteilung erschwerte und die genaue Begriffsbestimmung der einzelnen Eisenbahngruppen eigentlich unmöglich machte. Sobald man die Bedürfnisse der Gesetzgebung außer Augen läßt, eröffnet sich eine Reihe von Standpunkten für die Einteilung der Eisenbahnen und diese gestaltet sich ganz verschiedenartig je nach der Wahl des Standpunktes und je nach dem Zwecke, welcher mit der Einteilung verbunden wird. Solange hierbei eine bestimmte, ihrem Wesen nach scharf umgrenzte Grundlage festgehalten wird, bleibt auch die Einteilung eine bestimmte und unbestreitbare. Es ist dies der Fall bei der Einteilung nach Verkehrszwecken: Öffentliche Bahnen, die von jedermann unter gewissen Bedingungen benutzt werden können, und private Bahnen, deren Benutzung nur bestimmten Personen (den Eigentümern) zusteht und die als Schleppbahnen, Privatanschlußbahnen bezeichnet und je nach ihren besonderen Zwecken Fabrikbahnen, Bergwerkbahnen, Rollbahnen, Militärbahnen usw. genannt werden; Stadtbahnen, die vorwiegend dem Verkehr im Weichbilde der Städte dienen; Touristenbahnen; Hafenbahnen usw.; nach Eigentümern (Staats-, Privat-, Landes-, Kreis-, Gemeindebahnen); nach der Lage zu anderen Bahnen (Anschlußbahnen, Zweigbahnen, Flügelbahnen, Verbindungsbahnen, Parallelbahnen) usw.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn die Einteilung von einem Standpunkte aus erfolgt, der selbst wieder verschiedene Gesichtspunkte zuläßt. Dies tritt bei der Gruppierung der Bahnen in technischer Beziehung besonders hervor, weil es hier möglich ist, verschiedene Eigenheiten der Bahnen, die ihre Anlage scharf kennzeichnen, aber bei den einzelnen Linien in verschiedener Verbindung auftreten, als Unterscheidungsmerkmale zu wählen. Der »Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen«

hat versucht, alle Bahngattungen in drei Gruppen zusammenzufassen; er unterscheidet:

1. Haupteisenbahnen, für welche keine weitere Begriffsbestimmung gegeben wird;
2. Nebeneisenbahnen, dies sind jene vollspurigen Eisenbahnen, welche mittels Dampfkraft durch Lokomotiven betrieben werden und dem öffentlichen Verkehre dienen, auf welche ferner Betriebsmittel der Hauptbahnen übergehen können, bei welchen aber die Fahrgeschwindigkeit von 40 km in der Stunde an keinem Punkte der Bahn überschritten werden darf und für welche — der geringeren Geschwindigkeit und dem auf ihnen zu führenden einfacheren Betriebe entsprechend — erleichternde Bestimmungen Platz greifen dürfen;
3. Lokaleisenbahnen, das sind voll- oder schmalspurige Bahnen untergeordneter Bedeutung, welche dem öffentlichen Verkehre, jedoch vorwiegend dem Nahverkehre zu dienen haben, mittels Maschinenkraft betrieben werden und bei welchen in der Regel die Fahrgeschwindigkeit von 30 km in der Stunde an keinem Punkte der Bahn überschritten werden darf.

Diese Einteilung erscheint insofern beachtenswert und zutreffend, als sie vorwiegend auf die Größe der Fahrgeschwindigkeit Rücksicht nimmt und im engen Zusammenhange mit der technischen Anlage und der volkswirtschaftlichen Bedeutung, wie auch zum Teile mit der juristischen Behandlung der Bahnen steht.

Was die von einzelnen Fachschriftstellern vorgeschlagenen Einteilungen anbelangt, so sind diese ebenfalls, je nach dem Standpunkte, den jene in den betreffenden Abhandlungen einnehmen, sehr verschieden.

Vom technischen Standpunkte aus unterscheidet M. M. v. Weber (»Über den staatlichen Einfluß auf die Entwicklung der Eisenbahnen niederer Ordnung«, 1878):

1. Eisenbahnen mit normalem Spur- und Geschwindigkeitsmaße,
2. Eisenbahnen mit normalem Spur- und minderem Geschwindigkeitsmaße,
3. Eisenbahnen mit minderem Spurmaße und
4. Straßenbahnen.

Diese Einteilung deckt sich zum Teil mit jener des »Vereins«, weist aber gewissen Merkmalen eine entscheidende Bedeutung zu, die sie heute nicht mehr im gleichen Maße für die Bautechnik besitzen (z. B. Spurweite).

Ulrich (»Archiv für das Eisenbahnwesen« 1884) hält diese Einteilung nicht für ganz zutreffend und glaubt, daß richtiger zu unterscheiden wären:

1. Eisenbahnen erster Ordnung oder Vollbahnen mit normaler Spur und Ausrüstung für alle Verkehrsgattungen, namentlich auch für den Schnellzugsverkehr;
2. Eisenbahnen zweiter Ordnung oder untergeordneter Bedeutung, die mit normaler oder auch mit schmaler Spur ausgeführt sein können.

Auf volkswirtschaftlichen Anschauungen ist die von Sax (»Die Verkehrsmittel in Volks- und Staatswirtschaft«, 1878) vorgeschlagene Einteilung begründet; sie unterscheidet:

1. Hauptbahnen oder Bahnen erster Ordnung, welche die Brennpunkte des politischen, sozialen und wirtschaftlichen Lebens verbinden;
2. Nebenbahnen oder Bahnen zweiter Ordnung, welche die Verbindung untergeordneter, doch immerhin ausgedehnter Teile des Staatskörpers mit dem Netze der Hauptbahnen herstellen;
3. Vizinal- oder Lokalbahnen oder Bahnen dritter Ordnung, welche ausschließlich für die örtlichen Verkehrszwecke innerhalb einiger Wirtschafts- und Gesamtlebenskreise berechnet sind.

Da sich die Bedeutung einer Eisenbahn und ihr volkswirtschaftlicher Wert wohl zunächst in der Größe des von ihr zu bewältigenden Verkehrs ausdrücken und diese wieder auf den Bau, die Ausrüstung und den Betrieb der Bahn Einfluß nimmt, so liegt es nahe, die Einteilung der Eisenbahnen eben im Hinblick auf die Größe der Verkehrsbewegung vorzunehmen. Auf dieser Grundlage unterscheidet Haushofer (»Grundzüge des Eisenbahnwesens«, 1875):

1. Bahnen für den durchgehenden Verkehr mit starker Verkehrsbewegung (Hauptbahnen ersten Ranges, Primärbahnen),
2. Bahnen für den durchgehenden Verkehr mit schwacher Verkehrsbewegung,
3. Lokalbahnen mit starkem Verkehr und
4. Lokalbahnen mit schwachem Verkehr.

Allerdings sind hierin die Bezeichnungen starker und schwacher Verkehr selbst wieder sehr schwankende. Sie werden sicherer, wenn sie in Verbindung mit der vom Verkehre abhängigen technischen Größe treten. Diesen Umstand berücksichtigt die Einteilung, welche sich im »Handbuch der Ingenieurwissenschaften«, I. Teil I. Band 1. Kap. findet und wonach unterschieden werden:

1. Haupteisenbahnen ersten und zweiten Ranges, welche den Weltverkehr, bzw. den größeren örtlichen Verkehr vermitteln und ihrer ganzen Anlage und Ausrüstung nach geeignet sind, bedeutende Massentransporte zu bewältigen;
2. Nebeneisenbahnen;
3. Lokaleisenbahnen; die Erläuterung über das Wesen der Neben- und Lokaleisenbahnen entspricht im großen Ganzen den oben mitgeteilten Begriffsbestimmungen des »Vereins«.

Schärfer kommt der erwähnte Grundsatz in Ulrich's Einteilung zum Ausdruck; er unterscheidet zunächst zwei Hauptgruppen von Eisenbahnen, nämlich solche, welche dem öffentlichen Verkehre dienen und solche, welche für private Zwecke bestimmt sind; die ersteren scheidet er wieder nach ihrer allgemein wirtschaftlichen und nach ihrer örtlichen Bedeutung. Die Bahnen von allgemein wirtschaftlicher Bedeutung sind entweder Hauptbahnen, deren Verkehrsverhältnisse die Vollspur und eine derartige Ausrüstung bedingen, daß alle Verkehrsgattungen, namentlich auch der Schnellzugsverkehr bewältigt werden können, oder Nebenbahnen, bei welchen in Anbetracht der äußeren Umstände die an eine Hauptbahn zu stellenden Anforderungen, namentlich betreffs Schnelligkeit der Beförderung oder Tragfähigkeit der Bahn zu beschränken sind und dementsprechend die gesamte Ausrüstung einfacher zu gestalten wäre. Die Bahnen von örtlicher Bedeutung sind im wesentlichen die schmalspurigen Bahnen. Kaven (»Vorträge über Eisenbahnbau«, Bd. VI, 1878) unterscheidet: Internationale oder durchgehende Bahnen (Weltbahnen), Nebenbahnen oder sekundäre Bahnen und Tertiärbahnen; als Kennzeichen dieser einzelnen Gruppen nimmt er alle wesentlichen Faktoren auf, welche in volkswirtschaftlicher, technischer, jurisdischer, und politischer Beziehung hierfür bestimmend wurden. Ziffer (»Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch. Ver.«, 1891) versucht ähnlich wie Kaven, die Eisenbahnen unter Berücksichtigung der technischen, volkswirtschaftlichen und juristischen Eigentümlichkeiten einzuteilen und unterscheidet sonach: Hauptbahnen, Nebenbahnen, Lokalbahnen, Straßenbahnen, Feld- und Spezialbahnen.

Bei dem entschiedenen Bestreben nach tunlicher Anschmiegung der Eisenbahnen

in Bau und Betrieb an die jeweilig obwaltenden Verhältnisse und bei der hohen Ausbildung der Technik, welche diesem Bestreben in weitgehendem Maße gerecht zu werden bemüht ist, erweist sich eine Einteilung der Bahnen vom technischen Standpunkte aus, wie er in diesem Handbuche festgehalten werden soll, nur dann als zweckmäßig, wenn sie unter Berücksichtigung der verschiedenen, für die Individualisierung maßgebenden Grundlagen erfolgt.

Nach diesem Grundsatz sind Karmarsch und Heeren vorgegangen; sie unterscheiden in ihrem »Technischen Wörterbuch« (1878) die Eisenbahnen

1. nach der Größe des Verkehrs,
2. nach der Spurweite,
3. nach der Art der die Fuhrwerke bewegenden Kraft,
4. nach den Verkehrsanforderungen,
5. nach der Beschaffenheit der Erdoberfläche, längs welcher sich die Bahnen hinziehen,
6. nach der Konstruktion des Oberbaues.

Eine derartige Einteilung dürfte auch mit dem Zwecke des vorliegenden Handbuches noch am meisten im Einklange stehen; wir wollen sie deshalb in ihrem Wesen beibehalten, jedoch die Zahl der unterscheidenden Merkmale vermindern und als Grundlage der Einteilung betrachten:

1. die größte zulässige Fahrgeschwindigkeit, für welche die Bahn erbaut ist,
2. die Bodenverhältnisse des von der Bahn durchzogenen Geländes,
3. die Bauweise, und
4. den Betriebsmotor der Bahn.

§ 14. Einteilung der Eisenbahnen nach der größten zulässigen Fahrgeschwindigkeit. — In dieser Beziehung kann man im Sinne der Einteilung des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« unterscheiden:

- a. Hauptbahnen, bei denen Fahrgeschwindigkeiten von mehr als 40 km in der Stunde zulässig sind;
- b. Nebenbahnen, bei denen die Fahrgeschwindigkeit von 40 km in der Stunde an keinem Punkte der Bahn überschritten werden darf;
- c. Kleinbahnen, auf welchen die Fahrgeschwindigkeit unter 30 km in der Stunde bleibt.

Für die Ausführung einer Linie als Haupt-, Neben- oder Kleinbahn ist vor allem die Bedeutung des von ihr zu bewältigenden Verkehrs maßgebend; bei Bahnen, die dem großen internationalen Verkehre zu dienen haben, kommen bei entsprechendem Grund- und Aufriß Fahrgeschwindigkeiten von 90 km und darüber zur Anwendung; als Nebenbahnen werden zumeist Verbindungslinien zwischen Hauptbahnen hergestellt, wobei es sich aber doch wesentlich schon um die Befriedigung örtlicher Bedürfnisse handelt; den Kleinbahnen kommt eine rein örtliche Bedeutung zu. Die Fahrgeschwindigkeit ist im allgemeinen von dem Zustande der Bahn und der Konstruktion der Lokomotiven abhängig; man kann zwischen einer erreichbaren größten und einer zulässigen größten Fahrgeschwindigkeit unterscheiden, insofern als die zufolge Steigung und Krümmung der Bahn, zufolge Zuggewicht, Bauart der Wagen, Ausstattung der Züge mit durchgehenden Bremsen und zufolge Leistungsfähigkeit der Lokomotiven erreichbare größte Geschwindigkeit in Rücksicht auf die von noch anderen Umständen abhängige Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Betriebes nicht zur Anwendung kommen darf.

Über die Grenzen der Fahrgeschwindigkeit in den einzelnen Staaten, über die mittleren fahrplanmäßigen Geschwindigkeiten und die Reisegeschwindigkeiten haben wir bereits in § 3 gesprochen; hier sei nur noch erwähnt, daß die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten namentlich von der Bauart der Bremsen (Einzel- oder durchgehende Bremsen), von der Achsenanzahl und von der Bestimmung der Züge (Personenzüge, Güterzüge, Personenzüge mit Güterbeförderung, Arbeitszüge usw.) und natürlich von der Neigung und Krümmung der Bahn abhängig sind. In dieser Beziehung erscheint z. B. für Deutschland und für die Schweiz die zulässige Höchstgeschwindigkeit geregelt.

Auf Nebenbahnen ist eine Fahrgeschwindigkeit von 30 bis 40 km bei einer gewissen Beschränkung der Achsenzahlgestattet. Diese Bahnen werden häufig auch als Hauptbahnen II. Klasse bezeichnet. Für die Kleinbahnen wird die Fahrgeschwindigkeit in den einzelnen Fällen meist durch die Bedingungen für deren Bau und Betrieb festgestellt. Eine sehr wichtige Rolle spielt hierbei die Linienführung insofern, als bei Benutzung öffentlicher Straßen als Bahnkörper, bei Durchschneidung von Ortschaften in Straßenhöhe die Fahrgeschwindigkeit wesentlich, bis auf 15 km in der Stunde und oft auch darunter, herabgesetzt werden muß.

§ 15. Einteilung der Eisenbahnen in Rücksicht auf die Bodenverhältnisse. — Man unterscheidet in dieser Beziehung:

α) Flachlandbahnen, auf welchen bei der Talfahrt nirgends das Bremsen der Räder erforderlich wird und die Bögen keine nennenswerte Erhöhung des Zugwiderstandes verursachen; anhaltende Steigungen von mehr als 5‰ und längere Bögen mit Halbmessern unter 1000 m kommen bei ihnen nicht vor; sogenanntes verlorenes Gefälle ist nicht zu scheuen, sobald es unter der Bremsneigung liegt und der Wechsel nicht allzu oft auftritt. Näheres über verlorenes Gefälle ist im II. Kapitel enthalten.

β) Hügellandbahnen, welche mit größeren Steigungen (bis zu 10‰) und mit schärferen Bögen (bis herab zu etwa 600 m Halbmesser) ausgeführt sind und nicht in Lagen von mehr als 300 m Höhe über dem Meere emporsteigen. Verlorenes Gefälle ist bei ihnen wegen des dadurch bedingten nutzlosen Arbeitsaufwandes nach Möglichkeit zu vermeiden.

γ) Gebirgsbahnen, welche in wesentlichen Dingen und auf dem größeren Teile ihrer Länge mit den Bodenverhältnissen der Gebirgslandschaft zu kämpfen haben; wenn auch mitunter Bahnen von vorwiegend örtlicher Bedeutung Gebirgsrücken übersteigen, so sind Gebirgsbahnen doch zumeist — schon aus Rücksicht auf die hohen Kosten ihrer Anlage und ihres Betriebes — berufen, dem großen Weltverkehre zu dienen; sie erscheinen dann als die Bindeglieder zweier, durch Hochgebirgsketten getrennter Netze von Hauptverkehrslinien. Ihre besonderen Merkmale sind starke, andauernde Steigungen von etwa 25‰ und darüber, viele scharfe Bögen mit Halbmessern bis herab zu 180 m, Anlage von Schleifen und Kehrtunnels zur Überwindung bedeutender Höhenunterschiede, möglichste Vermeidung verlorenen Gefälls, welches hier Höhenverlust bedeutet und mithin die Linie verlängert, beträchtliche Höhe der zu übersteigenden Pässe, welche gewöhnlich mit langen Tunnels — sogenannten Scheiteltunnels — unterfahren werden, Lage der Bahn an steilen Hängen in bedeutender Höhe über der Talsohle, Notwendigkeit von Sicherungsanlagen gegen Lawinen und Murgänge und schließlich die besondere Schwierigkeit des gesamten Betriebes, verursacht durch die Eigentümlichkeit des Baues, durch die Höhen- und Witterungsverhältnisse und durch die Gefahren, welche die Lawinen und Gebirgswässer herbeiführen können.

Als Beispiele größerer, für Eisenbahnbau und -Betrieb wichtigerer Gebirgsbahnen sind zu erwähnen:

In Europa.

1. Die Alpenbahnen, auf deren große Bedeutung für die Entwicklung der Bau- und Betriebstechnik der Eisenbahnen, sowie für die Ausbreitung des Eisenbahnnetzes überhaupt bereits näher hingewiesen wurde (vgl. § 9). Die geschichtlich älteste Alpenbahn ist jene über den Semmeringpaß; ihr folgten die Brennerbahn, die Pustertalbahn (Villach—Franzenfeste), die Mont-Cenis-Bahn, die Kronprinz Rudolf-Bahn, die Giselabahn, die Gotthardbahn, die Salzkammergutbahn, die Arlbergbahn. Fünf dieser Linien übersteigen oder durchbrechen den Hauptkamm der Alpen und stellen die Verbindung von Nord- und Mitteleuropa mit dem mittelländischen Meere her, nämlich die Semmering-, Brenner-, Mont-Cenis-, Kronprinz Rudolf- und Gotthardbahn; mit der Längsachse der Alpen parallel laufen die Arlbergbahn, die Salzkammergutbahn im Norden, die Pustertalbahn im Süden. Außerdem muß der Eisenbahnen über den Karst (Laibach—Triest, Karlstadt—Fiume, St. Peter—Fiume) Erwähnung geschehen und zwar als Gebirgsbahnen, die namentlich in betriebstechnischer Hinsicht wegen der durch die Bora und den Wassermangel veranlaßten Schwierigkeiten interessant sind, desgleichen auch der Erzbergbahn (Vordernberg—Eisenerz) wegen Anwendung der Zahnstange. In jüngster Zeit wurden die Albulabahn in der Schweiz (Thusis—St. Moriz, Spurweite 1 m), die durch die Linienentwicklung und ihre Kunstbauten berühmt ist, und die Eisenbahn über den Simplonpaß vollendet. Beachtenswert ist die sogenannte »zweite Verbindung Innerösterreichs mit Triest«; dieser Schienenweg überschreitet die Alpen Österreichs in ihrer ganzen Breite: die hohen Tauern, die Karawanken und die Julischen Alpen, deren Massive mit Scheiteltunneln (Tauerntunnel 8526 m, Karawankentunnel 7976 m, Wocheinertunnel 6326 m) durchbrochen werden.

2. Im deutschen Mittelgebirge sind die Schwarzwaldbahn (Hornberg—Sommerau) und die Linie Waldshut—Immendingen beachtenswerte Beispiele für die Entwicklung von Gebirgslinien mittels Schleifen- und Schneckentunnels.

3. Im Gebiete der Karpathen sind die Bahnen, welche diesen Gebirgszug durchqueren, namentlich aber die mit ihm fast parallel laufenden Linien durch den Umstand bemerkenswert, daß eine große Anzahl von Wasserscheiden zu ersteigen war, die wieder verlassen werden mußten, wodurch die Längsprofile sich für den Betrieb sehr ungünstig gestalten; auch boten die vielen Flußübergänge und die vielen erforderlichen Uferschutzbauten mancherlei Schwierigkeiten.

4. In Italien hat der Apennin — ein Hochgebirg mit Bergkegeln bis 3660 m Erhebung ü. d. M. — schon frühzeitig die Anlage von Gebirgsbahnen mit kühner Linienführung und vielen schwierig auszuführenden Bauwerken veranlaßt. Bereits im sechsten Jahrzehnt vorigen Jahrhunderts wurden hier die Gebirgsstrecken Bologna—Pistoja, Genua—Spezia, Turin—Genua erbaut; die großen Bodenverschiedenheiten zwangen bei der damals noch in den ersten Anfängen liegenden Eisenbahntechnik zur häufigen Anwendung sehr starker Steigungen und scharfer Krümmungen, wodurch späterhin der Betrieb derart erschwert wurde, daß in neuerer Zeit einzelne Strecken, so die Gioviabahn (Turin—Genua) umgebaut, d. h. mit günstigeren Anlageverhältnissen neu hergestellt werden mußten. Von den jüngeren Gebirgsbahnen sind Parma—Spezia, Foligno—Ancona, Terni—Rieti—Aquila, Rom—Solmona, Foggi—Neapel usw. bemerkenswert¹⁾.

1) Vgl. Zeitschr. f. Bauwesen 1887, S. 418—430.

5. In Frankreich tragen neben den großen Alpenbahnen: Marseille—Nizza—Genua, Lyon—Genf und Lyon—Turin vornehmlich die Bahnen an der Süd- und Südostgrenze (der Cantal- und Cevennentübergang Murat—Aurillac beziehungsweise Clermont—Nîmes) und die Linien in den Pyrenäen den Charakter von Gebirgsbahnen. Solche finden sich endlich auch in den Hochgebirgen von Schottland, in Schweden, Griechenland und Rußland.

In Amerika sind es hauptsächlich jene großartigen Eisenbahnen über das Felsengebirge, die Sierra Nevada und die Anden, welche sich als ganz eigentümliche Gebirgsbahnen darstellen. Sie steigen in bedeutende Meereshöhen empor, und zwar ohne Anwendung allzustarker, für die Abwicklung des Betriebes ungünstiger Steigungen, auch ohne längere Tunnels, jedoch mit Hilfe kühner Brücken und Viadukte und großartiger Schutzbauten gegen Schnee und Lawinen¹⁾. Bei Beurteilung der Höhenlage der Gebirgsbahnen, namentlich jener in den Anden, darf allerdings nicht übersehen werden, daß die Schneegrenze daselbst wesentlich höher liegt, als in den Alpen. In Peru sind zwei Gebirgsbahnen bemerkenswert, welche von der Meeresküste in die nahe gelegenen, steil aufragenden Anden emporführen und dabei größere Höhen ersteigen als irgend eine andere Bahn der Erde; so liegt der höchste Punkt der Linie Lima—Oroya 4768 m, jener der Linie Mollendo—Arequipa—Puno 4470 m über dem Meere.

In Asien weisen die Bahnen von Britisch-Ostindien, welche durch Nord-Bengalen bis an die Hügel von Darjeeling und an den Fuß des Himalaja vordringen, größere Gebirgsstrecken auf; auch die Bahnen an der Westküste Vorderindiens haben den Gebirgscharakter; bei einigen sind Spitzkehren vorhanden, so z. B. übersetzte die Transsibirische Bahn das Chingau-Gebirge mit einer Spitzkehrenanlage, die später aber durch einen 3 km langen Tunnel ersetzt wurde²⁾.

Die größten Steigungen auf Gebirgsbahnen sind 35 ‰ (Albulabahn, Gioviabahn); die Arlbergbahn hat 31,4 ‰ (Landeck—Bludenz), die Gotthardbahn 27 ‰ (Giornico—Bodio), die Apenninenbahn Bologna—Pistoja 26 ‰ (Pistoja—Porretta). Die neuen Alpenbahnen in Österreich werden mit 25 ‰ ausgeführt. In neuerer Zeit ist man aus betriebstechnischen Rücksichten bestrebt, die Neigung von 25 ‰ tunlich nicht zu überschreiten.

d) Bergbahnen, das sind in der Regel kürzere Bahnlinien, welche mit außergewöhnlich starken Steigungen, zumeist bei künstlicher Vermehrung der Reibung, einzelne Berggipfel erklimmen; Anschlüsse an bestehende Bahnen finden in der Regel nicht statt; ihr Hauptzweck liegt in der Verkehrserleichterung für einen engeren Bezirk des Gebirgslandes. Man bezeichnet solche Bahnen mit starker Steigung meistens auch als Steilbahnen. Die ersten Bergbahnen waren lediglich zur Talförderung von Bergwerkserzeugnissen bestimmt³⁾; erst allmählich wurden sie auch für den Personenverkehr verwendet; in neuerer Zeit dienen sie immer auch in gleichem Maße dem letzteren und erscheinen dann unter dem Namen von Touristenbahnen, deren große Bedeutung für den Fremdenverkehr der Alpenländer unbestritten ist. Bei Steigungen bis zu 70 ‰ können, sofern es sich nicht um die Beförderung allzu großer Zuglasten handelt und die Betriebserschwernisse nicht zu stark ins Gewicht fallen, immerhin noch Bahnen mit einfacher Reibung zur Ausführung gelangen. So

1) E. Lavoinnie et E. Pontzen, Les chemins de fer en Amérique. Vgl. auch Zeitschrift d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1896, S. 125.

2) Taubert, Glaser's Annalen 1904, I. S. 84.

3) Kreuter, F., Über die Eisenbahnen im Gebirge. Zeitschrift d. deutsch. u. österr. Alpenvereins 1884.

wird der Ütliberg, an dessen Fuß Zütrich liegt und der sich 399 m über die Stadt erhebt, mit einer Reibungsbahn erstiegen, welche Steigungen bis zu 50‰ und in der letzten, 809 m langen Strecke eine solche von 70‰ besitzt¹⁾.

Etwas günstigere Verhältnisse weist die mit 1 m Spurweite erbaute, 6747 m lange Reibungsbahn Rigi—Kaltbad—Scheideck auf; ihre geringste Steigung beträgt 9‰, ihre größte 50‰, ihr kleinster Krümmungshalbmesser ist 105 m. Von anderen Bergbahnen, bei welchen glatte Treibräder der Lokomotiven auf den Schienen laufen, seien noch die folgenden erwähnt: Rom—Marino (60‰), Wädenswyl—Einsiedeln, (Schweiz 50‰), Landquart—Davos (Schweiz 45‰), Schneebergbahn (Österreich 40‰), Reichenhall—Berchtesgaden (Bayern 40‰).

Der Betrieb mit Elektrizität gestattet die Anwendung stärkerer Steigungen, weil der Motorwagen auch zugleich als Förderwagen für Reisende dient; die Steigungsgrenze für die Anwendung der Reibung als Fortbewegungsmittel wird dann hauptsächlich abhängig von der Möglichkeit, den Zug auf der Talfahrt sicher bremsen und zum Stehen bringen zu können; die größte bisher bei einer elektrisch betriebenen Bergbahn angewandte Steigung ist 115‰ (Le Havre—Saint Marie in Frankreich).

Eine Vermehrung der Reibung behufs Ersteigung stark geneigter Rampen bezweckt die Bauart Fell. Bei ihr ist in der Mitte des gewöhnlichen Gleises ein besonderer Schienenstrang aus liegenden Doppelkopfschienen angeordnet, gegen deren Köpfe von beiden Seiten her ein Paar oder auch mehrere Paare liegender Räder gepreßt werden; ihr Antrieb erfolgt durch besondere Dampfzylinder. Die Bauart Fell fand bei der 77 km langen provisorischen Mont-Cenis-Bahn, welche eine Landstraßenstrecke mit längeren Steigungen von 77‰ benutzte, vom Juni 1868 bis zum September 1871 Verwendung; auch in Brasilien und Neuseeland wurde sie mit größten Steigungen von 90‰ ausgeführt. Heute ist Fell's Bauart veraltet. Erweist sich die Reibung der Lokomotivräder auf den glatten Schienen infolge allzugroßer Steigung der Bahn und bedeutender Schwere der zu befördernden Zuglasten als unzulänglich, so werden mit Vorteil die Zahnstange oder das Drahtkabel zur Anwendung gebracht.

Bei den Zahnstangenbahnen (Zahnradbahnen, Zahnbahnen) greifen einzelne oder mehrere von der Lokomotivmaschine bewegte Zahnräder in eine gewöhnlich zwischen den Schienensträngen liegende Zahnstange ein, so daß die Lokomotive an letzterer gleichsam emporklettert. Hierbei kann die Achse des Zahnrades bzw. der Zahnräder entweder wagrecht liegen oder stehend angeordnet sein. Im ersten Falle wird das Zahnrad entweder durch eine leiterartige Zahnstange (Bauart Riggenbach) oder durch zwei oder drei nebeneinander befindliche gezahnte Stangen mit gegeneinander versetzten Zähnen (Stufenzahnstangen aus zwei oder drei Platten, Bauweise Aht) geführt. Bei Verwendung liegender Zahnräder dagegen sind diese paarweise angeordnet und stehen mit einer doppelt gezahnten Stange in seitlichem Eingriff (Bauart Locher). Bei Bahnen mit wechselnden Steigungen empfiehlt es sich aus wirtschaftlichen Rücksichten, sowie behufs Erlangung einer wenigstens teilweise größeren Fahrgeschwindigkeit, die Zahnstange nur in den steileren Strecken — etwa von 30 oder 40‰ an, je nach der Größe und Bedeutung des Verkehrs — zu verlegen, die übrigen Strecken als Reibungsstrecken auszuführen, die Zugkraft aber in der Reibungs- wie in der Zahnstangenstrecke durch eine und dieselbe Lokomotive ausüben zu lassen. (Gemischter Betrieb.)

1) Tobler, Die Ütlibergbahn, 1876.

Der Zahnstangenbetrieb hat in Europa für Bergbahnen größere Anwendung gefunden. Die erste Zahnstangenbahn (1870) war jene des Steinbruches in Ostermündingen bei Bern mit Steigungen von 100⁰/₀₀. Ihr folgte schon im Jahre 1871 die Touristenbahn von Vitznau auf die Höhe des Rigi mit Steigungen von 250⁰/₀₀. Die Zahnstangenbahn von Nußdorf bei Wien auf den Kahlenberg, von Budapest auf den Schwabenberg (beide eröffnet 1874) und die Arth—Rigibahn (eröffnet 1875) sind mit geringeren Steigungen (100 bzw. 200⁰/₀₀), im allgemeinen jedoch nach dem Vorbilde der Vitznau—Rigibahn erbaut worden. Eine neue Aufgabe ergab sich bei Anlage der Zahnstangenbahn mit gemischtem Betriebe von Rorschach nach Heiden (eröffnet 1875). Hier handelte es sich um die Aufrechterhaltung des Betriebes auch im Winter bei ziemlich ungünstigen Witterungsverhältnissen; dieser Forderung wurde durch Anlage einer hochliegenden Zahnstange entsprochen. Der seit 1875 regelmäßig stattfindende Betrieb dieser normalspurigen, 7108 m langen Bahn, wovon 5,5 km mit der Zahnstange ausgerüstet sind, mit 90⁰/₀₀ Maximalsteigung und 120 m kleinstem Krümmungshalbmesser hatte den Beweis erbracht, daß der Zahnstangenoberbau bei richtiger Ausführung selbst in schneereichen, strengen Wintern keine besonderen Betriebsstörungen verursacht. Im Jahre 1876 wurde die erste Zahnstangenbahn mit 1 m Spurweite, jene von Wasseralfingen und im Jahre 1885 die erste Zahnstangenbahn nach Abt's Bauweise, jene von Blankenburg nach Tanne (im Harzgebirge, 27 km lang, mit 60⁰/₀₀ Steigung und 180 m Halbmesser) dem Betriebe übergeben. Noch wären als Bergbahnen mit Zahnstangen (reine Zahnradbahnen) zu nennen: a) nach Riggenbach's Bauart: Königswinter—Drachenfels, Rüdesheim—Niederwald, Stuttgart—Deckerloch, Assmannshausen—Niederwald, Gaisberg, Wengernalp, Schynige Platte (die beiden letzteren mit Abänderung der Zahnstange Riggenbach's); b) nach Strub's Bauweise: Jungfraubahn (erster Abschnitt), Triest—Opicina, Vesuvbahn; c) nach Bauart Locher: Pilatusbahn mit Steigungen von 480⁰/₀₀ bei 0,8 m Spurweite; d) nach Abt's Bauweise: Monte Generoso, Rothorn, Glion—Naye, Mont Salève, Schafberg, Snowdon (England), Schneeberg (Österreich), Gornergrat usw.

Der Bau gemischter Bahnen hat in den letzten Jahren vielfach zugenommen; man hat sich nicht gescheut, die Zahnstange streckenweise auch in Bahnen zu verlegen, deren Bedeutung und Verkehr sie über den Begriff der Kleinbahnen wesentlich erhebt. Wichtigere Bahnen mit gemischtem Betriebe sind die Berner Oberlandbahnen (Riggenbach), Eisenerz—Vordernberg, Rama—Sarajewo (Bosnische Bahnen), Ilmenau—Schleusingen, Harzbahn, Usuipaßbahn, Beirut—Damaskus, sämtliche nach Abt's Bauweise.

Eine besondere Art von Zahnradbahnen, welche aber heute nur noch historische Bedeutung besitzt, ist jene von Wetli, bei welcher eine Schraubenwalze das Zahnrad der Lokomotive ersetzt und auch die »Zahnstange« dem entsprechend besonders geformt erscheint. Wetli's Bauart kam auf der Linie Wädenswyl—Einsiedeln zum ersten Mal zur Anwendung, wurde aber wieder verlassen, als sich noch während des Bahnbaues ein Unfall ereignete, dessen Ursache man, wahrscheinlich unbegründeterweise, in dem System selbst zu erblicken glaubte¹⁾.

Als Bergbahnen mit Drahtseilbetrieb — Bergkabelbahnen — stehen verschiedenartige Anlagen in Verwendung. Bei einer der ältesten, aber auch heute noch im Bergbau, in Steinbrüchen, bei Bahnbauten usw. vielfach üblichen Einrichtung

¹⁾ Näheres im XIV. Kapitel des Handbuchs der Ingenieur-Wissenschaften, V. Teil.

werden die leeren Wagen von den beladenen, talwärts laufenden Wagen emporgezogen. Gehen aber die beladenen Wagen bergauf oder wechselt die Belastung der Wagen, so wendet man zum Betriebe der Bahn entweder feststehende oder bewegliche Motoren an, oder es wird dem abwärtsgehenden Wagen jeweilig ein Übergewicht durch Ballast erteilt. Im ersteren Falle werden entweder die Wagen vom Motor mittels eines an ihnen befestigten Seiles gezogen, oder es geschieht, wie bei Agudio's System, die Kraftübertragung auf den zu befördernden Wagenzug durch Seile ohne Ende vermittelt eines Maschinenwagens. Agudio's System hat u. a. bei der Vergnügungsbahn auf die Superga bei Turin (eröffnet 1884; 3,13 km lang, größte Steigung 20‰) Anwendung gefunden. Bei Verwendung feststehender Maschinen dient zumeist Dampfkraft zu deren Betriebe, in wenigen Fällen wurde von der Elektrizität und nur ganz vereinzelt von Wasserkraft Gebrauch gemacht. Mit feststehenden Dampfmaschinen werden u. a. betrieben: die Seilbahn Croix—Rousse in Lyon (eröffnet 1860, 0,49 km lang, vollspurig, größte Steigung 160‰), die Schloßbergbahn in Ofen (1870, 0,80 km, vollspurig, 620‰), Lausanne—Ouchy (1877, 1,48 km, vollspurig, 115‰), die Drahtseilbahn auf den Vesuv (1880, 0,82 km, 630‰). Elektrische Motoren finden sich bei der Bürgenstockbahn (1880, 0,83 km, 580‰), bei der Eisenbahn auf den San Salvatore (1889, 1,65 km, 600‰) und bei der Stanserhornbahn (1893, 3,915 km, 620‰). Durch Wasserkraft bewegte Motoren stehen z. B. bei der Bergbahn Lausanne—St. Luce (300 m, 115‰) in Anwendung.

Der Betrieb mit beweglichen Motoren findet bei Bergbahnen selten Anwendung; ein bemerkenswertes Beispiel aus neuerer Zeit bietet die Seilbahn in Havre; die Wagen dieser Bahn, welche 750 m lang ist und Steigungen von 100‰ aufweist, sind mit den Dampfmotoren System Serpollet ausgerüstet; der aufwärts gehende Wagen dient stets als Motor; hierbei hat seine Dampfmaschine außer den passiven Widerständen nur den Gewichtsunterschied der beiden Wagen zu überwinden.

Bei der Bahn Territet—Glion (1883, 600 m, 503‰) und bei der Zürichbergbahn (1889, 167 m, 260‰) dient Wasserballast als Betriebskraftspender; das Wasser wird bei dieser Betriebsweise am Scheitel der Bahn in die am Wagen befindlichen Behälter gefüllt, an der tiefsten Stelle aus diesen abgelassen und, wenn erforderlich, durch kleine Motoren wieder auf die Höhe gepumpt¹⁾.

§ 16. Einteilung der Eisenbahnen in Rücksicht auf ihre Bauweise: Spurweite, Anzahl der Gleise, Lage des Planums, besondere bauliche Anordnungen. — Eine Einteilung nach der Bauweise läßt sich von verschiedenen Standpunkten aus durchführen, welche bei Festhaltung gewisser einflußreicher baulicher Einzelheiten gewonnen werden. Als solche erscheinen: die Spurweite, die Anzahl der Gleise, die Lage des Planums, verschiedene eigentümliche bauliche Anordnungen.

Im Hinblick auf die Spurweite (Entfernung der Innenkanten der Schienen voneinander) unterscheidet man breit-, voll- (normal-) und schmalspurige Bahnen. G. Stephenson hatte für die erste von ihm erbaute Eisenbahn auf den Bedlington-Eisenwerken in Northumberland die Entfernung der beiden Schienenstränge derart gewählt, daß auch gewöhnliche Fuhrwerke anstandslos das Gleis benutzen konnten. Der Abstand der auf derselben Achse sitzenden Räder eines solchen Fuhrwerks betrug damals, wie Haarmann in seinem Werke über »Das Eisenbahngleis« mitteilt,

¹⁾ Eine besondere Behandlung finden die Seilbahnen im Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, V. Teil, XV. Kapitel.

4' 6" engl. = 1,372 m. Als nun Stephenson an den Bau seiner Lokomotiven ging, sah er sich durch dieses Maß beengt, indem der verfügbare Raum für die Unterbringung der Dampfzylinder nicht ausreichte, und er erweiterte deshalb den Abstand der Schienenstränge auf das zwischen den Innenkanten der Schienen abgenommene Maß von 4' 8½" engl. = 1,435 m. Dieses Maß, das sich für seine Lokomotiven als zweckentsprechend erwies, behielt er auch bei dem Baue der Eisenbahn von Liverpool nach Manchester und bei allen späteren, von ihm entworfenen und ausgeführten Eisenbahnen bei. Nach anderen Annahmen ist die Spurweite von 1,435 m den Ausmaßen gewöhnlicher Straßenfahrwerke unmittelbar entnommen worden.

Dem Beispiele Stephenson's folgten nicht alle englischen Ingenieure. Viele hielten das von ihm gewählte Maß als zu gering, um bei den rasch wachsenden Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Lokomotiven diesen die entsprechende Standfestigkeit geben und ihre Teile ausreichend bemessen zu können. Je nach der persönlichen Auffassung der Erbauer wurde daher das Maß der Spurweite mehr oder weniger vergrößert; am weitesten ging in dieser Beziehung Brunel, welcher bei der Great-Western-Eisenbahn eine Spurweite von 7' engl. = 2,134 m zur Anwendung brachte. In England wurde der weitaus größte Teil mit der Spurweite von 1,435 m erbaut, während in Irland die Spur von 5' 3" = 1,6 m vorherrschte. Mit der Ausbreitung des Eisenbahnnetzes gestalteten sich diese Verhältnisse immer unangenehmer, da der Übergang der Wagen von einer Bahn zur anderen unmöglich war. Im Jahre 1846 wurde daher durch Parlamentsakte bestimmt, daß in Zukunft alle Eisenbahnen in England — mit Ausnahme jener in den Grafschaften Cornwallis, Devon, Dorset und Sommerset — eine Spurweite von 4' 8½" engl. (1,435 m) und in Irland eine solche von 5' 3" engl. erhalten sollten. Die Umbauung der Bahnen mit größerer Spur wurde gesetzlich nicht gefordert; die Bahnverwaltungen sahen sich aber durch die Macht der neuen Verhältnisse genötigt, die gesetzliche Spur anzunehmen oder den Durchgangsverkehr durch Einlegung einer dritten Schiene zu ermöglichen; am längsten bestand die breite Spur auf den Linien der englischen Westbahn, wo erst im Mai 1892 die letzte breitspurige Strecke beseitigt wurde.

Der Bau der ersten Eisenbahnen auf dem europäischen Festlande erfolgte fast ausnahmslos unter dem mächtigen Einflusse Englands; Schienen, Lokomotiven und Wagen kamen aus den englischen Fabriken; namentlich galt Stephenson als Autorität ersten Ranges, ohne dessen Gutachten schwierigere Bahnbauten in der ersten Zeit nicht zur Ausführung gelangten. So kam es, daß auch die von ihm gewählte Spurweite hier festen Fuß faßte. In einzelnen Staaten machten sich allerdings auch andere Anschauungen geltend; doch gelang es ihnen trotz mancher einflußreicher Unterstützung entweder gar nicht oder nur vereinzelt und vorübergehend die Oberhand zu gewinnen.

Siegreich behauptete sich das breitere Spurmaß dagegen in Rußland, wo der österreichische Ingenieur Franz Anton Ritter von Gerstner die erste Eisenbahn von St. Petersburg nach Zarskoje Selo aus den gleichen Gründen, welche in England für die Wahl einer größeren Spur als jener von 1,435 m maßgebend waren, mit dem Spurmaß von 6' engl. = 1,82 m erbaute. Bei der weiteren Ausgestaltung des Eisenbahnnetzes wurde dieses große Maß infolge der entschiedenen Einsprache des amerikanischen Ingenieurs Major Whistler verlassen und die Spur von 5' engl. = 1,524 m als Normalweite gewählt; mit dieser Spur gelangten die große transkaspische Eisenbahn und auch die sibirischen Bahnen zur Ausführung.

In den übrigen Staaten Europas, mit Ausnahme der pyrenäischen Halbinsel, wo sich unter dem Einflusse englischer Ingenieure die Spurweite von 5'6" engl. = 1,676 m einbürgerte, fand die von Stephenson gewählte Spur von allem Anfange her Anwendung; bei der im Mai 1886 in Bern stattgehabten internationalen Konferenz für die technische Einheit im Eisenbahnwesen, an welcher Deutschland, Österreich-Ungarn, Frankreich, Italien und die Schweiz teilnahmen, wurde bestimmt, daß die Spurweite der Bahngleise, zwischen den inneren Kanten der Schienen gemessen, auf geraden Strecken nicht unter 1,435 m und in Kurven nicht über 1,465 m sein soll.

Bei den französischen Bahnen beträgt die Entfernung der inneren Schienenkanten 1,440 bis 1,450 m; es gilt nämlich hier als Grundmaß die Entfernung der Mitten der Schienenstränge des Gleises und ist diese mit 1,50 m bestimmt; der unbedeutende Unterschied gegenüber der Spurweite von 1,435 m behindert in keiner Weise den Übergang der für den internationalen Verkehr erbauten Fahrzeuge.

In den Vereinigten Staaten von Nordamerika traten die meisten Erbauer der ersten Eisenbahnen der Anschauung bei, daß Stephenson's Wahl der Spurweite den Bedürfnissen des Lokomotiv- und Wagenbaues nicht vollkommen genüge und auch späterhin gelangten vielfach größere Spurweiten (5' bis 6' engl.) neben der Vollspur zur Anwendung. Die Folgen dieser Verschiedenheit in der Spurweite der Gleise machten sich aber sehr bald im hohen Grade fühlbar, so daß die Eisenbahnverwaltungen beschlossen, ihre Bahnen auf das als »Vermittlungsspurweite« gewählte Maß von 4'9" engl. = 1,448 m umzubauen. Diese Umgestaltungsarbeiten gelangten im Jahre 1886 zum Abschluß, nachdem in der Zeit vom 31. Mai bis 2. Juni dieses Jahres die letzten 23 000 km Eisenbahnen umgebaut worden waren¹⁾. In den Staaten Südamerikas haben verschiedene Spurweiten Anwendung gefunden. Die Eisenbahnen Ostindiens erhielten die Spur von 5'6" = 1,676 m zumeist im Hinblick auf die hier herrschenden Stürme, deren Gewalt die Fahrbetriebsmittel nur bei entsprechend großer Grundfläche erfolgreich Widerstand zu leisten vermögen.

Gingen manche Ingenieure bei der Wahl der Spurweite über das von Stephenson gewählte Maß hinaus, so hielten es andere durch die Umstände geboten, die Entfernung der Schienenstränge eines Gleises geringer als 4'8½" engl. zu bemessen. So wurde im Jahre 1832 im Nordwesten von Wales (England) zur Erschließung eines im Gebirge liegenden Schieferbruches die 23 km lange Festiniog-Eisenbahn mit 1'11½" = 597 mm Spurweite erbaut. Für die Wahl dieses kleinen Spurmaßes war ausschließlich die Rücksicht auf das schwierige Gelände und auf die geringe Breite des von der Bahn benutzten Schutzdammes in der Bucht von Tremadoc maßgebend²⁾. Das Beispiel der Festiniogbahn fand in England, Schottland und auch in Irland Nachahmung, aber nur in geringem Maße. Auf dem europäischen Festlande wurde im Jahre 1836 die Pferdebahn von Lambach nach Gmunden mit einer Spurweite von 1,106 m und im Jahre 1845 die 50 km lange Eisenbahn von Antwerpen nach Gent mit der Spurweite von 1,150 m erbaut. Diese schmalspurigen Bahnen blieben lange Zeit vereinzelt; die volle Spur behauptete sich in unbeschränkter Weise, und zwar um so mehr, als die finanziellen Erfolge der beiden eben erwähnten Schmalspurbahnen, die ohne zwingende Notwendigkeit mit schmaler Spur erbaut worden waren, zur Nachahmung nicht aneiferten. Erst als sich bei wachsender Ausdehnung des Eisenbahnnetzes die Folgen

¹⁾ Siehe Röll, Encyclopädie des gesamten Eisenbahnwesens, 1894.

²⁾ Haarmann, Die Kleinbahnen, 1895.

der hierdurch hervorgerufenen Verschiebung des Verkehrs in unangenehmer Weise bemerkbar machten und das Bedürfnis, auch weniger handels- und verkehrsreiche Gegenden dem Eisenbahnverkehre zu erschließen, immer mächtiger hervortrat, wurden Stimmen laut, die für die Anwendung kleinerer, unter 1,435 m bleibender Spurweiten mit der Begründung eintraten, daß es hierdurch möglich sein werde, die Bahnen billig genug zu bauen, um sie unter Festhaltung des Grundsatzes größter Sparsamkeit auch in Ausrüstung und Betrieb in Gegenden führen zu können, die von vollspurigen Bahnen wohl kaum jemals erschlossen werden dürften. Die Vertreter der Schmalspur fanden jedoch heftigen Widerspruch, und auch die kleinen engspurigen Bahnen, welche da und dort entstanden, konnten die Überzeugung der Schmalspurgegner von der Unzulänglichkeit des kleinen Spurmaßes nicht erschüttern. Erst der großartige Erfolg, welchen Schweden-Norwegen mit der Annahme der Schmalspur für ihre Eisenbahnen und Österreich mit dem Bau der Bosnabahn erzielten, brachte einen Wandel in der allgemeinen Stimmung zu gunsten der Schmalspur hervor. Die Leistungsfähigkeit derselben auch bei verhältnißmäßig großem Verkehre wird heute wohl nur von Wenigen bestritten; ihre Zweckmäßigkeit für viele Bahnen untergeordneter Bedeutung wird rückhaltlos anerkannt; die Vollspur tritt mit ihr hauptsächlich nur dann in Wettstreit, wenn die betreffende Bahn als Verbindung zweier vollspuriger Bahnen erscheint, aber auch in diesem Falle kann sich unter Umständen die Schmalspur als zweckmäßig erweisen. Zur Zeit handelt es sich auch noch um die Frage, welches Maß für die Entfernung der Schienenstränge einer schmalspurigen Bahn gewählt werden soll. Es herrschen in dieser Beziehung verschiedene Ansichten und es sind die mannigfaltigsten Spurweiten zur Anwendung gelangt; so z. B. 1,067 (Niederlande, Schweden und Norwegen, Japan, wo 1,067 m als Regelspur gilt), 1,00 m (Deutschland, Frankreich), 0,80 m (Schweiz), 0,76 und 0,75 m (Österreich bzw. Sachsen); in jüngster Zeit hat auch die Spur von 0,60 m Anhänger und erfolgreiche Anwendung z. B. in Frankreich, Preußen usw. gefunden.

Wie die Spurweite, so ist auch die Anzahl der Gleise für die Einteilung der Eisenbahnen von Bedeutung. Man unterscheidet hiernach ein-, zwei- (oder doppel-) und mehrgleisige Bahnen. Für Eisenbahnen mit geringem Verkehre genügt zu dessen Bewältigung in der Regel ein einziges durchgehendes Gleis; sobald aber der Verkehre eine gewisse Grenze überschritten hat, tritt die Notwendigkeit ein, für die Züge jeder Fahrtrichtung ein besonderes Gleis anzulegen, so daß es möglich wird, die Zahl der Züge ohne Verminderung der Betriebssicherheit angemessen zu vermehren; denn bei Vorhandensein nur eines einzigen Gleises kann das Begegnen der Züge lediglich in den Stationen stattfinden, welcher Umstand zu vielfachen Unzukömmlichkeiten und Verkehrsstockungen Veranlassung gibt, namentlich dann, wenn durch irgend eine Ursache schon eine kleine Verspätung oder Störung im Zugverkehre eingetreten ist.

In der Regel werden die Eisenbahnen anfänglich nur mit einem Gleis erbaut und wird auf die eintretendenfalls notwendig werdende Legung des zweiten Gleises schon im vorhinein durch den Grunderwerb für dieses letztere und auch durch die doppelgleisige Ausführung des Unterbaues oder doch wenigstens des Mauerwerks größerer Brücken, der Durchlässe, der Tunnels und anderer Kunstbauten Rücksicht genommen. Die Herstellung des zweiten Gleises kann unter Umständen auch streckenweise nach Maßgabe des Bedarfes erfolgen; so wurden beispielsweise auf der Brennerbahn nur allmählich jene Strecken zweigleisig angelegt, auf welchen die Bewältigung des stetig zunehmenden Verkehres mittels eines Gleises ohne Störung und Gefahr

nicht mehr möglich, also die eingleisige Bahn an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit gelangt war. Einen wichtigen Beweggrund zur zweigleisigen Ausgestaltung der Eisenbahnen bildet vielfach auch das Bestreben, sie für den Kriegsverkehr tunlich leistungsfähig zu machen; die meisten Staaten opfern jährlich bedeutende Summen für diese Zwecke. In einigen Ländern, z. B. in Österreich, in der Schweiz, in Frankreich ist das Recht des Staates, die Verwaltungen von Privatbahnen zur Ausführung des zweiten Gleises anzuhalten, teils durch Gesetz festgestellt, teils fallweise in den Konzessionsurkunden vorbehalten. Jedes der beiden Gleise einer zweigleisigen Bahn darf selbstverständlich nur nach einer bestimmten Richtung befahren werden, ausgenommen jene Fälle, in welchen die Sperrung eines Gleises vorübergehend notwendig wird. Auf den deutschen Bahnen wird das in der Zugsrichtung rechts liegende, auf den österreichischen Bahnen das links liegende Gleis befahren; doch sind dort wie hier gewisse Ausnahmen zugestanden.

Drei- und viergleisige Bahnen finden sich fast ausnahmslos nur im Weichbilde oder im engeren Verkehrsgebiete größerer Städte, wie London, Berlin, Paris usw. Sie umfassen zumeist die Gleise verschiedener Linien, welche — von einem gemeinsamen Bahnhofe auslaufend — bis zu ihrem Trennungspunkte auch einen gemeinsamen Bahnkörper benützen. Die Stadtbahn in Berlin besitzt vier Gleise, von denen ein Paar dem Orts- und Nahverkehre, das andere Paar dem Fernverkehre dient.

In verschiedener Weise kann auch das sogenannte Planum der Eisenbahnen, d. h. die Kronenfläche der Dämme und die Sohlfläche der Einschnitte, auf welchem der Oberbau der Bahn und zwar der Bettungskörper desselben gelagert wird, angeordnet sein. Es kann ein eigener Bahnkörper vorhanden sein, es können aber auch vorhandene Straßen für die Legung der Gleise auf einzelnen Strecken oder auch auf die ganze Länge der Bahn benutzt werden. Es ist klar, daß Straßenbahnen schon in Rücksicht auf die Sicherheit des Straßenverkehres nur dann zur Herstellung gelangen dürfen, wenn der Bahnverkehr sowohl hinsichtlich der Zahl der täglich verkehrenden Züge, als auch der Länge und Fahrgeschwindigkeit derselben in bescheidenen Grenzen verbleibt. Übrigens lehrt die Erfahrung, daß Menschen und Tiere sich verhältnismäßig leicht an den Bahnbetrieb gewöhnen und Unfälle sich selten ereignen. Jedenfalls aber findet die Benutzung der Straßen ausschließlich durch Bahnen örtlicher Bedeutung und in hervorragendem Maße durch Kleinbahnen statt; sie verbilligt sehr beträchtlich den Bau derselben, verteuert aber dort, wo die Gleise auch von den Straßenfahrwerken befahren werden, namentlich in verkehrsreichen Städten, wegen der kostspieligen Unterhaltung der Gleise den Betrieb. Ein Vorteil der Straßenbenutzung, der alle in einem besonderen Falle etwa vorhandenen Nachteile weitaus überwiegt, liegt in der Möglichkeit, die Bahn durch Ortschaften und dicht an Fabriken, Wirtschaftshöfe usw. zu führen und in größeren Städten mit dem Straßenverkehr selbst in unmittelbarer Fühlung zu bleiben.

Ausgedehnte Benutzung der Landstraßen für die Anlage von Eisenbahnen zur Verbindung durch Ortschaften wurde zuerst in Italien und Holland gemacht, in welchen Ländern sich die »Dampfstraßenbahnen« schon zu einer Zeit, da in anderen Staaten das Straßenbahnwesen noch in den ersten Anfängen lag, kräftig und erfolgreich entwickelt hatten; die italienischen Straßenbahnen boten seinerzeit besonderes Interesse in betreff der Linienführung durch dicht bewohnte, engstraßige Ortschaften und wegen der nahen Lage der Haltestellen aneinander. In Frankreich, Deutschland und Österreich begann der Bau der Straßenbahnen außerhalb der Städte erst in den achtziger

Jahren des vergangenen Jahrhunderts einen lebhafteren Aufschwung zu nehmen; als bemerkenswerte Straßenbahnen in Deutschland wären unter anderen die Feldbahn, die Linien Flensburg—Kappeln, Altona—Kaltenkirchen und einzelne sächsische Schmalspurbahnen zu nennen.

Straßenbahnen für den Verkehr im Innern der Städte (»Tramways«) wurden zuerst vor 40 bis 50 Jahren geschaffen. Damals entstanden in London, Berlin, Paris, Wien usw. die ersten Pferdebahnen. Der Vorteil dieser Bahnanlagen war ein so bedeutender, daß diese sich rasch erweiterten und auch in mittelgroßen und selbst kleineren, aber verkehrsreicheren Städten Trambahnen oder Straßenbahnen hergestellt wurden. In baulicher Beziehung bieten sich hierbei insofern Eigenheiten dar, als die Gleise zumeist in gepflasterte Straßen einzulegen sind und den vollständig freien Verkehr der übrigen Fuhrwerke in keiner Weise behindern dürfen.

Bei den Bahnen mit eigenem Bahnkörper werden die Baukosten durch den Umfang der Aufdämmungen, Abtragungen und Kunstbauten beeinflusst. Diese Kosten gestalten sich um so kleiner, je mehr das Planum mit dem von der Bahn durchzogenen Gelände zusammenfällt, je inniger sich die Linie an dieses schmiegt. Für Bahnen minderer oder rein örtlicher Bedeutung muß daher das Anschmiegen an das Gelände im Hinblick auf die gebotene weitgehende Sparsamkeit beim Baue als Grundsatz streng festgehalten werden, und es kann das auch um so leichter geschehen, als des beschränkten Zugsverkehrs und der geringen Fahrgeschwindigkeit wegen Rücksichten auf Straßenkreuzungen usw. entfallen. Bei Eisenbahnen, auf welchen viele Züge und auch solche mit bedeutender Fahrgeschwindigkeit verkehren, gestatten die letzterwähnten Rücksichten nicht immer die wünschenswerte Befolgung jenes Grundsatzes; auch kommen hier noch andere Umstände mit ins Spiel, indem die zulässigen Steigungen in engeren Grenzen liegen, die Krümmungshalbmesser beschränkter sind usw. Wir sehen also bei höherstehenden Bahnen den Wechsel in der Lage des Planums gegen den Erdboden viel schärfer und häufiger auftreten, als bei Bahnen von minderer oder örtlicher Bedeutung; dennoch können auch sie im allgemeinen als Geländebahnen bezeichnet werden, weil die Anschmiegun an die Bodenformen bei ihrer Linienführung immerhin der leitende Gedanke bleibt.

In den letzten Jahrzehnten ist der Straßenverkehr (Fuhrwerke, Straßenbahnen, Fußgänger) im Innern der Städte bedeutend angewachsen. Es ergab sich immer mehr die Notwendigkeit einen Schnellverkehr zu schaffen und gleichzeitig die Straßen selbst zu entlasten. Man wurde auf solche Weise veranlaßt, das Planum dieser Bahnen, die als »Stadtbahnen« bezeichnet werden, über oder unter die Fahrbahn der Straßen zu verlegen. So entstanden Hoch- und Tiefbahnen (Untergrundbahnen), durchwegs Bezeichnungen, die derzeit noch im engsten Zusammenhange mit dem Begriffe der Stadtbahnen stehen. Ob eine Stadtbahn über oder unter den Straßen erbaut werden soll, hängt wesentlich von den Bodenverhältnissen der Stadt, den Lebensgewohnheiten der Bevölkerung und anderen besonderen Umständen ab, im übrigen kommen Rücksichten auf die Annehmlichkeit der Reisenden, auf die Bewahrung schöner Straßenbilder und auf die Erträgnisfähigkeit der Anlage in Betracht. Die Gleise der Hochbahnen können entweder von eisernen Balken, die auf Einzelstützen ruhen, oder von einem aus Pfeilern und Gewölben gebildeten steinernen Unterbaue getragen werden. Nach der ersteren Anordnung sind z. B. die Hochbahnen in New York, Chicago, Hoboken, Kansas City, Los Angeles, Liverpool, nach der letzteren ist die Hochbahn in Berlin erbaut. Bei den Tiefbahnen wird der Oberbau entweder

in offene Einschnitte oder in Tunnels verlegt; in solcher Weise sind die Untergrundbahnen in London, in Budapest, in Paris und Berlin ausgeführt; bei der neuen elektrisch betriebenen Untergrundbahn in London besteht der Tunnel aus zwei getrennten Röhren, von denen die eine für die Hinfahrt, die andere für die Rückfahrt dient. Die Stadtbahn in Wien ist der wechselnden Bodengestaltungen wegen teils als Hoch-, teils als Tiefbahn hergestellt.

Eine ganz eigentümliche bauliche Anordnung zeigen die einschienigen Bahnen, die Stufenbahnen und die Drahtluftbahnen. Die einschienigen Bahnen (Einschienbahnen) sind Eisenbahnen, bei denen sich die Fahrzeuge auf einem einzigen Schienenstrange fortbewegen und das Gleichgewicht entweder durch eine entsprechende

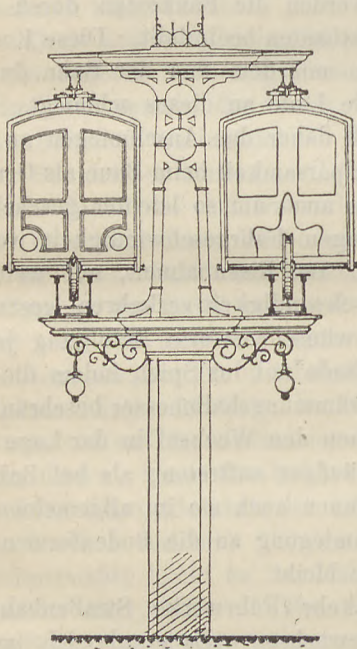


Abb. 20.

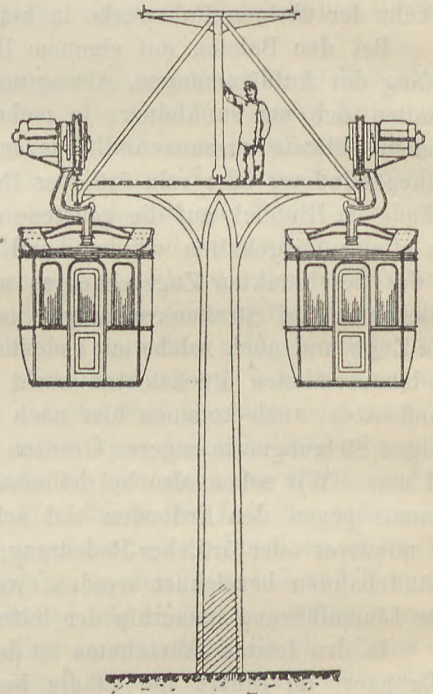


Abb. 21.

Verteilung der Lasten oder durch besondere Leitschienen oder Leiträder, oder auch durch Leitschienen und Leiträder erhalten wird. Die erste einschienige Eisenbahn wurde von Robinson Palmer im Jahre 1821 erbaut; seither hat das System mancherlei Abänderungen erfahren und ist wiederholt zur Ausführung gelangt. In sehr vervollkommneter Form kam es durch Lartigue in Algier und Tunis und bei der Lokalbahn von Listowel nach Ballibunion in Irland zur Anwendung. Zu den Einschienbahnen zählt auch die Schwebbahn nach Bauart Langen, wie sie zwischen Elberfeld und Barmen erbaut und für Hamburg und Berlin vorgeschlagen wurde; hierbei sind die Fahrzeuge mittels der Räder, die hintereinander in der durch die Längsachse des Fahrzeuges gedachten Schwerpunktsebene angebracht sind, an dem hochliegenden Schienenstrange aufgehängt. Abbildung 20 zeigt die Einschienbahn von Beyer, Abbildung 21 die Ausführung nach Langen, Abbildung 22 Lartigue's Bauart, der jene von Behr ähnlich ist.

Bei den Stufenbahnen laufen an der einen Seite einer in sich selbst zurückkehrenden, mit einer gewissen Geschwindigkeit fortbewegten Plattform (eines Zuges) andere Plattformen (Züge) in gleicher Richtung, jedoch mit geringerer Geschwindigkeit, so daß die Fahrgäste von dem Fußsteige der Straße aus ohne Gefahr auf die erste Plattform, von hier aus auf die etwas schneller laufende zweite Plattform und sofort bis auf den eigentlichen Zug bzw. in umgekehrter Richtung übersteigen können. Die Erfindung rührt von den Brüdern Wilhelm und Heinrich Rettig (1888) her und wurde durch Schmidt und Silsbee in Chicago abgeändert, ist aber bisher zu keiner nennenswerten Anwendung gelangt.

Drahtluftbahnen (Schwebende Seil- oder auch Hängebahnen) sind Anlagen, bei denen ein über eine Anzahl Unterstützungsstellen frei durch die Luft gespanntes Drahtseil die Laufbahn für die Räder der Förderwagen bildet. Bei der Möglichkeit, große Geländeschwierigkeiten zu umgehen, und bei der Zulässigkeit, die Beförderung der Last in einzelnen Teilen von 150 bis 500 kg Gewicht zu bewerkstelligen, finden derartige Bahnen, deren

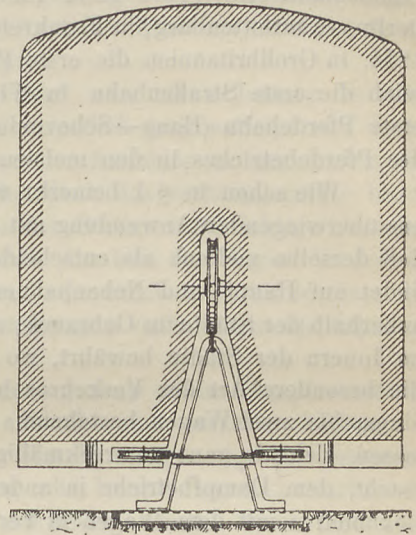


Abb. 22.

Anwendung auf Jahrhunderte, bei den Chinesen und Indianern selbst auf Jahrtausende zurückreicht, erfolgreiche Benutzung für Güterbeförderung.

§ 17. Einteilung der Eisenbahnen nach dem Betriebsmotor. — Die ersten Eisenbahnen, die in § 7 besprochenen Spurbahnen der deutschen und englischen Bergwerke, wurden mit Menschenkraft betrieben, indem die Bergleute die einfachen, leichten Wagen (Hunde) auf den Bahngestängen vorwärts schoben. Diese Betriebsweise besteht für kurze Förderbahnen mit schwachem Verkehre in Bergwerken, auf Bauplätzen, in Steinbrüchen usw. auch heute noch; sie erscheint als die einfachste Form des Eisenbahnbetriebes. Bei der weiteren Entwicklung des Eisenbahnwesens trat die tierische Zugkraft allmählich mehr und mehr in den Vordergrund; die ersten Eisenbahnen im jetzigen Sinne des Wortes — wurden mit Pferden betrieben; die Stockton-Darlington-Eisenbahn (eröffnet 1825) war für Pferdebetrieb erbaut; später wurden allerdings die Güterzüge mit Lokomotiven befördert. Auf den ersten Bahnen des europäischen Festlandes traten die Lokomotiven anfangs nur ausnahmsweise, oder abwechselnd mit den Pferden in den Zugförderungsdienst ein; so wurde der Betrieb auf der Berlin—Potsdamer Eisenbahn anfangs »im Dunkeln« mit Pferden bewerkstelligt und es verkehrten Lokomotiven nur am Tage, bis für Lokomotivfahrten im Dunkeln die behördliche Genehmigung erteilt worden und die Direktion zu der Erkenntnis gelangt war, daß »die jedesmalige Heizung einer kleinen Lokomotive nicht viel mehr kostete, als bisher für ein Pferd pro Fahrt bezahlt wurde«.

Die erste Eisenbahn für den öffentlichen Verkehr in Österreich, die im Jahre 1827 in ihrer ersten Teilstrecke eröffnete Linie Linz—Budweis, wurde mit Pferden betrieben; auch zu Anfang der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts tauchten auf dem europäischen Festlande zahlreiche Entwürfe für Eisenbahnen mit Pferde-

betrieb auf, die aber nach den großen Erfolgen der Lokomotive fallen gelassen und in solche für Lokomotiveisenbahnen umgearbeitet wurden. In den fünfziger und sechziger Jahren gelangte der Pferdebetrieb wieder zu Ehren, indem er auf den ersten damals zur Ausführung gekommenen Straßenbahnen in Städten Anwendung fand (vgl. § 16, S. 59). Deutschland erhielt die erste Pferdebahn dieser Art im Jahre 1864 in der Linie Berlin—Charlottenburg; in Frankreich wurde die erste Straßenbahn in Paris im Jahre 1854, in Großbritannien die erste Pferdebahn in Birkenhead im Jahre 1860, in Österreich die erste Straßenbahn in Wien 1865 eröffnet. Die Niederlande erhielten die erste Pferdebahn (Haag—Scheveningen) im Jahre 1863. Gegenwärtig ist an Stelle des Pferdebetriebes in den meisten Fällen der elektrische Betrieb getreten.

Wie schon in § 1 bemerkt wurde, ist der Lokomotivbetrieb infolge seiner weit- aus überwiegenden Anwendung mit dem Begriffe der Eisenbahnen so innig verbunden, daß derselbe vielfach als entscheidendes Merkmal der letzteren betrachtet wird. Er findet auf Haupt- und Nebenbahnen Anwendung, er steht auf Straßenbahnen in- und außerhalb der Städte in Gebrauch; am wenigsten hat er sich bisher auf Straßenbahnen im Innern der Städte bewährt, wo die Verwendung der Lokomotiven bei der durch die besondere Art des Verkehrs bedingten Notwendigkeit: kleine, leichte Züge aus einem bis zwei Wagen bestehend, in kurzen Zwischenräumen aufeinander folgen zu lassen, sich als ganz unzweckmäßig erwies. Hier wurde wiederholt der Versuch gemacht, dem Dampfbetriebe in anderer Form Eingang zu verschaffen, indem man die Lokomotive mit dem Wagen in Verbindung brachte (Dampfomnibus) oder die Dampfmaschine samt Dampfkessel auf dem Wagen selbst unterbrachte, sogenannte Motorwagen erbaute. Doch konnte bisher weder die eine noch die andere Betriebsform dauernden Erfolg erreichen; die Frage des Motorwagenbetriebes steht aber in lebhafter Erörterung und dürfte in nicht zu ferner Zeit auf Grund der Versuche, die vielfach durchgeführt werden, ihre Lösung erfahren. Die mit Dampf bewegte, mit Feuerherd ausgestattete Lokomotive eignet sich vorzüglich für den Betrieb der überwiegenden Mehrzahl aller Bahnen wegen der erreichbaren großen Leistungsfähigkeit, wegen ihrer Unabhängigkeit von einer feststehenden Kraftzeugungsquelle (Kraftstation) und wegen ihrer verhältnismäßig billigen Arbeit. Sie hat einen Grad von Vollkommenheit erreicht, wie er anderen Motoren noch nicht eigen ist. Zwar machen sich schon jetzt in dem Maße, als das Bestreben nach Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit sich steigert, gewisse nachteilige Eigenschaften geltend, welche mit der Konstruktion der Dampfmaschinen für die Lokomotive und deren besonderen Anordnungen zusammenhängen; es zeigen aber neuere Erfindungen auf diesem Gebiete, daß auch hier die Ausbildung der Dampflokomotive noch nicht abgeschlossen und die Leistungsfähigkeit der Dampfbahnen noch nicht an ihre Grenzen gelangt ist; andererseits vervollkommen sich auch die Lokomotiven für Kleinbahnen in ihrer Anpassungsfähigkeit an schwachen Verkehr und an die einfachen Betriebsverhältnisse solcher Bahnen.

Der elektrische Betrieb der Eisenbahnen ist noch ziemlich jung, hat aber, namentlich auf Stadtbahnen, und zwar sowohl bei Straßen-, als auch bei Hoch- und Tiefbahnen, eine Verbreitung gefunden, die durch ihre Raschheit und Ausdehnung geradezu Bewunderung erregen muß und für die großen Vorteile dieser Betriebsweise beredtes Zeugnis ablegt. Der Betrieb kann mit Stromzuleitung oder mit Akkumulatoren erfolgen; im ersteren Falle wird der Strom in einer besonderen Kraftstation erzeugt und den Wagenmotoren entweder ober- oder unterirdisch zugeleitet; im zweiten Falle führen die Motorwagen die Kraftquelle mit sich. Die ersten elektrischen Bahnen

mit oberirdischer Stromzuführung auf dem europäischen Festlande wurden in Groß-Lichterfelde bei Berlin (1881), in Mödling bei Wien (1883) und in Frankfurt (Frankfurt-Offenbach 1884) erbaut. Die unterirdische Stromzuleitung, welche sich kostspieliger in der Anlage gestaltet, als die oberirdische Leitung, aber für Städte infolge des Wegfalls der Leitungsdrähte und Leitungsstangen einen gewissen Vorzug aufweist, hat bisher noch wenig Anwendung gefunden. Eine der interessantesten Anlagen dieser Art ist die Straßenbahn in Budapest.

Der Sammlerbetrieb, welcher, wenn er gelingt, eine ideale Lösung des elektrischen Bahnbetriebes bedeutet, ist allerdings noch ziemlich weit entfernt von diesem anzustrebenden Ziele. Wenn auch in dem Baue der Sammler in der letzten Zeit große Fortschritte gemacht worden sind, so bilden doch das verhältnismäßig bedeutende Gewicht und die hohen Anschaffungskosten der Batterien gewichtige Ursachen, welche die allgemeine Einführung dieses Betriebes, der sich für längere Linien besonders empfehlen würde, erschweren und verzögern; namentlich erscheint der Sammlerbetrieb dort noch nicht verwendbar, wo starke Steigungen vorkommen und daher das große Eigengewicht um so ungünstiger wirkt.

Der Umstand, daß der elektrische Motor im Gegensatz zu der Dampflokomotive keine hin- und hergehenden Teile besitzt, also auch frei ist von allen hieraus entspringenden und den ruhigen, gefahrlosen Lauf der Maschine ungünstig beeinflussenden, störenden Bewegungen, würde deren Anwendung auf Hauptbahnen, besonders bei Erstrebung großer Geschwindigkeit, vorteilhaft erscheinen lassen. Doch bieten sich der Durchführung dieser Absicht in der Abhängigkeit der elektrischen Lokomotive von einer Kraftstation und in der dadurch bedingten Stromzuleitung mit Rücksicht auf den Verkehr schwerer Züge in größeren Zeiträumen manche Schwierigkeiten. Auch würde die Anwendung von Fahrgeschwindigkeiten bis zu 200 km besondere bauliche und betriebstechnische Einrichtungen bedingen, die an den stehenden Bahnen in vielen Fällen nicht durchführbar wären, bei neuen Bahnen aber die Anlagekosten jedenfalls sehr erhöhen würden; die in dieser Beziehung gegenwärtig praktisch zulässigen Fahrgeschwindigkeiten können mit der Dampflokomotive, deren Konstruktion noch steten Verbesserungen unterworfen ist, ebenfalls und vielleicht nicht minder wirtschaftlich, als mit der elektrischen Lokomotive, erreicht werden. Nur in einzelnen besonderen Fällen wurde die Frage des elektrischen Betriebes auf Hauptbahnen schon jetzt zu dessen gunsten entschieden; so verwendet die Baltimore-Ohio-Eisenbahn zur Beförderung der Züge durch einen 2,5 km langen Tunnel elektrische Lokomotiven; auch im Simplontunnel wurde elektrischer Betrieb eingerichtet. Auf die elektrische Lokomotive Heilmann's, die mit einer Dampfmaschine zum Betriebe des ebenfalls auf der Lokomotive befindlichen Stromerzeugers ausgerüstet ist, wurden anfangs große Hoffnungen gesetzt; dieselben haben sich aber nicht in gewünschter Weise erfüllt, indem sich der Wirkungsgrad der Lokomotive zu gering stellte. Dennoch ruhen, namentlich in jüngster Zeit, die Bestrebungen nicht, auf Lokal- und Hauptbahnen den Dampfbetrieb durch elektrischen Betrieb zu ersetzen; man verwendete hierbei zunächst den dreiphasigen Wechselstrom (Drehstrom), so bei der Eisenbahn von Burgdorf nach Thun und der Eisenbahn durch das Veltlinal; neuestens kam der einphasige Wechselstrom bei der Stubaitalbahn und der Eisenbahn von Spindlersfelde nach Niederschönweide zur Anwendung.

In neuerer Zeit sind auch die Kabelbahnen, aber nur vorübergehend, wieder zu Ehren gekommen. Auf die mit Seilbetrieb eingerichteten Bergbahnen wurde schon

weiter oben hingewiesen; hier kann die Rede nur von jenen Bahnen sein, bei welchen das Kabel gleichsam als Motor auftritt, indem es — als Seil ohne Ende in einem zwischen den beiden Schienen eines Gleises unter dem Straßendamm gebauten Schlitzkanal über Rollen laufend — die mit Greifern versehenen Wagen mit sich fortschleppt; das Seil wird durch eine feststehende Maschine in Umlauf erhalten. Dieses System eignet sich hauptsächlich für Straßenbahnen mit starken Steigungen; aber auch auf wagrechten Strecken sollen, sofern die Richtungsverhältnisse nicht ungünstige waren, wirtschaftlich gute Ergebnisse erzielt worden sein. Die erste erfolgreiche Anwendung dieses Systems fällt in das Jahr 1873, in welchem die Eröffnung der Linie Clay Street in San Francisco in Californien stattfand; hierbei kam Hallidie's Konstruktion der »Seilgreifer«, d. i. jener Vorrichtung, mit welcher die Wagen sich an das laufende Seil klemmen, zur Anwendung. Von da an vergrößerte sich das Netz der Seilbahnen in San Francisco sehr rasch; auch in anderen Städten fand diese Art der Kabelbahnen Anwendung, so z. B. in Chicago, wo sehr scharfe Bögen vorkommen und der Betrieb an und für sich wegen der bedeutenden Temperaturunterschiede und der starken Schneefälle großen Schwierigkeiten begegnet. Nordamerika zählte vor etwa fünf Jahren 1000 km Kabelbahnen; in den letzten Jahren wurden aber allmählich viele Kabelbahnen für elektrischen Betrieb ohne Kabel umgestaltet.

Die zunehmende Ausbreitung der Lokal- und Kleinbahnen, deren Betrieb oft unter ganz eigentümlichen örtlichen Verhältnissen, stets aber im Hinblick auf möglichst weitgehende Sparsamkeit stattfinden muß, hat zu Versuchen mit mancherlei anderen Motoren Veranlassung gegeben. Das Bestreben, die Vorteile der Dampflokomotive auch für Straßenbahnen in gutbevölkerten Gegenden verwerten zu können, ohne die Nachteile der Rauchentwicklung und Ausströmung ungesunder Gase in den Kauf nehmen zu müssen, hat zum Bau der feuerlosen Dampflokomotiven geführt. Bei den Lokomotiven dieser Art nach den Systemen Lamm-Francq¹⁾ und Lentz entwickelt sich aus einer, bis zu hohem Grade unter bedeutender Spannung erhitzten Wassermasse bei allmählicher Abnahme des Druckes Dampf, der dann zum Betriebe verwendet wird; diese Betriebsart hat in Frankreich (Rueil-Marly le Roi, Lille-Roubaix) und in Österreich, namentlich aber in überseeischen Ländern z. B. Holländisch-Indien Anwendung gefunden; es sind bisher einige hundert Lamm-Francqsche Lokomotiven verschiedener Größe und Anordnung in Betrieb gestellt worden. Honigmann hat der Lokomotive eine Wärmequelle gegeben, indem er die Eigentümlichkeit der Natronlauge, bei einer gewissen Verdichtung eine größere Menge Wasserdampf unter bedeutender Wärmeentwicklung aufzunehmen, entsprechend ausnützt; die entwickelte Wärme dient zur Erzeugung des für den Betrieb der Maschine erforderlichen Dampfes; der Abdampf wird wieder zur Erhitzung der Natronlauge verwendet, die bis zu einem gewissen Verdünnungsgrade benutzt werden kann. Honigmann's Lokomotive hat trotz der ihr innewohnenden Vorzüge bisher keine weitere Anwendung gefunden.

Auf einigen französischen und schweizerischen Straßenbahnen erfolgt der Betrieb mit Preßluft nach der Bauweise Mekarski, der seine ersten erfolgreichen Versuche im Jahre 1875 anstellte. Die in einer Kraftstation durch Dampf- oder Wasserkraft auf 60 bis 80 Atm verdichtete Luft wird in Stahlbehältern aufgespeichert, aus welchen die Luftbehälter auf den Lokomotiven oder Motorwagen gespeist werden; aus diesen Behältern strömt die Luft in die Arbeitszylinder aus und wirkt hier durch

¹⁾ Alfred Birk, Die feuerlose Lokomotive.

Expansion mit 3 bis 8 Atmosphären. Nach Mekarski's Bauweise werden Straßenbahnen in Nantes, London, Bern, Toulon, Toledo usw. betrieben; Abänderungen erfuhr dieselbe durch Edward, Hughes & Lancaster und in jüngster Zeit durch Popp-Conti. Popp-Conti verwendet Luft von geringerer Spannung; so haben seine für die Tramway St. Quentin gebauten Wagen acht Rohrbehälter mit Luft von 25 Atmosphären.

Neben den elektrischen und Preßluftwagen wurden auf verschiedenen Bahnen auch Gasmotorwagen in Verwendung genommen; als Betriebskraft dient ein Gemenge von Leuchtgas oder Petroleumdünsten oder auch Benzindünsten mit atmosphärischer Luft, indem durch aufeinander folgende explosive Wirkung desselben der Motor in Bewegung gesetzt wird. Der wichtigste Vertreter der Leuchtgaswagen ist der Wagen von Lührig, der auf der Straßenbahn in Dessau, auf der Linie Warmbrunn—Hermsdorf—Hirschberg und in Maastricht, Amsterdam, Blackpool usw. in Verwendung steht. Petroleum wurde von Roger versucht, ohne jedoch dauernden Erfolg zu zeigen. Am günstigsten stellt sich wohl der Benzinwagen von Daimler, mit dem u. a. auf den kgl. württembergischen Staatsbahnen in jahrelangen Versuchen sehr günstige Ergebnisse gewonnen wurden. Vorteile der Gasmotorwagen sind die einfache und leichte Beschaffung der Betriebskraft, der regelmäßige Gang, die einfache Wartung; als Übelstände werden die Schwierigkeiten der Inangsetzung, die Beschränktheit der Fahrgeschwindigkeit und der Beweglichkeit nach vor- und rückwärts empfunden.

Bei dem Betriebe von Nebenbahnen und auch von Hauptbahnen spielt die Frage nach dem Motor derzeit insofern eine wichtige Rolle, als bei ihnen immer mehr das Bestreben maßgebend wird, durch Anwendung von Triebwagen (Selbstfahrern, Selbstläufern, Automobilwagen, Motorwagen) den Zugverkehr zu verdichten, die Betriebskosten zu vermindern, den Verkehr und die Einnahmen zu heben. Die verschiedenen Bauarten treten hierbei untereinander und mit den Dampflokomotiven in Wettbewerb, so daß es schwer ist, die richtige Auswahl zu treffen; diese Schwierigkeit wird durch den Umstand erhöht, daß die Erfahrungen über die einzelnen Motoren zumeist noch verhältnismäßig neu und in den seltensten Fällen vollkommen geklärt sind. Die einzelnen Motoren stehen noch viel zu sehr in dem »Parteiengetriebe« — wenn dieser Ausdruck mit Vorbehalt gebraucht werden darf. Doch ist es notwendig, in jedem einzelnen Falle die Motorfrage gründlich zu studieren und alle obwaltenden Verhältnisse wohl zu erwägen, um jenen Motor zu wählen, der sich sowohl vom Standpunkte des öffentlichen Interesses, als von jenem einer Erwerbsunternehmung empfiehlt¹⁾.

§ 18. Bauwürdigkeit einer Eisenbahn. — Der Bau einer Eisenbahn wird stets im Hinblick auf einen bestimmten Zweck, welcher seinerzeit durch deren Betrieb erreicht werden soll, in Aussicht genommen werden; an den entwerfenden Ingenieur tritt die Aufgabe heran, den Bau derart zu gestalten, beziehungsweise die Bahnlinie in solcher Weise zu führen, daß der durch sie erstrebte Zweck künftighin auch erfüllt wird. Bei Durchführung dieser Aufgabe, welche der Tätigkeit des Ingenieurs eine gewisse Weihe verleiht, gelangt derselbe an nicht zu überschreitende Grenzen, innerhalb welcher allerdings zumeist mehrere Lösungen möglich erscheinen. Es fragt sich, ob die von ihm gewählte Linie auch dem ihr zugewiesenen Zwecke entspricht,

¹⁾ Vgl. auch: Alfred Birk, Der Betrieb der Lokalbahnen. Wiesbaden 1890. Ferner: Zeitschrift für das gesamte Lokal- u. Straßenbahnwesen, 1905.

ob ihr Bau im Hinblick auf diesen Zweck gerechtfertigt erscheint, ob sie bauwürdig ist. Wenn es sich um Bahnen von rein militärischer Bedeutung oder um private Bahnen für industrielle oder landwirtschaftliche Unternehmungen handelt, dann sind auch bestimmte Anhaltspunkte gegeben, um deren Bauwürdigkeit in unzweifelhafter Weise beurteilen zu können. Bei Eisenbahnen, die lediglich aus militärischen Erwägungen erbaut werden, wird der Staat sich nur zu fragen haben, ob er das erforderliche Opfer zu bringen fähig ist, und bei den anderen oben erwähnten Linien wäre nur zu prüfen, ob die Förderkosten, welche aus der bekannten Fördermenge und den ziemlich genau erhebaren Betriebsausgaben zu ermitteln sind, den Preis des zu befördernden Gutes auch tatsächlich noch innerhalb der zulässigen Grenzen beeinflussen und inwieweit die Bahnförderung sich günstiger stellt, als die Straßenförderung unter Berücksichtigung der Anlagekosten und Kosten der Betriebseinrichtung für jene und für diese Art der Förderung.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn die Bauwürdigkeit einer Bahn vom wirtschaftlichen Standpunkte aus allgemein beurteilt werden soll. Hier sind verschiedene Fälle möglich, die auch verschiedene Voraussetzungen für die einschlägigen Erwägungen schaffen. Treten Privatpersonen als Unternehmer auf, so ergibt sich naturgemäß als oberster Zweck der Bahnanlage die Erzielung einer angemessenen Verzinsung des Bau- und Betriebskapitals durch den Betriebsüberschuß. Auch der Staat wird sich, wenn er den Bahnbau auf eigene Kosten bewirkt, zumeist von der gleichen Erwägung leiten lassen; er kann sich aber unter Umständen mit einer sehr mäßigen Verzinsung begnügen, sobald der gemeinwirtschaftliche Nutzen der Linie, welcher sich in der Steigerung der Wohlhabenheit und der Steuerkraft der Bevölkerung, in der Hebung der Industrie und des Handels offenbart und dem Staate mittelbar Vorteile bietet, eine Ausgleichung des Zinsenentganges gewährt. Ebenso kann eine Bahnlinie bauwürdig erscheinen, obgleich sie eine unmittelbare Verzinsung des Anlagekapitals nicht oder nur in sehr geringem Maße herbeiführt, wenn sie für ein bestehendes Bahnnetz, in das sie als ein neu hinzukommendes Glied gefügt wird, einen Verkehrszuwachs bewirkt, der den Aufwand an Baukapital für sie selbst rechtfertigt; allerdings muß in diesem letzteren Falle der Eigentümer oder Nutznießer der neuen Bahnlinie auch zugleich Eigentümer oder Nutznießer des bestehenden Bahnnetzes sein. Dieser Fall tritt zum Beispiele dort ein, wo von Seite der Hauptbahnverwaltungen Flügelbahnen in die abseits des Hauptschienenweges liegenden Gegenden geführt werden, um dieselben dem allgemeinen Verkehre zu erschließen und der Hauptbahn neue Verkehrsquellen zu eröffnen.

Die Beurteilung der Bauwürdigkeit einer Eisenbahn erfordert die Kenntnis der Anlagekosten einerseits und des zu erwartenden Betriebsüberschusses anderseits.

Zu den Anlagekosten gehören: die Kosten der gesamten Vorarbeiten, die Auslagen für Grunderwerb, die Kosten für die Herstellung des Unter-, Ober- und Hochbaues, die Auslagen für die ganze Bahnausrüstung samt Fahrbetriebsmitteln und schließlich die Zinsen für das Baukapital, soweit dieselben während der Bauzeit zu bezahlen sind, wie auch die Kosten der Geldbeschaffung, die Beträge der Kursverluste usw. Die Anlagekosten, deren wesentlichen Teil die eigentlichen Baukosten, d. h. die für die Herstellung der Bahn tatsächlich zu bezahlenden Beträge bilden, lassen sich auf Grund eines gut ausgearbeiteten allgemeinen Entwurfes mit einer für die Beurteilung der Bauwürdigkeit vollauf genügenden Genauigkeit ermitteln. Handelt es sich nur annäherungsweise um die Beurteilung der Bauwürdigkeit, dann erscheint

auch eine schätzungsweise Bestimmung der Anlage-, beziehungsweise Baukosten der in Aussicht genommenen Linie auf Grund von Erfahrungswerten als ausreichend. Die nachstehende Tabelle gibt solche Werte für eingleisige Haupt- und Nebenbahnen unter Rücksichtnahme auf die hauptsächlichlichen Verschiedenheiten der Bodengestaltung.

Bodengestaltung	Baukosten für 1 km in Mark bei			
	Hauptbahnen	Nebenbahnen		
		1,435 m	1,000 m	0,750 m Spur
Ebene	130 000—180 000	30 000— 50 000	20 000— 40 000	15 000— 25 000
Hügelland, leicht	150 000—220 000	45 000— 70 000	30 000— 50 000	20 000— 30 000
Hügelland, schwer	200 000—260 000	60 000— 90 000	45 000— 60 000	25 000— 40 000
Mittelgebirge, leicht . . .	240 000—320 000	80 000—120 000	50 000— 70 000	30 000— 50 000
Mittelgebirge, schwer . . .	280 000—400 000	110 000—140 000	60 000— 90 000	45 000— 70 000
Hochgebirge, leicht	340 000—500 000	130 000—160 000	80 000—110 000	60 000— 80 000
Hochgebirge, schwer	400 000—600 000	150 000—200 000	100 000—140 000	75 000—100 000

Der Betriebsüberschuß, d. h. derjenige Betrag, um welchen in einem bestimmten Zeitraum die Gesamtsumme der Betriebseinnahmen einer Bahn jene der Betriebsausgaben übersteigt, läßt sich nur auf Grund der Kenntnis der zu erwartenden Verkehrsmenge ermitteln, denn diese beeinflußt sowohl die Betriebseinnahmen, als auch bis zu einem gewissen Grade die Betriebskosten. Im allgemeinen kann die Verkehrsmenge proportional der Einwohnerzahl der Stationsorte der Bahn angenommen werden. Dieser, heute allgemein als richtig anerkannte Grundsatz für die Abschätzung des Verkehrs wurde von Michel¹⁾ in die Wissenschaft eingeführt. Nach den von ihm auf Grund der französischen Eisenbahnstatistik für das Jahr 1866 durchgeführten Erhebungen entfallen für das gesamte französische Eisenbahnnetz auf jeden Einwohner eines Stationsortes und des zugehörigen Hinterlandes oder seiner »Bannmeile« im Durchschnitte für das Jahr 6,5 Reisende und 2,1 Tonnen Güter zur Beförderung auf der Eisenbahn; in sehr betriebsamen Gegenden erhöht sich diese Verkehrsmenge auf das 1¹/₃-fache, während sie sich in lediglich Ackerbau treibenden Gegenden auf das 2²/₃-fache ermäßigt. Die Anzahl der ankommenden und abgehenden Tonnen Güter bzw. Personen wird im Durchschnitte gleich groß sein; es wird daher auf einer Zweigbahn von L Kilometer Länge, deren Endstation und zugleich einzige Station samt Bannmeile E Einwohner zählt, ein Jahresverkehr von $13 E \cdot L$ Personenkilometer und von $4,2 E \cdot L$ Tonnenkilometer stattfinden. Sind mehrere Stationen vorhanden, denen die Größen E_1, E_2, \dots und L_1, L_2, \dots bezüglich der Einwohnerzahl und der Entfernung vom Anschlußpunkte der Bahn entsprechen, so ergibt sich als Gesamtverkehr der Linie:

$$V = 17,2 \cdot \sum (E \cdot L).$$

Dieser Rechnungsvorgang ist allerdings nicht ganz richtig, da ja nicht jeder Reisende und nicht jede Tonne Gut bis in die Anschlußstation verkehrt; es wird dies nur bei kleineren Linien, namentlich bei den zu Hauptverkehrsadern gehörigen Zweigbahnen annähernd der Fall sein; es wird daher als durchschnittliche Reise- bzw. Transportlänge eine andere Größe, nicht selten bloß die halbe Länge der Bahnlinie gewählt. Bezeichnen wir diese Länge mit L_a , so geht obige Formel über in

$$V = 17,2 \cdot \sum (E) \cdot L_a.$$

1) Annales des ponts et chaussées 1868.

Nach dem Vorgange Michel's hat Campiglio für Italien in Ackerbau treibender Gegend 1,5 Reisende und 0,4 t Gut, in sehr gewerblicher Gegend 5,5 Reisende und 1,3 t Gut für jeden Einwohner des Stationsortes berechnet. Köpcke fand für das gewerblich und industriell sehr entwickelte Sachsen 5,0 bis 10,6 Reisende und 1,1 bis 5,8 t Gut. Pleßner rechnet für Lokalbahnen Deutschlands je nach dem Charakter der Gegend zwischen Ackerbau und Industrie 7 bis 12 Reisende und 1,5 bis 3,4 t Gut bei Grundlage einer Bevölkerungsdichte von 80 Personen für das Quadratkilometer. Launhardt¹⁾ weicht bei seiner Berechnung von dem Vorbilde, das Michel gegeben, insofern ab, als er den Einfluß des Hinterlandes in anderer Weise in Betracht zieht. Dieser Einfluß hängt von der Dichtigkeit der Bevölkerung in Stationsgebiete, von der Größe desselben, also von der Dichtigkeit des Eisenbahnnetzes und endlich von dem Zustande der Anschlußwege ab. Nach eingehenden Ermittlungen kann man annehmen, daß in Deutschland im Jahre 1880 der Einfluß der ohne Eisenbahnverbindung gebliebenen Bevölkerung auf den Eisenbahnverkehr durchschnittlich nur $\frac{1}{6}$ so groß war, als jener der in den Stationsorten angesiedelten Bewohner. Es darf also zu der im Stationsorte selbst angesiedelten Bevölkerung nur der sechste Teil der Einwohner des von Fall zu Fall zu bestimmenden Hinterlandes hinzu gerechnet werden, um die für den künftigen Verkehr maßgebende Größe E zu erhalten. Unter solchen Annahmen hat Launhardt ermittelt, daß für die deutschen Eisenbahnen bei Zugrundelegung der Verkehrsergebnisse des Jahres 1880 auf den Kopf der Eisenbahnbevölkerung im Durchschnitt jährlich $9\frac{1}{2}$ beförderte Personen und $7\frac{1}{4}$ t beförderte Güter oder als Summe des ankommenden und abgehenden Verkehrs 19 Personen und $14\frac{1}{2}$ t Güter entfallen.

Die Größe des zu erwartenden Personen- und Güterverkehrs steht natürlich im innigsten Zusammenhange mit den wirtschaftlichen Verhältnissen der in Betracht kommenden Gegenden. Es wird sich bei derartigen Schätzungen stets die größte Vorsicht empfehlen. Die Bahnen, die jetzt noch zum Baue gelangen werden, sind vorwiegend für Gegenden mit sehr geringer wirtschaftlicher Bedeutung bestimmt; der Güterverkehr wird sich in bescheidenen Grenzen halten und im Zusammenhange hiermit wird auch der Personenverkehr keine wesentliche Lebhaftigkeit zeigen, falls nicht ganz besondere Verhältnisse obwalten, also z. B. Wallfahrtsorte, Bäder usw. an der Bahnstrecke liegen. Es dürfte unter Umständen genügen, für jeden Einwohner der Stationsorte nur einen Reisenden in Rechnung zu bringen, und selbst diese Annahme hat sich bei Lokalbahnen mitunter schon als zu hoch erwiesen. Es wird immer vorteilhaft sein, die Verkehrsergebnisse benachbarter, in ähnlicher Lage befindlicher Bahnen als Grundlage der vorzunehmenden Schätzungen zu wählen. Die Größe des Güterverkehrs läßt sich mit zutreffender Genauigkeit aus der Größe des bestehenden Straßenverkehrs ermitteln; hierbei wäre aber nicht zu übersehen, daß letzterer nicht sofort in seinem ganzen Umfange an die Eisenbahnen übergeht, sondern sich zum Teil neben dem Bahnverkehre aufrecht erhält. Auch die Steigerung des Verkehrs darf nicht zu hoch in Anschlag gebracht werden; in dieser Beziehung sind empfindliche Täuschungen nur allzuleicht möglich. Man rechne stets nur mit dem Vorhandenen, mit dem bestimmt Gegebenen, und lasse die mehr oder minder berechtigten Hoffnungen auf eine Zunahme des Verkehrs nur insoweit von Einfluß werden, als es notwendig ist, bei der Anlage der Stationen auf eine künftige Erweiterung ihrer ein-

¹⁾ Zentralblatt d. Bauverw. 1883 und Theorie des Trassierens, Hannover 1887.

zelen Teile Bedacht zu nehmen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß in Gegenden, wo vorwiegend Ackerbau getrieben wird, die Steigerung des Verkehrs stets in bescheidenen Grenzen verbleiben wird, während in industriellen Gebieten oder in Tälern, wo Vorbedingungen für industrielle Tätigkeit (z. B. Wasserkräfte, Erze usw.) bestehen, ein Verkehrsaufschwung durch Schaffung einer Eisenbahnverbindung unter allen Umständen zu erwarten ist.

Ist die auf ihre Bauwürdigkeit zu prüfende Eisenbahn zugleich als ein neues Glied eines großen Bahnnetzes zu betrachten, und ist sonach auch der Verkehrszuwachs zu berücksichtigen, welchen sie dem bereits vorhandenen Bahnnetze zuführt, dann ist die Zahl der Personenkilometer und Tonnenkilometer zu ermitteln, um welche der Eisenbahnverkehr durch den Betrieb der neuen Bahn wächst. Launhardt hat hierauf bezugnehmende Berechnungen für das deutsche Eisenbahnnetz angestellt. Im Jahre 1880 wurden auf letzterem im ganzen 6479 Millionen Personenkilometer zurückgelegt und 13487 Millionen Tonnenkilometer geleistet; es entfallen sonach auf den Kopf der $22\frac{3}{4}$ Millionen betragenden Eisenbahnbevölkerung durchschnittlich 285 Personenkilometer und 593 Tonnenkilometer. Unter Annahme eines Betriebsüberschusses von 2 Pf. für das Personen-, wie das Tonnenkilometer ergibt sich sonach für jede neu in den Eisenbahnverkehr gezogene Person ein Betriebsüberschuß von durchschnittlich $0,02 (285 + 593) = 17,6$ M. In Berücksichtigung, daß verschiedene Umstände, wie geringere Fahrgeschwindigkeit auf den Anschlußbahnen, Umsteigen der Personen, Umladen der Güter in den Anschlußbahnhöfen usw. den Verkehr etwas beeinträchtigen, nimmt Launhardt den Betriebsüberschuß nur mit rund 15 M. an. Den Einfluß des Hinterlandes bringt er dadurch zur Anrechnung, daß er der im Stationsorte selbst ansässigen Bevölkerung einen Zuschlag von $\frac{2}{3} d \cdot e$ gibt, wenn d die halbe Breite des Stationsgebietes in Kilometern und e die auf das Quadratkilometer des Stationsgebietes mit Ausschluß des Stationsortes angesiedelte Bevölkerung bedeutet. Hiernach ist für eine geplante Bahn, in deren n Stationen zusammen B Einwohner leben, der für das gesamte Bahnnetz zu erwartende Betriebsüberschuß in einer Gegend von mittlerer wirtschaftlicher Bedeutung

$$\ddot{U} = (15 B + 10 n \cdot d \cdot e) \text{ Mark.}$$

Von diesem Mittelwerte ist in lediglich Ackerbau treibenden Gegenden $\frac{2}{3}$, bei wenig ergiebiger Wirtschaft nur $\frac{1}{2}$ zu nehmen, dagegen in betriebsamen Gegenden das $1\frac{1}{3}$ fache zu rechnen.

Der französische Ingenieur Considère hat die Betriebsergebnisse einer Reihe französischer Lokalbahnen untersucht¹⁾ und gefunden, daß die durchschnittliche Länge der Fahrt eines Reisenden auf der Zweig- und Hauptbahn zusammen 30 km beträgt und hiervon 11 km auf erstere entfallen; die durchschnittliche Länge der von einer Tonne durchlaufenen Strecke ermittelt er zu 127 km, wovon 20 km die Zweigbahn treffen; hiernach ergibt sich das Verhältnis der durchschnittlichen Länge einer Fahrt, bzw. einer Transportstrecke auf der Hauptbahn zu jener auf der Lokalbahn wie $\frac{30-11}{11} = \frac{19}{11}$, $\frac{127-20}{20} = \frac{107}{20}$. Wenn man diese Verhältniszahlen mit dem Verhältnisse der Tarife auf den Zweiglinien zu jenen der Hauptbahnen multipliziert, so gelangt man zu Zahlenwerten, welche die Verteilung der aus dem gemeinsamen Verkehre sich ergebenden Einnahmen auf die Zweiglinie und die Hauptbahn angeben.

1) Utilité de chemins de fer d'intérêt, Paris, V^{vo} Ch. Dunod.

Der Fahrpreis für ein Kilometer beträgt auf der Hauptbahn 4,63, auf der Zweigbahn 5,37 Cent., der Frachtsatz 5,95 bzw. 8,00 Cent.; wir erhalten sonach

$$\frac{19}{11} \cdot \frac{4,63}{5,37} = 1,49 \text{ und}$$

$$\frac{107}{20} \cdot \frac{5,95}{8,00} = 3,98.$$

Considère reduziert in Rücksicht darauf, daß ein Teil der Reisenden und Güter auch ohne Zweigbahn der Hauptbahn zukommen würde, obige Zahlen auf 1,00 bzw. 2,00 und gelangt, indem er das Verhältnis der Zahl der Reisenden zu der Größe des Güterverkehrs erhebt, zu dem Mittelwerte von 1,40, d. i. zu der Schlußfolgerung, daß die Mehreinnahmen der Hauptbahn, welche aus dem Betriebe der Zweiglinie sich ergeben, 1,4mal so groß sind, als die Einnahmen der letzteren selbst.

Alle diese Zahlenwerte, die übrigens, wie z. B. Considère's Ermittlungen nicht immer ohne Anfechtung von Seite anderer Fachleute geblieben sind, können selbstverständlich nur für das betreffende Eisenbahnggebiet, für das sie berechnet wurden, als einigermaßen richtig und im Durchschnitte geltend betrachtet werden. Ob den Hauptbahnen oder den Teilhabern der Zweigbahn oder beiden gemeinschaftlich aus dem Baue und Betriebe der letzteren ein derartiger mittelbarer Nutzen erwächst, daß der eine oder andere Teil oder selbst beide Teile von einer unmittelbaren Verzinsung des Anlagekapitales, soweit sie zu demselben beigetragen, durch die eigenen Einnahmen der Zweigbahn absehen können, das bleibt in jedem einzelnen Falle von den besonderen obwaltenden Verhältnissen abhängig. Vorsichtige Verkehrserhebungen werden immerhin manchmal über die zu erwartende Verkehrssteigerung der Hauptbahn durch eine geplante Zweigbahn insoweit Aufschlüsse geben können, als dies zu einer hinreichend zuverlässigen Beantwortung der einschlägigen Frage notwendig ist¹⁾.

Außer der Kenntnis der Größe des zu erwartenden Verkehrs erfordert die Beurteilung der Bauwürdigkeit einer Eisenbahn, wie schon erwähnt, auch die Kenntnis der Betriebskosten, d. h. jener Auslagen, welche nach Fertigstellung und betriebsfähiger Ausrüstung einer Bahn aus der Durchführung und Aufrechterhaltung des Verkehrs erwachsen. Dieselben lassen sich als unveränderliche und veränderliche unterscheiden. Zu den ersteren zählen alle jene Auslagen, welche innerhalb gewisser Grenzen ziemlich unverändert bleiben, gleichgültig ob der Verkehr schwächer oder stärker ist; die veränderlichen Betriebskosten aber werden von der Größe des Verkehrs wesentlich beeinflußt: sie steigen und fallen mit der Zu- und Abnahme des Verkehrs, wie z. B. die Transportkosten, die Auslagen für Erhaltung der Fahrbetriebsmittel, die Arbeitslöhne usw. Im engen Zusammenhange steht die Höhe der Betriebskosten mit den Steigungs- und Richtungsverhältnissen der Bahn; auf stärkeren Neigungen und in scharfen Krümmungen erfahren sie gegenüber jenen in wenig geneigten und schwach gekrümmten Strecken eine bedeutende Steigerung.

Launhardt²⁾ hat die Abhängigkeit der Betriebskosten von den Steigungs- und Richtungsverhältnissen streng wissenschaftlich untersucht und dieselbe in ebenso zutreffenden, wie zweckmäßigen Formeln zum Ausdruck gebracht. Weiter werden

¹⁾ Vgl. die bezüglichen Berichte für den Eisenbahnkongreß in Washington 1906 im »Bulletin de la commission internationale du Congrès des chemins de fer« 1905.

²⁾ Technische Trassierung der Eisenbahnen, Heft II, Hannover 1888.

die Betriebskosten aber auch durch folgende Umstände beeinflusst: Fahrgeschwindigkeit der Züge, Art des Verkehrs, Gattung der vorkommenden Frachten (in Rücksicht auf die Ausnützbarkeit der Wagen), Richtung der größeren Frachtbewegung, Tag- oder Nachtverkehr, klimatische Verhältnisse der Bahn, Lage der Bahnlinie zu anderen Bahnen usw.¹⁾.

Es ist von einigen Fachleuten versucht worden, für die Berechnung der Betriebskosten eigene Formeln aufzustellen; so hat Heyne in der Wochenschrift des österr. Ing.- u. Arch.-Vereines 1890 und 1891 zwei solche Formeln veröffentlicht, deren eine das Verhältnis zwischen den Betriebsauslagen und der Stärke des Personen- und Frachtenverkehrs der Eisenbahnen darstellt, während die andere auch den Einfluß der Bahnsteigungen berücksichtigt. In diesen Formeln finden sich mehrere Zahlenkoeffizienten, welche Heyne aus den Ergebnissen von zehn zusammen 1200 km langen Bahnen berechnete. Die Richtigkeit dieser Formel sucht Heyne durch deren Anwendung auf mehrere Bahnen und durch Vergleich der auf diesen tatsächlich aufgewendeten Auslagen mit den sich rechnerisch ergebenden Auslagen zu erproben und hat hierbei auch, bis auf einen einzigen Fall, in welchem sich eine Differenz von 20 v. H. ergab, nur geringfügige Unterschiede bis zu 10 v. H. gefunden. Pichler hat jedoch in der oben erwähnten Abhandlung auf die Unzuverlässigkeit aller solcher Formeln hingewiesen. In der Tat hängen, wie oben schon betont wurde, die Betriebsauslagen einer Bahn von einer Reihe von Einflüssen ab, die ihrer Natur und Mannigfaltigkeit wegen in Formeln nicht berücksichtigt werden können; auch läßt sich die Leistung der Bahn, nämlich die für das Jahr und Kilometer beförderte Anzahl von Personen und Tonnengüter, welche die Grundlage für diese Formeln bildet, bei den noch im Stande des Vorentwurfes befindlichen Bahnen nur sehr unsicher bestimmen. In der Praxis wird vielfach die Abschätzung der Ausgaben einer Bahn in Prozenten der mit tunlicher Genauigkeit ermittelten Einnahmen durchgeführt. Wenn man hierbei mit Vorsicht und Verständnis vorgeht, wenn man sich bei Bestimmung der Prozente an die Ergebnisse anderer, unter ähnlichen Verhältnissen stehender Bahnen hält, und wenn man namentlich bei der Auswahl dieser zum Vergleiche heranzuziehenden Bahnen eine entsprechende Sachkenntnis walten läßt und mit angemessener Sorgfalt vorgeht, so wird man auf diesem Wege, wobei also nicht die Leistungen, sondern die Einnahmen die Grundlage der Berechnung bilden, zu Ergebnissen gelangen, die in Rücksicht auf die ganze Unsicherheit solcher Ermittlungen überhaupt immerhin als zufriedenstellende und im allgemeinen zutreffende erscheinen werden.

Dieses Verfahren setzt nun allerdings voraus, daß es sich hierbei um eine Bahn handelt, deren Tarife, Anlage und Verkehrsverhältnisse mit jenen bestehender Bahnen ziemlich übereinstimmen, so daß der Betriebskoeffizient derselben, d. i. das Verhältnis der Ausgaben zu den Einnahmen in Prozenten der letzteren ausgedrückt, ohne weiteres oder doch mit geringen und leicht beurteilbaren, bzw. zu schätzenden Abänderungen auch auf die projektierte Bahn angewendet werden kann. Diese Voraussetzung wird nicht immer zutreffen; in solchen Fällen empfiehlt es sich, die Betriebsausgaben durch Aufstellung einer ins einzelne gehenden Ausgabenrechnung zu ermitteln. Auf Grund der gepflogenen Erhebungen über die Größe, Art und Richtung des Personen- und Güterverkehrs, sowie auf Grund des allgemeinen Entwurfes der Bahn ist ein voll-

¹⁾ M. R. v. Pichler, Über die Ermittlung der Betriebsauslagen bei Eisenbahnen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 88.

ständiger Plan über die Einrichtung des Betriebsdienstes zu entwerfen, die Anzahl der in Verkehr zu setzenden Züge zu bestimmen, die Zahl des erforderlichen Stations-, Strecken-, Zugpersonals usw. festzusetzen, und sind weiter die Kosten der Züge zu ermitteln, die Ausgaben für Bahnerhaltung abzuschätzen usw. Eine solche, der Wirklichkeit nahekommende Kostenermittlung erfordert selbstverständlich eine gründliche Kenntnis des gesamten Betriebsdienstes und sie wird sich daher auch nur durch das verständnisvolle Zusammenwirken von Fachleuten, die in den einzelnen Zweigen des Betriebsdienstes wohl bewandert sind und langjährige Erfahrungen besitzen, in einer ihrem Zwecke gerecht werdenden Weise bewirken lassen.

Sind nun einerseits die zu erhoffenden Einnahmen (deren Schätzung unter Zugrundelegen der Tarife erfolgen kann) ermittelt und andererseits die Anlage- und Betriebskosten erhoben, so erscheint eine geplante Eisenbahn bauwürdig, sobald die Gleichung erfüllt ist

$$E = Ai + K,$$

worin

E die ermittelten Einnahmen,
 A das Anlagekapital,
 i den Zins- und Tilgungsfuß,
 K die Betriebskosten bedeuten.

Aus dieser Gleichung kann andererseits auch der Zins- und Tilgungsfuß eines aufzuwendenden Anlagekapitals berechnet werden, wenn die Größen E , A und K gegeben sind; auch läßt sich, freilich in ganz allgemeinen Ergebnissen, die für einen besonderen Fall nicht anwendbar sind, die Frage beantworten, bei welcher Bevölkerungsdichte einer Gegend eine Bahnlinie durch dieselbe noch bauwürdig ist, sei dies nun vom gemein- oder privatwirtschaftlichen Standpunkte aus. So hat Launhardt im Zentralblatt der Bauverwaltung 1895, Nr. 25 diese Frage für Deutschland gelöst. Unter Annahme einer in Betracht kommenden Bevölkerung von rund 29 Millionen und eines gemeinwirtschaftlichen Rohgewinnes der Eisenbahnen von 2900 Millionen Mark ergibt sich die Gleichung $\frac{2900}{29} B = Ai + K$ und hieraus für $A = 2000000$ Mk., $K = 160000$ Mk. und $i = 0,05$, die Bewohnerzahl $B = 2600$, d. i. eine Bahn würde unter den gemachten Voraussetzungen gemeinwirtschaftlich bauwürdig sein, wenn sie eine Bevölkerung von rund 2600 Köpfen in den Eisenbahnverkehr einbezieht; in Ackerbau treibenden Gegenden wären 3900, in gewerbetreibenden Gegenden wären nur 1950 Einwohner erforderlich.

Nach den Betriebsergebnissen des Jahres 1891 entfallen auf jeden Kopf der Eisenbahnbevölkerung in Deutschland rund 400 Personen- und 800 Nutztonnenkilometer. Da bei jedem Personenkilometer ein Betriebsüberschuß von 0,65 Pf., bei jedem Tonnenkilometer von 2,5 Pf. gewonnen wird, so ist der auf den Kopf der Eisenbahnbevölkerung kommende Betriebsüberschuß $0,65 \cdot 400 + 2,5 \cdot 800 = 2260$ Pf. = 22 Mk. Eine neue Eisenbahn ist also privatwirtschaftlich erst dann gerechtfertigt, wenn

$$22B = Ai + K,$$

für das obige Beispiel $B = 11800$ ist. Die vorstehenden Erörterungen über die Bauwürdigkeit einer Eisenbahn haben nur den Zweck, im Rahmen dieses Kapitels den allgemeinen Vorgang für die Bestimmung der Bauwürdigkeit anzugeben. Über die für eine solche Bestimmung notwendigen Vorerhebungen, über die auf Grund von

Erfahrungen zu treffenden Annahmen und über die besondere Durchführung der Studien unter verschiedenen Verhältnissen finden sich die eingehenden Mitteilungen in den Abschnitten über die Linienführung und über die Vorarbeiten für Eisenbahnen.

§ 19. Erläuterung einiger Begriffe aus der Eisenbahntechnik. — Es erübrigt noch einige Begriffe zu erläutern, die beim Eisenbahnbau und -Betriebe zur Unterscheidung bestimmter Teile der gesamten Bahnanlage dienen; nämlich die Bezeichnungen Unterbau, Kunstbauten, Oberbau, Hochbau, Betriebseinrichtungen, Bahnhof, Betriebsstellen, freie Bahn.

Als Unterbau bezeichnet man das die Gleise tragende eigentliche Erdbauwerk, das sich aus künstlich hergestellten Erdschüttungen (Dämmen), oder aus natürlich gelagerten, durch Abtragung von Erdkörpern, blosgelagten Massen (Einschnitten) zusammensetzt¹⁾. Der Unterbau umfaßt nach der gewöhnlichen Auffassung auch alle in diese Erdbauwerke eingefügten Kunstbauten. Es sind dies Bauwerke aus höher stehenden Baustoffen (Holz, Stein, Eisen), welche entweder an Stelle des eigentlichen Erdbauwerkes treten, um ihrerseits die Schienengleise zu tragen, oder welche die durch die Bahnanlage unterbrochenen Wege oder Wasserläufe über den Bahnkörper hinweg oder unter demselben durchführen (Brücken, Durchlässe usw.); oder endlich solche, welche die künstlich aufgeschütteten Massen, bzw. die natürlich gelagerten, angeschnittenen Erdschichten vor Einsturz usw. bewahren (Stütz-, Futter-, Wandmauern).

Unter Oberbau versteht man das eigentliche Gleis: Bettung, Schwellen, Schienen und deren Befestigungs- und Verbindungsstücke. Auch die Gleisverbindungen, nämlich Weichen und Kreuzungen, Drehscheiben und Schiebebühnen können sinngemäß dem Oberbau zugezählt werden, da sie bestimmt sind, den Übergang der Fahrzeuge von einem Gleis auf das andere zu ermöglichen.

Unter dem Begriffe Hochbau werden alle Gebäude mit den hinzu gehörigen, für ihre Benützbarkeit erforderlichen Nebenanlagen verstanden; es gehören sonach hierzu: die Empfangsgebäude der Bahnhöfe, die Bahnhofshallen, die Betriebs- und Wohngebäude, die Wächterhäuser, Schuppen aller Art, Werkstätten, Wasserhäuser und alle Nebengebäude und Nebenanlagen, wie Ställe, Aborte, Brunnen usw.

Die Betriebseinrichtungen umfassen, wie schon der Name besagt, alle Vorkehrungen, welche dazu dienen, den Betrieb der Eisenbahn überhaupt zu ermöglichen, ihn tunlich zu vereinfachen und zu erleichtern, sowie demselben einen möglichst hohen Grad der Sicherheit zu verleihen. Es sind ihnen demnach beizuzählen alle Vorrichtungen zur Versorgung der Lokomotiven mit Wasser und Brennstoff, alle Einrichtungen, welche die Abwicklung des Personenverkehrs (Bahnsteige, Bahnsteigtunnels) und des Gütertransportes (Laderampen, Lademaße, Brückenwagen, Hebevorrichtungen usw.) erfordert, die Abteilungs- und Neigungszeiger, Kurvensteine usw., ferner die Einfriedigungen und Schranken, Telegraphen und Signale, schließlich Weichen- und Signalstellwerke und sonstige Sicherungsmittel.

Jene Stellen der Bahn, an welchen der öffentliche Verkehr zwischen Bahn und Publikum stattfindet und welche für die Erledigung innerer Betriebszwecke dienen, werden allgemein als Bahnhöfe oder auch als Betriebsstellen bezeichnet; man kann sonach unterscheiden: Personen- und Güterbahnhöfe, Vieh- und Hafenbahnhöfe, Rangier- und Werkstättenbahnhöfe. Nach der Eisenbahnbau- und Betriebsordnung für die

¹⁾ Loewe, Der Schienenweg der Eisenbahnen, S. 31.

Eisenbahnen Deutschlands werden die Betriebsstellen, auf denen Züge des öffentlichen Verkehrs regelmäßig anhalten, als Stationen bezeichnet, und diese werden, wenn sie mit mindestens einer Weiche für den öffentlichen Verkehr ausgerüstet sind, Bahnhöfe, sonst Haltepunkte genannt.

Die Bahnanlage zwischen zwei aufeinander folgenden Bahnhöfen bezeichnet man als freie Bahn, in Österreich auch als »Strecke«.

Literatur.

(Es sind hier nur selbständige Abhandlungen angegeben, soweit sie nicht schon im Texte angeführt worden sind.)

- Curr, The coal viewer and engine builder. London 1790.
 Oeynhausens und Dechen, Über die Schienenwege in England. Berlin 1829.
 Weidmann, F. E., Die Budweis-Linz-Gmundener Eisenbahn. Wien 1842.
 Francis, History of the English Railway. London 1851.
 Heusinger v. Waldegg, E., Abbildung und Beschreibung der Lokomotivmaschine nach den besten und neuesten Konstruktionen. Wiesbaden 1851.
 Ghega, C. v., Übersicht der Fortschritte des Eisenbahnwesens in dem Jahrzehnt von 1840 bis 1850 und die Ergebnisse der Probefahrt auf einer Strecke über den Semmering. Wien 1852.
 Engerth, W. v., Die Lokomotive der Staatseisenbahn über den Semmering. Wien 1854.
 Aichinger und Birk, Beschreibung der Anlage und des Betriebes der Semmeringbahn. Wien 1861.
 Pleßner, F., Die Herstellung billiger Lokal- und Nebenbahnen in Deutschland. 1870.
 Harlacher, A. R., Wetli's Eisenbahnsystem. Zürich 1871.
 Weber, M. M. v., Praxis des Baues und Betriebes der Sekundärbahnen. Wien 1873.
 Tobler, J., Die Ütlibergbahn. Zürich 1876.
 Weber, M. M. v., Normal- und Schmalspur. Wien 1876.
 Rziha, F. Ritter v., Eisenbahnunter- und Oberbau. Wien 1877.
 Abt, R., Die drei Rigibahnen und das Zahnradsystem. Zürich 1877.
 Sax, Dr. E., Die Verkehrsmittel in Volks- und Staatswirtschaft. Wien 1878.
 Birk, A., Die Semmeringeisenbahn. Wien 1879.
 Steiner, Fr., Bilder aus der Geschichte des Verkehrs. Prag 1880.
 Lavoinne, E. und E. Pontzen, Les chemins de fer en Amérique. Paris 1880.
 Hostmann, W., Bau und Betrieb der Schmalspurbahnen. Wiesbaden 1881.
 Birk, Alfred, Über Dampftramways in Elsaß-Lothringen, Frankreich und Oberitalien. Wien 1882.
 Nördling, W. v., Die Selbstkosten des Eisenbahntransportes usw. Wien 1885.
 Zels, L., Die Selbstkosten des Eisenbahntransportes und die Wasserstraßenfrage. 1886.
 Birk, Alfred, Über Schmalspurbahnen. Wien 1886.
 Schima, F., Über die Betriebsausgaben der Eisenbahnen. Prag 1887.
 Schneider, A., Über Gebirgsbahnen. Quedlinburg 1891.
 Haarmann, Das Eisenbahngleis. I. Geschichtlicher Teil. Leipzig 1891.
 Miles ferrarius, Studien über die heutigen Eisenbahnen im Kriegsfall. Leipzig 1892.
 Ledig und Ulbricht, Die schmalspurigen Staatseisenbahnen im Königreiche Sachsen. Leipzig 1895.
 Haarmann, Die Kleinbahnen. 1896.
 Roell, Dr. V., Enzyklopädie des Eisenbahnwesens.
 Berlin und seine Eisenbahnen 1846—1896. Berlin 1896.
 Köstler, Hugo, Über nordamerikanische Straßenbahnen. Wien 1896.
 Rhotert, Ludwig, Schienenloser Betrieb statt Kleinbahnen. Leipzig 1900.
 Dr. Wächtler, Max, Die Kleinbahnen in Preußen. Berlin 1902.
 Herzog, Siegfried, Die Jungfraubahn. Zürich 1904.
 Zanantoni, Eduard, Die Eisenbahnen im Dienste des Krieges. Wien 1904.

II. Kapitel.

Bahn und Fahrzeug im allgemeinen.

Bearbeitet in erster Auflage von

Franz Kreuter,

ord. Professor an der k. Technischen Hochschule zu München,

in zweiter Auflage von

Dipl. Ing. Alfred Birk,

ord. Professor an der k. k. Deutschen Technischen Hochschule zu Prag.

(Mit 103 Textabbildungen.)

Erster Abschnitt.

Die Fahrbetriebsmittel der Gegenwart.

§ 1. Allgemeine Grundsätze für den Bau der Fahrzeuge. — Schon im ersten Kapitel ist anlässlich der Besprechung der geschichtlichen Entwicklung des Eisenbahnwesens wiederholt auf die Wechselbeziehungen zwischen Bahn und Fahrzeuge hingewiesen und deren Einfluß auf die Gestaltung beider betont worden; diese Wechselbeziehungen sollen im weiteren noch näher erörtert werden, namentlich im Hinblick auf die Bewegung der Fahrzeuge in Krümmungen, wobei besondere Schwierigkeiten für die Klarstellung obwalten. Die Erforschung der Wechselbeziehungen zwischen Bahn und Fahrzeug sind für eine zweckentsprechende Anlage der Bahn und für deren zweckentsprechenden Betrieb von großer Wichtigkeit, denn nur dann, wenn uns diese Beziehungen wenigstens in ihren Hauptzügen bekannt sind, werden wir in die Lage versetzt sein, beide miteinander in Einklang zu bringen und einen Verkehrsweg von größtmöglicher Leistungsfähigkeit unter Wahrung strengster Wirtschaftlichkeit in Bau und Betrieb zu schaffen.

Soll die bantechische Anlage einer Bahn, namentlich das Gleis und der dieses tragende Unterbau der Beanspruchung durch den Verkehr der Züge vollkommen entsprechen, das heißt also betriebssicher und wirtschaftlich sein, dann muß sie in ihren Teilen, wie in ihrer Gesamtanordnung dieser Beanspruchung gewachsen sein. Der Konstrukteur muß sich also über die Art und Größe dieser Beanspruchungen klar sein, zum mindesten muß er dort, wo weder Praxis noch Wissenschaft zu zweifellos richtigen, zahlenmäßigen Ergebnissen gelangen können, einen schätzungsfähigen Einblick in die auftretenden Erscheinungen zu gewinnen trachten.

Alle die Erscheinungen aber, die bei der Fahrt der Züge im Gleise als Wechselwirkungen zwischen Bahn und Fahrzeug sich offenbaren, entspringen der Unvoll-

kommenheit der Konstruktion beider, denn es ist bei allem Fortschritt und allen Bemühungen unmöglich, Bahn oder Fahrzeug theoretisch richtig in bezug auf ihr Zusammenwirken herzustellen. Diese theoretische Völlkommenheit ist das Ideal, dem wir zustreben müssen, das wir aber nicht erreichen können.

Es ist also klar, daß der Bau eines tunlich vollkommenen Verkehrsweges nur dann dem Ingenieur überhaupt möglich ist, wenn er die Grundsätze kennt, welche jeweilig für den Bau der Fahrzeuge Geltung haben. Diese Grundsätze sind von zweierlei Art; entweder hängen sie mit dem Begriffe des Eisenbahnfahrzeugs so innig zusammen, daß sie aus dem Wesen des letzteren heraus sich entwickelt haben und unabänderlich gegeben sind, z. B. der Spurkranz der Räder, die feste Verbindung von Rad und Achse, in gewissem Sinne auch die Kegelform des Radreifens — oder sie stehen in enger Beziehung und Abhängigkeit zu den verschiedenen und wechselnden Aufgaben, welche die fortschreitende äußere und innere Entwicklung des Eisenbahnwesens hauptsächlich in bezug auf Überschreitung der Gebirge, auf Fahrgeschwindigkeit und Massenförderung an Bau und Betrieb stellt, wie z. B. der Achsenstand, die Radbelastung und überhaupt das Laufwerk und seine Anordnung im Aufbau des Fahrzeugs.

Die Anwendung des Spurkranzes ist eine notwendige Folge der Einführung der hochkantigen Schiene gewesen, deren Benutzung aus der Erhöhung der Radbelastungen sich ergab. Der Spurkranz wurde von Anfang an der Innenseite der Räder angebracht und ist auch dort verblieben; nur bei Pferde- und Rollbahnwagen in Amerika findet sich bisweilen der Spurkranz an der Außenseite; die Räder laufen dann im Bogen mit den Spurkranzen auf einer neben der äußeren Schiene angebrachten Platte, wodurch eine Kegelwirkung erzielt wird. Für Feldbahnwagen empfehlen sich mit Rücksicht auf die meist unebene Lage des Gleises Räder mit zwei Spurkranzen, weil sich hierdurch Entgleisungen verhüten lassen; es ist dies namentlich bei steifen Rahmen und bei Mangel von Federn für die Achsenlagerung von besonderer Wichtigkeit. Andererseits hat man in neuerer Zeit unter gewissen Umständen und für gewisse Verhältnisse den Spurkranz auch ganz beseitigt, z. B. bei den Mittelachsenrädern dreiachsiger Fahrzeuge behufs Verminderung des Widerstandes in den Bögen und bei den Wagen der Drahtseilbahnen zum Zwecke der Befahrung selbsttätiger Weichen. Das sind aber — wie betont — Ausnahmefälle; es muß als feststehender Baugrundsatz für die Eisenbahnfahrzeuge die Anordnung von Spurkranzen an der Innenseite der Räder angesehen werden.

Die Räder sind mit den Achsen fest verbunden. Darin liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen den Eisenbahn- und den Straßenfuhrwerken, bei welchen letzteren die Räder lose auf den Achsen sitzen und daher die beiden Räder eines Laufwerkes, d. i. einer Achse mit den zugehörigen Rädern, voneinander unabhängig drehbar sind. Diese Bauweise hat man auch bei den ersten Eisenbahnfahrzeugen angewandt, aber bald wieder verlassen, als mit der wachsenden Fahrgeschwindigkeit das Bedürfnis zunahm, die Verbindung zwischen Rad und Achse einfach, widerstandsfähig und unveränderlich zu gestalten; dieser Forderung konnte bei Erhaltung einer unabhängigen Drehbarkeit der Räder eines Laufwerkes nicht so leicht entsprochen werden; auch bestand in diesem Falle die Befürchtung, daß bei Hemmung eines Rades Entgleisungen herbeigeführt werden können, wenn gleichzeitig das andere, auf derselben Achse sitzende Rad in Bewegung verbleibt, Entgleisungen, deren Folgen um so verhängnisvoller sein mußten, je größer die Fahrgeschwindigkeit war.

Die Achsenlager befinden sich bei den Eisenbahnwagen außerhalb der Räder; durch diese Anordnung wird das Schmieren der Achsen erleichtert und die Standfestigkeit der Wagenkasten gegen Seitenschwankungen erhöht; diese Gründe haben das Bestreben hervorgerufen, auch bei Lokomotiven äußere Achsenlager anzuwenden, namentlich dann, wenn sie für große Fahrgeschwindigkeiten bestimmt sind.

Die starre Verbindung der Räder mit der Achse führte zur kegelförmigen Gestaltung des Radreifens, um das Durchfahren von Bögen zu erleichtern. In der Krümmung muß nämlich das äußere Rad einer Achse für denselben Mittelpunktswinkel einen größeren Weg zurücklegen, als das innere Rad derselben Achse; es muß also bei gleichem Durchmesser des Laufkreises das äußere Rad einen Teil des Weges schleifend durchlaufen. Erhalten aber die Räder eine kegelförmige Lauffläche, so tritt, wie später noch näher untersucht werden soll — wenigstens theoretisch — in jedem Bogen eine derartige Verschiebung der Achse ein, daß die Durchmesser der Laufkreise der beiden Räder einer Achse sich verhalten, wie die Halbmesser der entsprechenden Bahnkreise (Abb. 1). Wir werden hören, daß diese theoretischen Voraussetzungen in der Praxis nicht eintreffen und daß die kegelförmigen Räder den Zweck, um dessentwillen sie ursprünglich hergestellt wurden, nicht erfüllen; immerhin aber bestehen doch gewisse Erscheinungen, welche dazu führten, auf den europäischen Bahnen eine mäßige Kegelform beizubehalten.

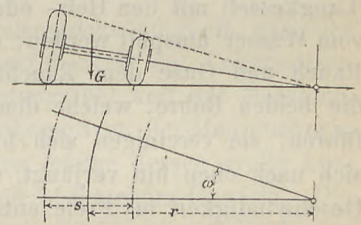


Abb. 1.

Bestimmend für die Form der Lauffläche und des Spurkranzes ist im Hinblick auf tunlich geringe Abnutzung der Räder und Schienen namentlich das Verhältnis zwischen den Abrundungen des Schienenkopfes und der Spurkranzhohlkehle. Wahrscheinlich gibt es für jede Form des Schienenkopfes eine Form des Flansches, die den wirtschaftlichen Anforderungen am besten entspricht. Schließt sich die Flanschenkurve nahe der Abrundung des Schienenkopfes an, so passen beide bald ineinander und schaben sich gegenseitig ab. Wöhler wies im Zentralblatt der Bauverwaltung 1881 (S. 182) nach, daß es zweckmäßig sei, der Spurkranzhohlkehle eine möglichst flache Abrundung zu geben, wie sich das heute auch überall findet. Die »Technischen Vereinbarungen« vom Jahre 1897 schreiben § 70⁶ vor: »Die Laufflächen der Räder müssen sich in neu gedrehtem Zustande von der Spurkranzhohlkehle nach außen hin kegelförmig verjüngen. Es ist zulässig, bei den in einem gemeinschaftlichen Rahmen gelagerten Achsen die Laufflächen der Mittelräder zylindrisch zu gestalten.« Empfohlen wird für die Neigung des Kegels das Verhältnis 1:20 und für die Gestaltung der Lauffläche und des Spurkranzes der in Abb. 2 dargestellte Umriß. Hierzu muß bemerkt werden, daß nach den »T. V.« § 5² »bei Neubeschaffungen die innere seitliche Abrundung des Schienenkopfes mit einem Halbmesser von 14 mm erfolgen muß. Die Ausrundung der Hohlkehle zwischen Radlauffläche und Radflansch mit 15 mm Halbmesser ist zwischen Preußen und Österreich-Ungarn vereinbart worden; zwischen den übrigen europäischen Staaten sind über dieses Maß

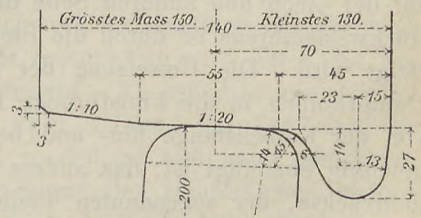


Abb. 2. Form des Radreifens.

noch keine Vereinbarungen vorhanden, sie werden aber von vielen Eisenbahnverwaltungen angestrebt.

§ 2. Die Lokomotiven¹⁾. — Zur Erkenntnis jener Konstruktionsgrundsätze, welche von der baulichen Anlage der Bahn, namentlich ihren Neigungen und Krümmungen, und von der Betriebsart und Betriebsgröße abhängig erscheinen, gelangt man am besten durch die Betrachtung moderner Lokomotiven, die als typisch für Lokomotiven gleicher Zwecke angesehen werden können. Ich halte es aber für angezeigt, der Vorführung solcher Lokomotiven eine kurze Beschreibung des Aufbaues und der Wirkungsweise der Lokomotive im allgemeinen vorauszuschicken, weil die Kenntnis der allgemeinen Anordnung der Lokomotive und des Zusammenwirkens ihrer Einzelteile für das Verständnis des Weiteren unerläßliche Vorbedingung ist.

Die Lokomotive besteht aus drei Hauptteilen: aus dem Dampferzeuger, der Dampfmaschine und dem Wagen.

Den Dampferzeuger bilden die Feuerungsanlage oder Feuerbüchse, ein viereckiger Kasten mit dem Rost und dem Aschenkasten, und der Dampfkessel (Langkessel) mit den Heiz- oder Siederohren, die von den Heizgasen durchzogen und vom Wasser umspült werden; diese Rohre münden in die Rauchkammer, durch welche Rauch und Gase dem Rauchfange zuströmen. In die Rauchkammer endigen auch die beiden Rohre, welche den Dampf nach geleisteter Arbeit aus den Zylindern abführen; sie vereinigen sich hier zu einem Rohre, dem Blasrohre (Exhaustor), das sich nach oben hin verjüngt, so daß der Dampf durch eine enge Öffnung mit großer Geschwindigkeit ins Freie entströmt und in der Rauchkammer einen luftleeren Raum erzeugt, in den durch die Siederohre beziehungsweise durch den Rost und den Aschenkasten Luft eingesaugt wird. Das Blasrohr ersetzt den hohen Rauchfang fester Feuerungsanlagen.

Der Kessel trägt den Dampfdom, in dem sich trockener Dampf sammelt, der von hier der Maschine zugeführt wird; eine besondere Vorrichtung, der Regler (Regulator) erlaubt die Regelung der Dampfzuführung. Die sichere Bedienung des Kessels erfordert verschiedene Vorrichtungen: selbsttätig arbeitende Sicherheitsventile, Manometer zur Anzeige des Dampfdruckes im Kessel, Wasserstandszeiger, Dampfstrahlpumpen (Injektoren) zur Ergänzung der Wassermenge im Kessel aus dem im Tender mitgeführten Vorrate und eine Dampfpeife zur Signalgebung.

In der Dampfmaschine wirkt der Dampf durch seine Spannkraft (Expansionskraft). Er wirkt auf die Kolben der Dampfzylinder; die abwechselnde Zuleitung auf der einen und anderen Seite der Kolben, wie auch die Regelung des Vor- und Rückwärtsfahrens ist durch die Steuerung ermöglicht, welche vom Triebrad aus betätigt wird. Die Umsetzung der geradlinig hin- und hergehenden Bewegung der Dampfkolben in die kreisförmige Bewegung der Räder erfolgt am Kreuzkopfe, der von der Kolbenstange hin- und herbewegt wird und an welchem die Pleuelstange gelenkig eingefügt ist; das andere Ende der Stange greift an die Kurbel einer Lokomotivachse, der sogenannten Treibachse. Die mit ihr durch Stangen verbundenen Achsen heißen Kuppelachsen; sie wirken bezüglich der Arbeitsleistung der Lokomotive gleich der Treibachse.

¹⁾ Für eingehendere Studien sei auf »Das Eisenbahn-Maschinenwesen der Gegenwart«, erster Abschnitt, erster Teil; Wiesbaden, C. W. Kreidel's Verlag verwiesen. Das vortreffliche Werk hat dem Verfasser wiederholt als Quelle gedient, was hier einmal für alle Male bemerkt sei.

Der Wagen hat den Zweck, Feuerbüchse und Langkessel auf das Räderwerk zu lagern; beide liegen mittels eigens geformter Träger auf zwei Längsbalken (Rahmen), die vorne durch die Bufferbohle, rückwärts durch den Zugkasten verbunden sind, in dem sich die Kuppelungsvorrichtung für Lokomotive und Tender befindet. Die Rahmen tragen auch die beiden Maschinen der Lokomotive. An den Rahmen sind auch die Tragfedern befestigt, die mittels der Stützen auf die Lagerkasten drücken, die in entsprechende Einschnitte der Rahmenbleche von unten her eingeschoben sind und sich auf die Radachsen stützen; so erfolgt die Übertragung der Lokomotivlast auf die Schienen.

Die Räder der Lokomotiven sind Speichenräder; auf dem Radkranz, der durch die Speichen mit der Nabe verbunden ist, sitzt der Radreifen mit dem Spurkranz. Zwischen den Speichen der Treibräder sind Eisenmassen, die sogenannten Gegengewichte, angebracht; ein Teil dieser Gewichte dient zum Ausgleich der mit den Rädern sich drehenden Triebwerksteile, der andere Teil zum teilweisen Ausgleich der geradlinig hin- und hergehenden Triebwerksteile; sie sind, den Kurbeln gerade entgegengesetzt, in den Radkörper eingefügt.

Die fortwährende Steigerung der Fahr- und Reisegeschwindigkeit und des Gewichtes der Züge drängt zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Lokomotiven durch Vergrößerung des Reibungsgewichtes und der Leistungsfähigkeit der Maschine, wie auch des Kessels und der Feuerungsanlage. Die Lokomotiven der Hauptbahnen, wo dieses Bestreben besonders scharf hervortritt, erhalten infolge dessen große Ausmaße der Einzelteile und der Gesamtanordnung, wie auch bedeutendes Gewicht. Die Belastung der Achsen darf aber eine bestimmte Größe mit Rücksicht auf die Eisenbrücken und den Oberbau nicht überschreiten; der »Verein Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen« bestimmt diese Grenze mit 14 t, doch drängen die Betriebsverhältnisse der Hauptbahnen nachdrücklich zu einer Erhöhung dieser Grenzen bis auf 16 t und darüber. Große und schwere Lokomotiven verlangen im Hinblick auf diese Umstände eine größere Anzahl gekuppelter Achsen und auch eine oder mehrere Laufachsen. Man bezeichnet bei uns das Verhältnis der Anzahl der Kuppelachsen einer Lokomotive zur Anzahl aller Achsen durch einen Bruch, dessen Nenner die gesamte Achsenzahl, dessen Zähler die Zahl der Kuppelachsen angibt, z. B. bedeutet der Bruch $\frac{2}{3}$, daß 3 Achsen vorhanden sind, 2 gekuppelte und eine Laufachse.

Je größer die Zahl der Achsen einer Lokomotive, um so größer ist der Achsenstand, um so schwieriger ist der Lauf derselben durch Bögen mit kleineren Halbmessern, wie sie bei Hügellandbahnen und bei Gebirgsbahnen vorkommen, wo aber gerade sehr leistungsfähige und daher sehr schwere Lokomotiven unentbehrlich sind. Diese notwendige »Kurvenbeweglichkeit« der Lokomotive wird durch die Anordnung eines Drehgestelles (Truckgestelles) erreicht. Es ist dies ein kleiner Plattformwagen mit einer Achse oder auch mit zwei Achsen, auf den sich der Vorderteil der Lokomotive mit Kugelzapfen stützt, so daß er sich unter der Lokomotive nach jeder Richtung hin drehen und auch gegen den Hauptrahmen seitlich verschieben kann, sobald er in das gekrümmte Gleis einläuft; beim Auslauf aus diesem führen Schneckenfedern, welche zwischen Hauptrahmen und Drehgestell angebracht sind, letzteres wieder in seine Mittelstellung zurück. In der Regel sind im Drehgestelle nur Laufachsen angeordnet; bei dem Kraußschen Drehgestelle ist die vordere Laufachse mit der seitlich verschiebbaren ersten Kuppelachse zu einem Drehgestelle mit mittlerem festen Zapfen verbunden; Lokomotiven mit solchem Dreh-

gestelle besitzen einen zwanglosen Gang in Krümmungen. Bei geringerer Anzahl der Achsen tritt an Stelle des zweiachsigen Drehgestelles die seitlich verschiebbare und zwangläufig nach dem Mittelpunkte des Bogens einstellbare Laufachse.

Bei Lokomotiven mit einer größeren Anzahl von Kuppelachsen, z. B. bei Gebirgszügezuglokomotiven, gewähren bewegliche Laufachsen und Drehgestelle nicht mehr ausreichende Einstellbarkeit in Krümmungen; man sucht dann eine tunlich vollständige Einstellung der gekuppelten Achsen nach dem Krümmungsmittelpunkte durch die Anordnung zweier getrennter, gegeneinander beweglicher Rahmengestelle mit je zwei bis drei gekuppelten Achsen und mit gesonderter Triebkraft oder auch durch entsprechende Verstellbarkeit der einzelnen Kuppelachsen zu erreichen. Zu ersteren Bauwerken neuerer Zeit gehören jene von Meyer, Fairlie, Mallet-Rimrott, Hagans und Johnstone, zu letzteren die Anordnungen von Klose, Klien-Lindner, Hagans und Helmholtz.

Mit der Notwendigkeit des Baues sehr leistungsfähiger Lokomotiven ging das Bestreben nach möglichst voller Ausnutzung der Expansion des Dampfes, also nach Konstruktion tunlich wirtschaftlich arbeitender Lokomotivmaschinen Hand in Hand. So gelangte man vor etwa drei Jahrzehnten zum Baue der Verbund- (Compound-) Lokomotiven, die heute in vielen Eisenbahnländern, wie in Deutschland, Österreich-Ungarn, Frankreich, in der Schweiz, in Norwegen die ständige Bauart bilden und sich in Amerika, in Italien und Spanien stetig mehr und mehr einbürgern; nur in England haben sie bisher nicht festen Fuß gefaßt. Bei den einfachen Lokomotivmaschinen strömt der Dampf aus den Zylindern mit verhältnismäßig hoher Temperatur und Spannung, weil eine zu weit gehende Expansion die Zylinderwände zu sehr abkühlen und mithin eine teilweise Verdichtung des eintretenden frischen Dampfes bewirken würde. Die Spannkraft des Dampfes wird also nicht weit genug ausgenützt. Bei den Verbundlokomotiven wird der im ersten Zylinder (Hochdruckzylinder) bis auf mehrere Atmosphären expandierte Dampf in einen größeren Zylinder (Niederdruckzylinder) übergeleitet, wo er sich noch weiter ausdehnt. Von Wichtigkeit ist dabei die gleiche Arbeitsverteilung auf beide Maschinenseiten, die allerdings noch nicht im vollen Maße erreicht worden ist. Die Verbundlokomotiven erhalten entweder zwei Zylinder: einen Hochdruck- und einen Niederdruckzylinder, oder drei Zylinder: einen Hochdruck- und zwei Niederdruckzylinder, oder auch vier Zylinder: zwei Hochdruck- und zwei Niederdruckzylinder, wobei je ein Hochdruck- und ein Niederdruckzylinder hintereinander angeordnet sind (Tandembauart), oder Hochdruck- und Niederdruckzylinder übereinander liegen (Woolf-Vauclain), oder die Hochdruckzylinder außerhalb bzw. innerhalb und die Niederdruckzylinder sinngemäß innerhalb oder außerhalb der Rahmen liegen und die Dampfzuleitung durch Verbinder bewirkt wird; bei Lokomotiven mit zwei Triebgestellen und vier Zylindern ist die Verbundwirkung besonders gut anwendbar; das eine Triebgestell trägt die Hochdruck-, das andere die Niederdruckzylinder. Beim Anfahren reicht der Dampfdruck im Hochdruckzylinder für die erhöhte Leistung (Übergang vom Ruhezustande in den bewegten Zustand) nicht aus, und es muß daher gleichzeitig auch dem Niederdruckzylinder frischer Dampf aus dem Kessel zugeführt werden, d. h. die beiden Lokomotivmaschinen arbeiten ohne Verbundwirkung, die erst nach einer gewissen Zeit in Tätigkeit treten kann, es ist daher auch während dieser Zeit die Verbindung zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylindern abzusperren. Die Verbundlokomotiven erhalten zu diesem Zwecke besondere Anfahrvorrichtungen, welche die Lokomotive nach Belieben mit

Zwillings- oder Verbundwirkung fahren lassen oder dem Niederdruckzylinder bei voll ausgelegter Steuerung Frischdampf von verminderter Spannung zuführen; zu den ersteren gehören die Wechselventile von Dultz und v. Borries, zu den letzteren die Einrichtungen von Lindner und Gölsdorf. Bei zweckmäßiger baulicher Anordnung der Verbundlokomotive können im regelmäßigen Betriebe gegenüber der Zweizylinderlokomotive Heizstoff- und Wasserersparnisse bis zu 20% bei zwei Zylindern und bis zu 30% bei vier Zylindern erzielt werden.

§ 3. Die Lokomotiven, Fortsetzung: Ihre Zugkraft und Leistung; Brennstoff- und Wasserverbrauch. Vier Vorgänge, nämlich Verbrennung, Verdampfung, Dampfwirkung und Reibung zwischen Treibrädern und Schienen bestimmen einzeln und in ihrem Zusammenwirken die Leistung einer Lokomotive. Maßgebend wird natürlich der jeweilig schwächste der vier Vorgänge. Eine Lokomotive ist um so zweckmäßiger gebaut, je mehr die Grenzen für jeden der einzelnen Vorgänge zusammenfallen, je weniger der eine oder andere durch ein Übermaß hervortritt. Verbrennung und Verdampfung werden in hohem Grade durch die Fahrgeschwindigkeit beeinflusst, so daß die daraus sich ergebende Leistungsfähigkeit mit steigender Geschwindigkeit bis zur erreichbaren, durch die Bauart des Kessels bestimmten Grenze wächst. Die Dampfwirkung wird von der Geschwindigkeit weniger beeinflusst; sie ist von der Füllung der Dampfzylinder, die bei gewöhnlicher Lokomotive am vorteilhaftesten 15 bis 20% beträgt, abhängig. Die Reibung der Treibräder auf den Schienen begrenzt die Größe der Zugkraft der Lokomotive.

Wir verstehen unter Zugkraft jene Kraft, welche durch die Wirkung des Dampfdruckes am Umfange der Treib- und Kuppelräder hervorgerufen wird. Liegt auf den gekuppelten Rädern das Gewicht L^t und beträgt die Reibung zwischen Rad und Schiene $f^{kg/t}$, so besteht für die Grenze der Zugkraft die Gleichung:

$$Z^{kg} = f^{kg/t} \cdot L^t. \quad (1)$$

Die Reibung zwischen Rad und Schiene erreicht bei trockenen Schienen 200 bis 250 kg/t, sinkt bei ungünstigen Verhältnissen, z. B. bei feuchten Schienen, Nebel usw. auf 140 kg/t, im Hochgebirge selbst bis auf 70 kg/t herab. Durch die Bestreuung der Schienen vor den Kuppelrädern mit Sand, zu welchem Behufe die modernen Lokomotiven mit Sandstreuvorrichtungen ausgerüstet sind, kann die Reibung im allgemeinen 150 kg/t bis 165 kg/t erreichen und kann auch für Berechnungen dieser Wert als Durchschnitt angenommen werden.

Die Größe der Zugkraft, welche die Lokomotive infolge der Wirkung des Dampfes entwickeln kann, berechnet sich in folgender Weise:

Bezeichnet D^{cm} den Durchmesser der gekuppelten Räder, so ist die Widerstandsarbeit während einer Radumdrehung

$$A_w = Z \cdot D \pi,$$

die gleichzeitige Arbeitsleistung beider Dampfzylinder ist

$$A_D = 2 \cdot \frac{d^{2cm}}{4} \cdot p_1^{atm} \cdot 2h,$$

wenn d^{cm} den Kolbendurchmesser, p_1^{atm} den mittleren wirksamen Dampfdruck auf die Kolbenfläche, h^{cm} den Kolbenhub darstellen; da $A_w = A_D$ sein muß, so ergibt sich die Gleichung

$$Z \cdot D \pi = 2 \cdot \frac{d^{2cm}}{4} \cdot p_1 \cdot 2h,$$

woraus folgt:

$$Z = \frac{d^2}{D} \cdot p_1 \cdot h. \quad (2)$$

Der mittlere wirksame Dampfdruck p_1 (»Nutzdruck«) ist abhängig von dem Kesseldrucke p und von der Füllung der Dampfzylinder mit frischem Kesseldampfe (»Füllungsgrad«). Der Füllungsgrad liegt bei Zwillingslokomotiven zwischen 30 und 40%, bei Verbundlokomotiven zwischen 50 und 60%; ihnen entspricht bei Zwillingswirkung ein Verhältnis $p_1 : p = 0,50$ für Personen- und Schnellzuglokomotiven, und $p_1 : p = 0,60$ für Güterzug- und sonstige Lokomotiven. Bei Verbundwirkung ist das Querschnittsverhältnis der Dampfkolben nicht ohne Einfluß; je nach der Größe derselben liegt der Wert von $\frac{p_1}{p}$ für Personen- und Schnellzuglokomotiven zwischen 0,38 und 0,44, für Güterzuglokomotiven zwischen 0,40 und 0,50.

Machen die Kuppelräder von D^{cm} Durchmesser in einer Sekunde n Umdrehungen, so ist die Fahrgeschwindigkeit der Lokomotive

$$v^{\text{m/Sek}} = \frac{D^{\text{cm}} \cdot \pi \cdot n}{100}$$

und die Arbeitsleistung derselben in Pferdekraften

$$N = \frac{Z^{\text{kg}} \cdot v^{\text{m}}}{75} \quad (3)$$

oder für eine Fahrgeschwindigkeit von $V^{\text{km/St}}$

$$N = \frac{Z^{\text{kg}} \cdot V^{\text{km}}}{270}. \quad (4)$$

Die Anzahl n der Umdrehungen der Kuppelräder in einer Sekunde ist mit Rücksicht auf die — an dem bewegten Gestänge auftretenden — Fliehkräfte beschränkt; sie liegt zwischen 4 und 5, die Fahrgeschwindigkeit $v^{\text{m/Sek}}$ kann daher nur durch Vergrößerung des Raddurchmessers D^{cm} gesteigert werden. Aus Gleichung (2) ergibt sich, daß bei sonst gleichbleibenden Ausmaßen für d , p und h mit Zunahme von D eine Verminderung der Zugkraft verbunden ist. Hohe Räder werden daher das Kennzeichen der schnellfahrenden, niedrige Räder jener der Güterzuglokomotiven sein, die vor allem bedeutende Zugkräfte zu entwickeln haben. Im Hinblick auf die zulässige größte Beanspruchung der Schraubenkuppelungen zur Verbindung der einzelnen Fahrzeuge kann die Zugkraft einen größeren Wert als 10000 kg nicht annehmen. Um dem Mehrbedarfe an Zugkraft für das Anfahren Rechnung zu tragen, macht man, namentlich bei Güterzugmaschinen, zu der für eine gewisse größte Fahrgeschwindigkeit und größte Zuglänge berechneten Zugkraft Z noch einen Zuschlag von 1000 bis 1500 kg. Je größer dieser zur Beschleunigung der Zugsmasse verfügbare Überschuß an Zugkraft, desto rascher wird das Anfahren erfolgen und um so kürzer wird die Strecke sein, welche bis zur Erreichung der vollen Fahrgeschwindigkeit durchlaufen werden muß.

Bei zweizylindrigen Verbundlokomotiven ist die Größe des Niederdruckzylinders maßgebend; ist der Durchmesser desselben d_n^{cm} , so ist die Zugkraft

$$Z = \frac{d_n^2}{2D} \cdot p_1 \cdot h,$$

worin d_n in cm, p_1 in atm, h und D in mm einzusetzen sind; Z ergibt sich in kg.

Die Leistung der Lokomotive ist natürlich auch — wie schon erwähnt — von

der Leistungsfähigkeit der Heizfläche abhängig; wenn ein Quadratmeter Heizfläche α Pferdestärken leistet, so ist

$$N = \alpha \cdot H \tag{5}$$

für H^{qm} Heizfläche.

Die Leistungsfähigkeit der Heizfläche wird durch das Verhältnis der Rostfläche zur Heizfläche, durch den Kesseldruck und den Inhalt eines Zylinders beeinflusst und sie wächst bei sonst gleichen Verhältnissen mit der Umdrehungszahl der Treibräder; im allgemeinen liegt α^{PS} für Personen- und Schnellzuglokomotiven:

- mit Zwillingswirkung zwischen 4,2 und 5,3,
- mit Verbundwirkung zwischen 4,5 und 7,4,

für Güterzuglokomotiven:

- mit Zwillingswirkung zwischen 3,5 und 4,5,
- mit Verbundwirkung zwischen 3,8 und 5,0.

Von besonderer Wichtigkeit erscheint das Verhältnis der Heizfläche zur Rostfläche $H:R$, das durch die Beschaffenheit des verwendeten Brennstoffes beeinflusst wird; guter, harter Heizstoff, der in hoher Schichtung gebrannt werden kann (z. B. Stückkohle, Koks) verlangt eine kleine Rostfläche; feine Kohle, die keinen scharfen Luftzug verträgt, muß einen größeren Rost erhalten. Im Mittel schwankt das Verhältnis $\frac{H}{R}$ bei Personen- und Schnellzuglokomotiven zwischen 50 und 60, bei Güterzug- und Tenderlokomotiven zwischen 55 und 65; der Höchstwert für guten Heizstoff liegt bei $H:R = 70$, der Kleinstwert für feine Kohle bei $H:R = 23$.

Der Dampfüberdruck im Kessel: die Dampfspannung, wird zu 12 bis 14 atm. angenommen. Zwillingslokomotiven scheinen bei höherer Spannung keine angemessene Ausnutzung mehr zu bieten, während sich bei Verbundlokomotiven auch höhere Spannungen als nutzbringend gezeigt haben.

Der Verbrauch an Dampf ist wesentlich von der Fahrgeschwindigkeit abhängig; die Füllung der Zylinder und die Dampfspannung sind ebenfalls von Einfluß, jedoch würde eine Steigerung der letzteren über 12 Atmosphären hinaus kaum eine nennenswerte Verminderung des Dampfverbrauches bewirken. Der Verbrauch an Brennstoff richtet sich vornehmlich nach der Güte desselben. Für angenäherte Berechnungen, wie solche durchzuführen der Bauingenieur in die Lage kommen kann, gibt nachstehende Übersicht einige Anhaltspunkte.

Lokomotivgattung (Zwillingslokomotiven)	Für 1 Stunde PS		Für 1 qm Heizfläche		Anmerkung
	Dampf- verbrauch	Brennstoff- verbrauch	Dampf- verbrauch	Brennstoff- verbrauch	
	kg	kg	kg	kg	
Schnellzuglokomotive . .	10	2,0	43	8	Sämtliche Zahlen- angaben sind ab- gerundete Mit- telwerte für 12 bis 14 atm. Dampfdruck im Kessel.
Personenzuglokomotive .	10,5	2,0	39	7	
Güterzuglokomotive . . .	12,3	2,2	34	6	
Gebirgslokomotive	14,0	2,3	31	5	
Dsgl. für besonders große Leistungen	17,0	2,9	31	5	

Vorstehende Übersicht enthält den wirklichen Dampfverbrauch; die hierzu erforderliche Wassermenge kann 1,2 mal so groß angenommen werden.

Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit steigt der Wasser- und Kohlenverbrauch, wie aus nachfolgender Zusammenstellung, welche die Ergebnisse der von Lochner in Erfurt gemachten Versuche¹⁾ wiedergibt, zu ersehen ist.

Fahr- geschwin- digkeit km/St	Für 1 Stunde PS				Bemerkung
	Wasser		Kohle		
	Zwilling kg	Verbund kg	Zwilling kg	Verbund kg	
0 bis 50	10	8,5	1,25	1,05	Die bei den Versuchen ver- wendete Kohle ergab eine 7,5- bis 8fache Ver- dampfung.
60	10,3	8,6	1,33	1,06	
70	10,7	8,8	1,39	1,10	
80	11,4	9,3	1,52	1,19	
90	12,6	10,3	1,73	1,33	

Für das Anheizen sind 45 bis 50 kg Kohle der angegebenen Verdampfungsfähigkeit für 1 cbm Wasserinhalt des Kessels erforderlich.

§ 4. **Übersicht heutiger Lokomotivgrundformen.** — Nach dem Betriebszwecke unterscheidet man Lokomotiven für Schnellzüge, Personenzüge, gemischte Züge, Güterzüge und für den Verschiebedienst der Hauptbahnen, wobei aber zu beachten ist, daß für die Beförderung der Personenzüge und der Schnellzüge meistens dieselben Lokomotiven verwendet werden; Lokomotiven für Personenzüge, gemischte Züge und Güterzüge der Nebenbahnen und schließlich Lokomotiven für Kleinbahnen.

a) Schnellzug- und Personenzuglokomotiven für Hauptbahnen.

Beide Gattungen sollen rasches Anfahren ermöglichen, also großen Überschub an Zugkraft über den Zugwiderstand besitzen. Während der Fahrt ist bedeutende Verdampfungsfähigkeit des Kessels notwendig. Während in Europa bis zum Jahre 1880 die dreiachsige Lokomotive mit zwei gekuppelten Achsen ($\frac{2}{3}$) für Schnellzüge und Personenzüge diente, ist man seither infolge der geforderten größeren Leistungsfähigkeit fast allgemein zu der vierachsigen Lokomotive mit zwei gekuppelten Achsen übergegangen ($\frac{2}{4}$), die bei vergrößertem Gesamtgewichte und höherer Fahrgeschwindigkeit ruhigeren Gang und geringere Beanspruchung des Oberbaues gewährleistet. Hierbei liegt entweder unter der Rauchkammer ein zweiachsiges Drehgestell — eine

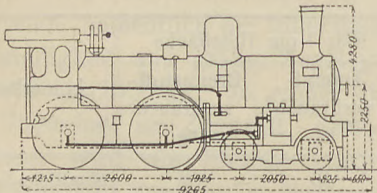


Abb. 3. Eilzuglokomotive.

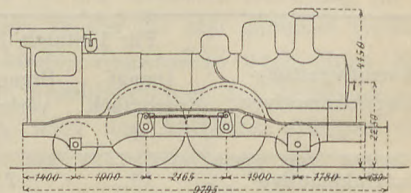


Abb. 4. Eilzuglokomotive.

Anordnung, die besonders in Amerika gebräuchlich ist (Abb. 3) — oder die Lokomotive hat eine vordere und eine hintere Laufachse, die einzeln beweglich oder in Krümmungen einstellbar gelagert sind (Abb. 4). Die $\frac{2}{3}$ gekuppelte Lokomotive, bei der die

¹⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1894, S. 108.

Laufachse in der Regel vorne liegt, entspricht geringeren Anforderungen oder erhält durch die Anwendung der Verbundwirkung größere Leistungsfähigkeit.

Zur Förderung schwerer Schnellzüge von 300 t und mehr Wagengewicht mit Geschwindigkeiten von 90 bis 100 km/St. genügt die $\frac{2}{4}$ gekuppelte Lokomotive nicht; man hat daher in neuerer Zeit auf einzelnen Bahnen Schnellzuglokomotiven mit zwei gekuppelten Achsen, einer hinteren einstellbaren Laufachse und einem zweiachsigen Drehgestell ($\frac{2}{3}$ gek. Lok., „Atlantic-Type“, Abb. 5) in Betrieb gestellt; die Anwendung

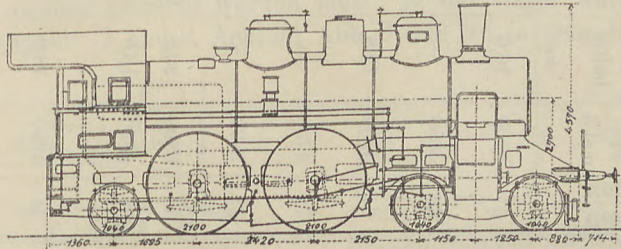


Abb. 5.

großer Kessel mit Heizflächen bis zu 200 qm und darüber und breiter Feuerkisten, bei 60 bis 70 t Dienstgewicht ermöglicht die Erreichung von Leistungen bis zu 1500 PS, während die $\frac{2}{4}$ gekuppelten Lokomotiven nur bei Verbundwirkung oder Anwendung überhitzten Dampfes 800 bis 900, selten 1000 PS leisten können. Die Lokomotive der »Atlantic-Type« zeichnet sich durch ruhigen Gang aus.

In England stehen für den Schnellzugdienst Lokomotiven mit einer Treibachse und zwei oder drei Laufachsen ($\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ gek.) in Verwendung; es wird ihnen große Sparsamkeit in Brennstoffverbrauch und Erhaltungskosten nachgerühmt (Abb. 6).

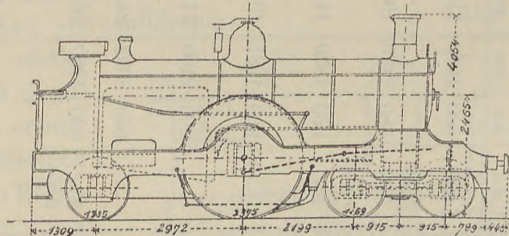


Abb. 6.

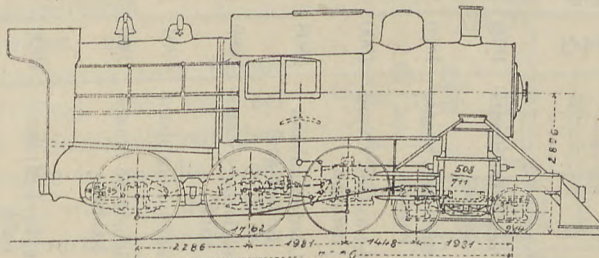


Abb. 7.

Auf Strecken mit starken Steigungen hat sich schon vielfach die Lokomotive mit drei gekuppelten Achsen ($\frac{3}{4}$ gek. »Mogul-Type«, oder $\frac{3}{3}$ gek. »Ten wheel-Type«, Abb. 7) eingebürgert.

Personen- und Schnellzuglokomotiven für Hauptbahnen.

Grundform nach Abb.	Gattung	Bahnverwaltung	Erbauungsjahr	Triebwerk				Kessel			Gewicht			Heizfläche Rostfläche	Zugkraft nach Formel 3	Tender		Bemerkungen
				Dampfzylinder		Triebmesser Durchmesser	Innere Heizfläche	Rostfläche	Dampfdruck	Leer	Im Dienste		Wasserbehälter			Kohlenraum		
				Hochdruck	Niederdruck						Hochdruck	Niederdruck					Im Trieblast	
3	3	Preussische Staatsbahnen	1895	460	680	600	1980	118	2,3	12	44,3	30,0	49,6	51	3500	16,0	5,0	
3	3	Österreich. Staatsbahnen	1893	500	760	680	2120	138	2,9	13	—	28,5	55,7	48	5050	—	—	Für schwere Schnellzüge.
3	3	Schweizer. Nordostbahn	1900	460	680	660	1830	118	2,2	13	45,0	31,0	50,0	54	4550	12,8	5,0	
3	3	Caledonianbahn (Schottland)	1898	482	—	660	1981	139	1,9	12,3	—	33,2	49,8	72	4750	—	—	Bietet sehr gute Leistungen.
4	3	Belgische Staatsbahn	1889	500	—	600	2100	112	4,8	10	45,5	26,4	49,2	23	3570	—	—	Bauart Belpaire; seit 1899 verlassen.
5	3	Pennsylvaniabahn	1901	520	—	660	2032	245	5,1	14,4	71,3	49,5	80,1	48	6300	20,8	10,0	Atlantic-Type.
5	3	Sächsische Staatsbahnen	1900	2 \times 350	2 \times 555	630	1980	165	2,4	15	58,3	32,0	65,0	69	5850	18,0	6,1	Leistet bei 90 km/St Fahrgeschwindigkeit 1350 Dampf-PS.
6	4	Englisch. Midlandbahn	1900	490	—	661	2376	102	2,3	12,7	46,2	18,8	50,9	44	4350	18,2	6,1	
7	3	Bayerische Staatsbahnen	1899	2 \times 380	2 \times 610	640	1870	157	2,6	14	59,4	46,5	65,2	59	7100	21,0	6,5	Fördert Züge von 300 t auf 1000/00 mit 50 km/St.
	3	Schweizerische Zentralbahn	1899	480	—	660	1550	128	2,3	13	46,2	18,8	50,9	44	4350	18,2	6,1	Für mäßige Geschwindigkeiten.

Güterzuglokomotiven für Hauptbahnen.

Grundform nach Abb.	Gatung	Bahnverwaltung	Erbauungsjahr	Triebwerk				Kessel			Gewicht			Tender		Bemerkungen			
				Dampfzylinder		Triebrad	Innere Heifläche	Rostfläche	Dampfdruck	Leer	Im Dienst	Heifläche	Zugkraft nach Fomel 3	Wasserbehälter	Kohlenraum				
				Durchmesser	Hochdruck												Hub	mm	mm
8	$\frac{3}{3}$	Preussische Staatsbahnen	1894	480	480	680	630	1330	116	1,5	12	34,5	40,3	40,3	77	6600	—	—	Größte Geschwindigkeit 50 km/St.
10	$\frac{3}{4}$	dto.	1895	480	480	680	630	1350	138	2,3	12	43,0	40,0	49,2	60	6500	—	—	Für größere Geschwindigkeiten.
10	$\frac{3}{4}$	Bayerische Staatsbahnen	1899	500	740	740	630	1340	136	2,2	13	48,5	42,2	55,0	60	8000	—	—	Laufachse und erste Kuppelachse in einem Drehgestell.
9	$\frac{4}{4}$	Preussische Staatsbahnen	1895	530	750	750	630	1250	138	2,3	12	46,0	52,2	52,2	60	8500	—	—	
11	$\frac{4}{4}$	Österreich. Staatsbahnen	1897	540	800	800	632	1300	227	3,3	13	60,0	57,2	69,0	65	10100	—	—	Befördert auch Schnellzüge auf Gebirgsbahnen.
11	$\frac{3}{3}$	Französische Südbahn	1901	2 \times 390	2 \times 600	650	600	1400	251	2,8	15	65,0	64,3	71,5	90	11500	—	—	Befördert 200 t Zuglast auf 30 $\frac{0}{00}$.
12	2 \times 2 2 \times 2	Preussische Staatsbahnen	1895	2 \times 420	2 \times 630	600	600	1260	145	1,9	12	48,2	54,8	54,8	76	10900	12,0	5,0	Mallet-Rimrott.
	2 \times 3 2 \times 2	Bayerische Staatsbahnen	1900	2 \times 400	2 \times 635	630	630	1340	157	2,7	15	60,5	56,0	67,0	58	12500	18,0	7,5	
	$\frac{5}{5}$	Minneapolis-St. Paul-Bahn	1900	2 \times 432	2 \times 711	813	813	1397	250	3,5	14	—	86,2	97,0	71	17800	32,0	8,2	Verbundzylinder, Bauart Vanclain.

Aus vorstehender Übersicht erhellen zugleich die wesentlichsten Konstruktionsunterschiede der Güterzuglokomotiven gegenüber den Personen- und Schnellzuglokomotiven.

c) Lokomotiven für den Verschiebedienst, für Nebenbahnen und Kleinbahnen.

Es sind vorzüglich Tenderlokomotiven, das sind Lokomotiven ohne Schlepptender, welche für diese Zwecke Anwendung finden. Ihre bauliche Anordnung, namentlich ihre Ausmaße richten sich nach dem Betriebszwecke. Tenderlokomotiven, nach denselben Grundsätzen erbaut, dienen auch auf Hauptbahnen, besonders auf Vorortbahnen und Stadtbahnen zur Beförderung der Personenzüge. Bemerkenswert ist die ausgebreitete Anwendung des Kastenrahmens von Krauß, der auch die Wasserbehälter bildet. Es gibt zahlreiche Anordnungen, wie es eben auch mannigfaltig verschiedene Betriebsverhältnisse gibt. Die Übersicht auf folgender Seite zeigt einige besonders bemerkenswerte Ausführungen.

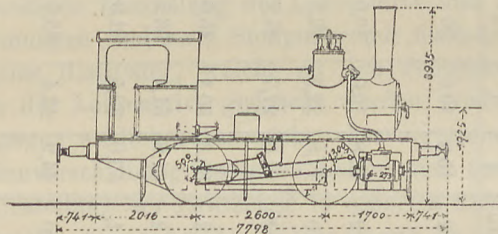


Abb. 13.

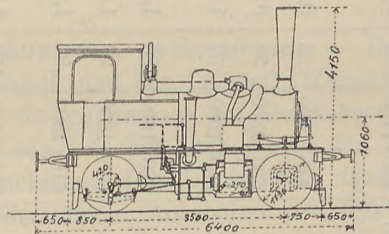


Abb. 14.

Von Wichtigkeit für den ruhigen, sicheren Lauf in Bögen und die wirtschaftliche Erhaltung der Bahn und Fahrzeuge ist — wie schon erwähnt wurde und nun noch näher besprochen werden soll — der Achsstand der Lokomotiven. Die Lokomotiven sollen um so größere Radstände erhalten, je größer die Fahrgeschwindigkeit ist. Für Bahnen mit vielen Krümmungen werden folgende feste Achsstände vom Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen (Technische Vereinbarungen 89, 1) empfohlen:

Krümmungshalbmesser	Fester Achsstand
180 m	3,2 m
210 m	3,5 m
250 m	3,8 m
300 m	4,1 m
400 m	4,8 m
500 m	5,4 m

Lokomotiven für Nebenbahnen und Verschiebedienst.

Grundform nach Abb.	Gatung	Bahnverwaltung	Erbauungsjahr	Triebwerk						Kessel			Gewicht			Heizfläche Rostfläche	Zugkraft nach Formel ⁽³⁾	Wasserbehälter cbm	Kohlenraum t	Bemerkungen
				Dampfzylinder		Triebmesser	Triebdruckmesser	Innere Heizfläche mm	Rostfläche mm	Dampfüberdruck atm	Leer t	Im Dienste								
Durchmesser		Hub		Hochedruck mm	Niederdruck mm							mm	mm	mm	mm	mm	mm	t	t	t
14	1	Preussische Staatsbahnen	1883			270	410	420	1130	34	0,8									
—	2	—	—	285	—	440	880	33	0,75	12	13,8	19,0	19,0	44	2920	3,2	0,8	Für Werkbahnen.		
13	2	Emmentalbahn	—	270	—	500	1300	38	0,7	10	17,5	22,3	22,3	54	1680	2,5	0,7	—		
—	2	Preussische Staatsbahnen	1895	330	—	550	1080	57	1,0	12	21,0	27,7	27,7	57	4000	3,5	0,8	Für Verschiebedienst.		
—	3	dto.	1900	420	—	600	1600	86	1,5	12	35,3	30,1	45,0	56	3960	5,0	1,5	Für Personenzüge.		
—	2	dto.	1900	430	—	600	1600	97	1,6	12	41,8	31,4	53,2	61	4160	5,7	2,4	Für Vortröße.		
—	2	Belgische Staatsbahn	1900	430	—	610	1800	96	1,8	11	53,0	32,5	61,9	53	3450	5,3	1,5	Für Personenzüge.		
—	3	Französische Ostbahn	1885	460	—	600	1560	110	1,8	10	44,9	42,4	55,6	60	4060	5,2	2,0	—		
—	3	Österreich. Staatsbahn	1900	520	740	632	1300	132	2,3	13	53,0	43,0	69,4	57	7650	8,5	2,5	Lokomotive der Wiener Stadtbahn.		
—	3	Chicago- u. Nord-Pacific-Bahn	1893	457	—	610	1601	136	2,1	12,7	—	46,2	75,4	65	5050	9,8	6,0	Vorortverkehr in Chicago.		
—	3×3 3×3	Belgische Staatsbahn	1899	2×500	2×810	650	1300	275	7,9	15	81,0	99,0	99,0	35	22000	9,0	4,7	Für sehr starke Steigungen. Bauart Mallet-Kimrott.		

§ 5. Tender. Größere Brennstoffvorräte (über 15 t) und größere Wasservorräte (über 8 cbm) müssen in besonderen Wagen, »Tendern«, untergebracht werden. Die Größe des Wasserbehälters beträgt 8 bis 21 cbm, der Raum für Kohlen 3 bis 8 t; das Eigengewicht liegt zwischen 9 und 23 t (etwa 1,00 bis 1,05 t für 1 t Wasser). Mit Rücksicht auf das Gewicht bei voller Beladung sind daher zwei, drei oder vier Achsen notwendig, wobei im letzteren Falle Drehgestelle mit zwei Achsen zur Anwendung kommen; der Achsstand (zwischen den Mitten der beiden äußersten Achsen oder der Drehgestelle gemessen) liegt zwischen 3,0 und 3,6 m. Die zweiachsigen Tender stehen auf Hauptbahnen nicht mehr im Betriebe; die vierachsigen Tender bürgern sich stetig mehr und mehr für Schnellzuglokomotiven ein.

Der Bestand an Tendern kann geringer sein, als jener an Lokomotiven, weil letztere wesentlich häufiger in Reparatur gelangen müssen; dennoch besitzen viele Bahnen für jede Lokomotive ihren eigenen Tender.

Die Verbindung des Tenders mit der Lokomotive besteht aus einer starren Zugstange, die an jedem Fahrzeuge einen Bolzen umfaßt; behufs Vermittlung einer zweckmäßigen gegenseitigen Einstellung der Lokomotive und des Tenders in gerader Strecke und in Krümmungen sind zwei Stoßpuffer mit flach-keilförmigen Köpfen angebracht, die durch eine Blattfeder, welche an den Tenderkuppelbolzen angehängt ist, gegen Platten an der Lokomotive gedrückt werden, wodurch eine entsprechend große Rückstellkraft gegen seitliches Ausweichen hervorgerufen wird. Vorteilhaft ist es, eine gewisse Seitenverschiebung zwischen Lokomotive und Tender zu gestatten, um die gewaltsame Einstellung der Fahrzeuge in scharfen Krümmungen zu verhüten, obwohl durch eine solche Anordnung der ruhige Gang in gerader Strecke beeinträchtigt wird.

§ 6. Die Eisenbahnwagen. Allgemeines. — Ihre Hauptbestandteile bilden das Untergestell (Wagengestell) und der Oberteil (Wagenkasten). Das erstere ist die Stütze des Wagenkastens, dessen Last es auf die Achsen überträgt, die von ihm in richtiger Lage zu erhalten sind; es hat auch die in den Zug- und Stoßvorrichtungen auftretenden Kräfte aufzunehmen. Das Untergestell besteht aus den beiden Langträgern, an denen die Federstützen, Achshalter und Kastenstützen angebracht sind, aus den beiden Kopfschwellen, welche die Stoß- und Zugvorrichtungen tragen und aus den Verstrebungen der Langträger und Kopfschwellen, an denen die Bremsrichtungen, die Gasbehälter usw. befestigt werden. Zum Bau der Untergestelle verwendet man in England und Amerika entweder ausschließlich Holz oder auch Holz- und Eisenkonstruktionen, auf dem europäischen Festlande aber gegenwärtig vorwiegend Formeisen. Die Stoßvorrichtungen sind entweder in der Mitte des Wagens angeordnet und meist so ausgebildet, daß sie auch zur Kuppelung der Wagen dienen können — Einpufferbauart; oder sie bestehen aus zwei symmetrisch zur Wagenachse angebrachten Puffern — Zweipufferbauart; die erstere Bauart, die in Europa bei Kleinbahnen gebräuchlich ist, bietet den Vorteil, daß Zug und Druck in der Mittellinie des Fahrzeuges angreifen, während die zweite Bauart, bei der die Kuppelungsvorrichtung zwischen den Stoßvorrichtungen sich befindet, bei größerer Fahrgeschwindigkeit eine sichere Führung und ruhigeren Gang der Fahrzeuge bewirkt. Der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen schreibt 1754 mm als Maß der Entfernung der Puffermitten und 1040 mm als Maß ihres Abstandes von der Schienenoberkante bei unbelastetem Zustande vor. Näheres hierüber findet sich in § 12.

Die Bauart des Oberteiles ist von der Bestimmung des Wagens abhängig; man unterscheidet in letzterer Beziehung: Personenwagen, Gepäck- und Postwagen, Güter- oder Lastwagen und Dienstwagen.

§ 7. Die Eisenbahnwagen. Fortsetzung: I. Personen-, Post- und Gepäckwagen. — Der wesentliche Unterschied in der Anordnung der Personenwagen wird durch die Form und Einteilung des Wagenkastens, die sich wieder nach Zweck und Bestimmung des Wagens richten, hervorgerufen.

In diesem Sinne stehen sich zwei Hauptformen gegenüber: Abteilwagen und Durchgangswagen. Bei den Abteilwagen ist der Wagenkasten durch Querwände in einzelne Abteile getrennt, die von beiden Langseiten aus durch Türen zugänglich sind; der Wagenkasten der Durchgangswagen ist entweder ungeteilt oder in einige große Räume zerlegt, zu denen der Zutritt von Endbühnen (Plattformen) aus durch Türen in den Stirnwänden erfolgt. Aus der Verbindung beider Formen sind die Abteilwagen mit innerem Verbindungsgang (mittlerem Durchgange) und die Durchgangswagen mit einem von den Abteilen abgeschlossenen Gange (Seitengange) hervorgegangen. Die beiden letzteren Bauarten, namentlich aber die Durchgangswagen mit Seitengang und Abteilen, zu deren Bau Heusinger von Waldegg in der »Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« (1863) Anregung gegeben hat, vereinigen die Vorzüge der Abteil- und Durchgangswagen unter weitgehender Vermeidung ihrer Mängel. Die Anordnung von Abteilen ermöglicht vollständige Trennung der Reisenden nach bestimmten Gruppen (Raucher, Nichtraucher, Frauen), während die Seiten- oder Mittelgänge den Reisenden eine gewisse Freiheit der Bewegung gewähren; die Querwände bieten eine Versteifung des Wagenkastens; Aborte können in Durchgangswagen zweckmäßig angebracht werden. Reine Abteilwagen gestatten schnelles Ein- und Aussteigen, weshalb sie für Stadt- und Vorortverkehr zu empfehlen sind; die Durchgangswagen haben sich hier nicht bewährt.

Die Grundrißeinteilung ist sehr verschieden, ebenso wie die innere Ausstattung, in deren Verschiedenheit hauptsächlich die Einteilung in Klassen (I., II., III., seltener IV. Klasse) zu suchen ist. In den internationalen Zügen, das sind solche Züge, welche die Verbindung der Weltstädte bewirken (z. B. Wien-London, Berlin-Rom, Paris-Konstantinopel, Petersburg-Nizza usw.), laufen auch Restaurationswagen, Buffetwagen (nur »kalte Küche« führend), Schlafwagen; diese Wagen sind in der Regel Eigentum besonderer Gesellschaften (Pullman-, Wagner-Gesellschaft usw.).

Die Abteilwagen sind in der Regel zweiachsig und dreiachsig; erstere wurden seit etwa 30 Jahren immer mehr von den Hauptbahnen entfernt, finden aber in neuerer Zeit in Frankreich und Süddeutschland wieder größere Verwendung, da ihnen ein ruhigerer Gang als den dreiachsigen nachgerühmt wird. Die Durchgangswagen laufen auf drei, zumeist aber — da sie bedeutende Längen erhalten — auf vier, in zwei Drehgestellen angeordneten Achsen; auch Wagen mit zwei dreiachsigen Drehgestellen sind in Verwendung; die Drehgestelle verleihen den Fahrzeugen, wie schon bei den Lokomotiven erwähnt worden ist, eine große Schmiegsamkeit und einen sanften, fast geräuschlosen Gang.

Die Kastenlänge der Personenwagen für Hauptbahnen schwankt zwischen 7,40 m und 18,13 m, der Achsstand zwischen 4,6 m und 16,5 m; jene liegt vorwiegend bei zwei- und dreiachsigen Wagen zwischen 11 und 12 m, bei vier- und sechsachsigen Wagen zwischen 16 und 18 m. Das Leergewicht für einen Platz ist von der Ausstattung abhängig; es hat in jüngster Zeit für gewisse Wagen, namentlich Speise-

wagen, Wagen für Luxuszüge bis zu 1,6 t und selbst 1,9 t, auch noch darüber erreicht. Die Anzahl der Plätze wird zum Teil auch durch die Wagenklasse bestimmt; Wagen mit erster und zweiter Klasse haben gewöhnlich zwischen 30 und 40 Sitzplätze, selten mehr; Wagen mit ausschließlich dritter Klasse haben 50 bis 70 Sitzplätze. Wagen für Nebenbahnen haben in der Regel nur zweite und dritte Klasse mit zusammen 50 bis 60 Sitzplätzen, wobei auf einen Platz 200 bis 300 kg Leergewicht entfallen; bei einem Achsstand von 5 bis 7 m beträgt die Kastenlänge 8 bis 11 m.

Nachstehend sind einige Wagenbauarten angeführt, für welche die Angaben dem Werke: »Das Eisenbahn-Maschinenwesen der Gegenwart«, erster Abschnitt, zweiter Teil, Wiesbaden 1898 entnommen sind.

Zweiachsiger Abteilwagen III. Klasse der Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen (Abb. 15) mit 7 Abteilen und 2 von allen Abteilen aus zugänglichen Aborten; bei 11,6 m Kastenlänge 8,4 m Achsstand; Lenkachsen; 56 Plätze; 302 kg Leergewicht für einen Platz.

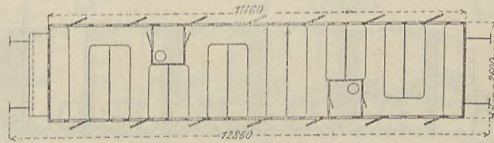


Abb. 15.

Zweiachsiger Durchgangswagen der Paris - Orléans - Bahn (Abb. 16) mit 21 Sitzplätzen I. Klasse; 10,67 m Kastenlänge, 7 m Achsstand, 667 kg Leergewicht für einen Platz.

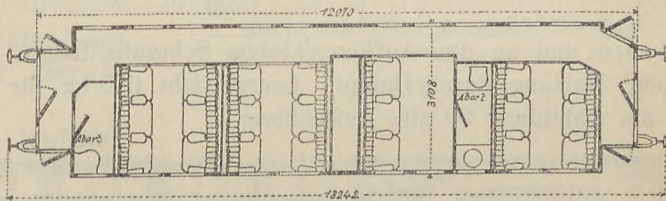


Abb. 16.

Dreiachsiger Abteilwagen der Württembergischen Staatsbahnen (Abb. 17) mit 11 Sitzplätzen I. und 20 Sitzplätzen II. Klasse, 11,9 m Kastenlänge, 9 m Achsstand und 690 kg Leergewicht für einen Platz.

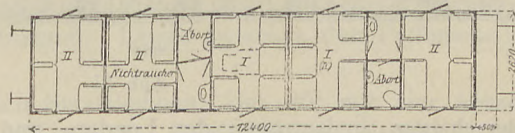


Abb. 17.

Dreiachsiger Durchgangswagen der Kaiser Ferdinands-Nordbahn (Abb. 18) mit 12 Sitzplätzen I. und

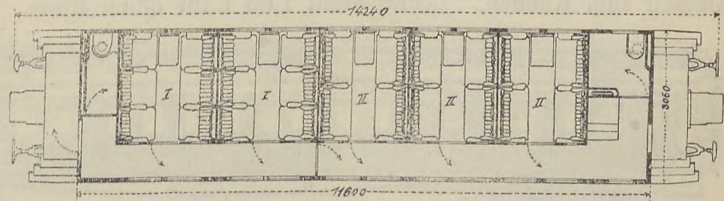


Abb. 18.

24 Sitzplätzen II. Klasse, Lenkachsen, 9 m größtem Achsstand (Entfernung der äußeren Achsen), 11,6 m Kastenlänge, 583 kg Leergewicht für einen Platz.

Vierachsiger Abteilwagen III. Klasse der badischen Staatsbahnen mit eisernem Untergestelle und Oberkasten ohne Lüftungsaufbau (Abb. 19); 74 Sitzplätze, Leergewicht 406 kg für 1 Platz; elektrische Beleuchtung; Kastenlänge 15,9 m. Gesamt-

länge zwischen den Puffern 17,16 m; Achsstand der Drehgestelle 2,5 m, Entfernung der Drehgestellmittelpunkte 11,4 m; Raddurchmesser 1 m; Kastenbreite 2,6 m, Wagenhöhe (beim Bremssitz) 4,14 m über Schienenoberkante.

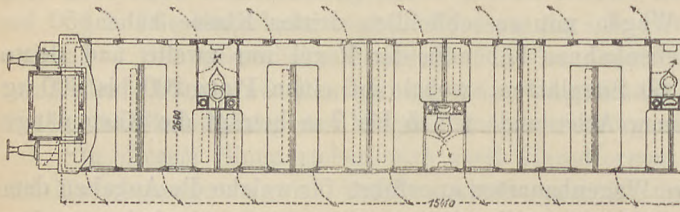


Abb. 19.

Vierachsiger Durchgangswagen der österr. Staatsbahnen für I. und II. Klasse (Abb. 20) mit 12 und 36 Sitzplätzen; mit eisernem Untergestell;

die Seitenwände sind durch hölzerne Druckstreben und eiserne Zugbänder versteift. Wagendach stark gewölbt, ohne Aufbau. Die Drehgestelle haben Tragfedern mit

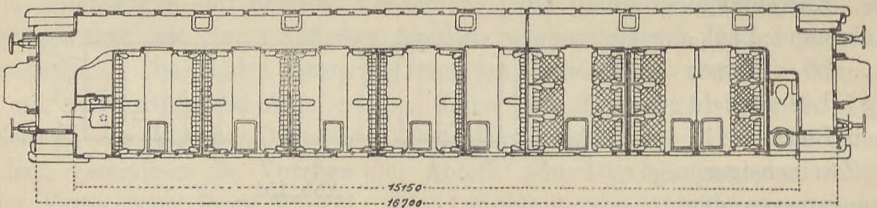


Abb. 20.

11 Lagen und an den Aufhängeklößen Schraubenfedern. Beleuchtung durch Gaslampen, Heizung durch Dampf. Leergewicht 679 kg für einen Platz. Im übrigen gibt die Abbildung 20 alle Aufschlüsse.

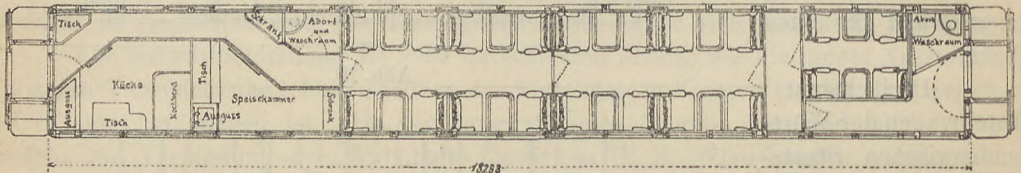


Abb. 21.

Sechsixsiger Speisewagen der London- und North-Western-Bahn (Abb. 21) für 20 Reisende mit zwei dreiachsigen Drehgestellen, reicher Ausstattung und Ölgasflammen zum Kochen. Leergewicht 1,65 t für einen Platz.

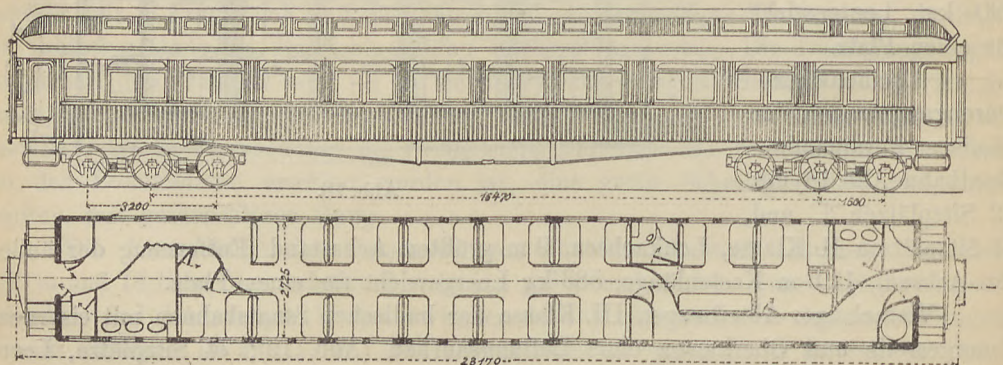


Abb. 22.

Sechssachsiger Schlafwagen der Pullman-Gesellschaft in Chicago (Abb. 22) umfaßt einen Hauptraum mit 20 Betten, drei Abteile zu 2 Betten, davon eines mit Sofa und besonderem Abort, zwei Waschräume mit je einem Abort. Gewicht 51 t. Warmwasserheizung nach Baker.

Zweiachsiger Personenwagen II./III. Klasse der preußischen Staatsbahnen, für Nebenbahnen von großer Länge bestimmt (Abb. 23); 16 Sitzplätze II. Klasse, 20 Sitzplätze III. Klasse, Abort; Leergewicht 573 kg für einen Platz; Achsstand 4,114 m, Kastenlänge 7,4 m.

Die Bestimmung der Gepäck- und Postwagen ist durch den Namen gekennzeichnet; Gepäckwagen erhalten oft Kasten zur Hundebeförderung, Aborte für Reisende und Zugbeamte, absperrbare Abteilungen für Zollgüter; sie werden bei Personenzügen unmittelbar hinter der Lokomotive eingereiht und dienen so zugleich als »Sicherheitswagen«, der nicht von Reisenden besetzt werden darf. Die Postwagen müssen alle für die Abwicklung des Postdienstes notwendigen Einrichtungen erhalten.

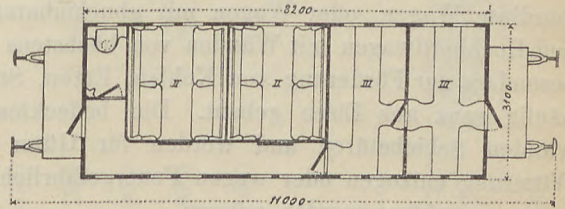


Abb. 23.

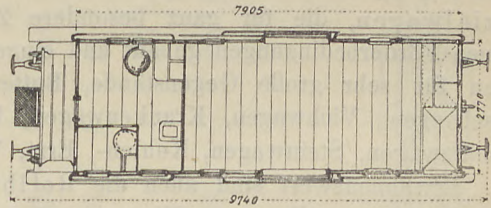


Abb. 24.

Als Beispiele seien erwähnt:

Gepäckwagen für Personenzüge der österr. Staatsbahnen (Abb. 24) mit zwei Lenkachsen in 5,8 m Abstand, mit Spindel- und einfacher Saugebremse, Dampfheizung, Gas- oder Ölbeleuchtung; Leergewicht 9,88 t, Ladegewicht 5 t. Die Gepäckwagen der preußischen Staatsbahnen haben drei Lenkachsen, wiegen leer 14,2 t, haben 6 t Ladegewicht, 7 m Achsstand. Länge zwischen den Pufferscheiben 9,74 m, beziehungsweise 11,30 m.

Postwagen der bayerischen Staatsbahnen (Abb. 25) mit vier Achsen in zwei Drehgestellen von 2,5 m Achsstand und 10,8 m Mittelpunktsentfernung; Leergewicht 25,7 t, Ladegewicht 8 t.

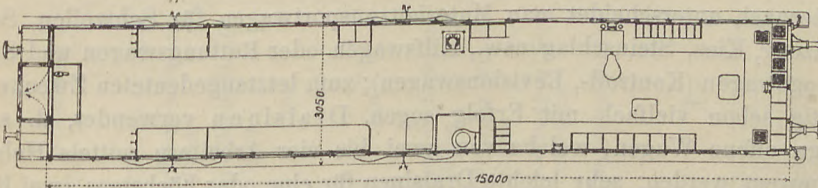


Abb. 25.

Vereinigter Post- und Gepäckwagen der preußischen Staatsbahn mit zwei vierräderigen Drehgestellen, 14,5 m Entfernung der Drehgestellmittelpunkte, 28,5 t Leergewicht, 3 t Ladegewicht, hauptsächlich für Nebenbahnen bestimmt.

In Amerika laufen auch Postwagen mit besonderen Vorrichtungen zur Auf-

nahme und Abgabe der Briefbeutel während der Fahrt; auch in England und Belgien wurden in neuerer Zeit Versuche in dieser Hinsicht unternommen.

§ 8. Die Eisenbahnwagen. Fortsetzung: II. Güter- und Bahndienstwagen. — Der wesentliche Unterschied bei den Güterwagen liegt in der Ausführung des Oberteils als offener oder als mit fester Decke versehener Fassungsraum. Die offenen Güterwagen sind entweder Plattformwagen ohne Seiten- und Kopfwände (bordlose Wagen) oder Wagen mit abnehmbaren Wänden (Bordwandwagen: Nieder- und Hochbordwagen mit Wänden von höchstens 900 und 1600 mm Höhe); sie dienen besonders zur Förderung von Kohlen, Erzen, Steinen, Holz, Rüben usw. und werden häufig ganz aus Eisen gebaut. Die bedeckten Güterwagen haben in den Seitenwänden Schiebetüren und werden für Güter verwendet, die den Einflüssen der Witterung entzogen oder wegen Feuergefährlichkeit vor dem Funkenwurfe der Lokomotive geschützt werden müssen.

Besondere Vorteile im Güterverkehre für den Verfrachter wie für den Empfänger und die Bahnverwaltung bieten die immer mehr in Verwendung kommenden Spezialwagen, die für ganz besondere Zwecke entsprechend den jeweilig gegebenen Förderbedingungen gebaut und eingerichtet werden; z. B. Bierwagen, Bockwagen für sehr große Gegenstände, Butterwagen, Gefäßwagen für Flüssigkeiten (Kesselwagen), Viehwagen, Krankenwagen, Fleisch-, Milch-, Fisch-, Leichenwagen, Geschützwagen, Steinwagen, Kohlen-, Erz-, Wasserwagen usw.

Erwähnenswert sind auch die Rollböcke oder Rollschemel (Transporteure) zur Beförderung vollspuriger Wagen auf schmalspurigen Geleisen; es sind kleine zweiachsige Plattformwagen mit einem in wagrechter Ebene um einen Zapfen drehbaren Querträger, dessen beide Enden zur Auflagerung der Räder einer vollspurigen Achse oder dieser Achse selbst dienen.

Die Güterwagen erhalten zwei, auch vier und sechs Achsen; der feste Radstand liegt zwischen 2,5 und 4,5 m. Das zulässige größte Gewicht der Belastung (Tragfähigkeit) beträgt für jede Achse 5 bis 7,5 t; in neuester Zeit baut man auch noch leistungsfähigere Güterwagen. Der für die Aufnahme der Ladung benutzbare Raum wird als Laderaum bezeichnet; er ist gleich der nutzbaren Bodenfläche (Ladefläche) multipliziert mit der nutzbaren Höhe.

Die nachstehende Übersicht gibt Aufschluß über die Größen- und Gewichtsverhältnisse und über die Bauformen neuerer Güterwagen.

Die Bahndienstwagen sind lediglich für Zwecke des Betriebsdienstes bestimmt; hiernach unterscheidet man Materialtransportwagen für Schwellen, Schienen, Kleineisenzeug, Kies, Steinschlag usw., Hilfswagen oder Rettungswagen und Streckenbesichtigungswagen (Kontroll-, Revisionswagen); zum letztangedeuteten Zwecke werden gegenwärtig schon vielfach mit Erfolg sogen. Draisinen verwendet, d. s. kleine zweiachsige offene Wagen, welche von zwei bis vier Arbeitern mittels Hebeln und Kurbeln bewegt werden; sehr leichte Draisinen für eine oder höchstens zwei Personen, die zugleich Treiber sind, heißen Velocipede; ein solches Velociped wiegt 50 bis 70 kg. Mit Draisinen können Fahrgeschwindigkeiten bis zu 30 km in der Stunde erreicht werden.

Güterwagen.

Wagengattung	Verwaltung	Achsenzahl	Rad-durch-messer mm	Achs-stand mm	Eigengewicht			Lade-ge-wicht t	Kastenlänge			Kastenbreite		Be-merkungen
					ohne Bremsen t	mit Bremsen t	für 1 t Lade-gewicht in kg ohne Bremsen mit Bremsen		licht mm	gesamt mm	ohne Bremsen mm	mit Bremsen mm	licht mm	
Offener Kohlen-wagen	Österreich. Staats-bahn	2	1020	4900	8,3	—	553	—	8100	10120	—	2650	2950	Abb. 26.
Bordloser Wagen	Preussische Staats-bahn	6	940	11000 3000	25,14	—	572	—	13000	14300	—	—	2900	Abb. 27.
do.	do.	2	1000	6000	8,1	9,6	540	640	10120	11500	12200	2670	2900	—
Bedeckter Güter-wagen	do.	2	1000	4500	8,7	9,6	580	640	7920	9300	9600	2740	3000	Abb. 28.
Langholz-Schemel-wagen	do.	2	1000	2500	5,2	—	520	—	—	5700	—	—	2800	—
Kleinviehwagen	Österreich. Staats-bahn	2	1025	5500	11,5	—	920	—	9980	11225	—	2500	2900	—
Pferdewagen	Belgische Staats-bahn	2	980	4500	11,1	—	1110	—	7920	9600	—	2660	2900	—
Petroleum - Kessel-wagen	Privatwagen (Nord-amerika)	4	840	8850 1525	8,7	—	—	—	9350	10850	—	Durchmesser 1980	—	Abb. 30.
Geschützwagen	Pennsylvaniabahn	12	762	19060 2140	51,3	—	806	—	11500	20660	—	2450	2960	Abb. 29.

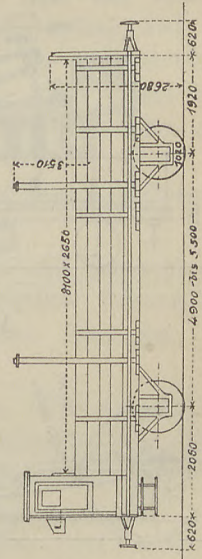


Abb. 26.

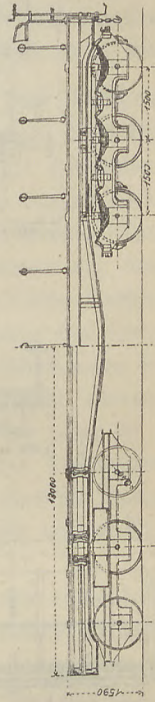


Abb. 27.

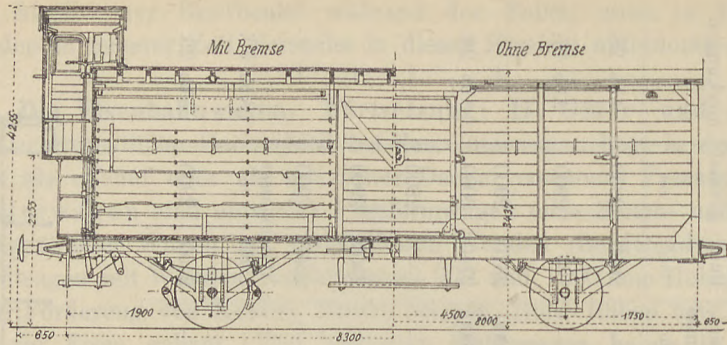


Abb. 28.

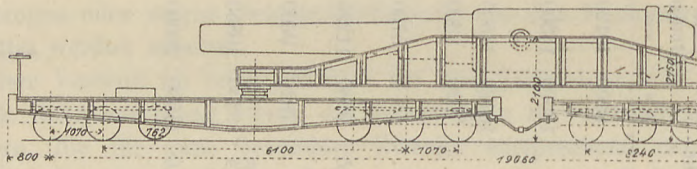


Abb. 29.

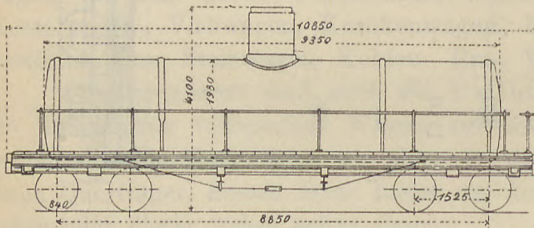


Abb. 30.

Als Beispiele seien genannt:
 Werkzeug- und Hilfs-
 wagen der Eisenbahndirektion Köln
 (Abb. 31) für Aufräumarbeiten mit
 einem Drehkran von 1800 kg Trag-
 fähigkeit, mit Hilfsgeräten und mit
 Abteilen für Arbeiter. Unter dem
 Wagen befindet sich ein Kasten für
 Schwellen und Bohlenstücke.

Bahnmeisterwagen der
 Eisenbahndirektion Berlin (Abb. 32)
 mit hölzernem Gestelle und 3 t Trag-
 fähigkeit; der Wagen kann durch
 Einstecken von Rungen und Wänden

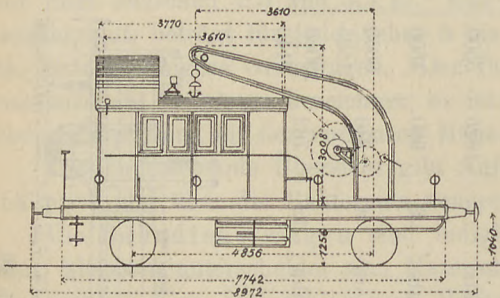


Abb. 31.

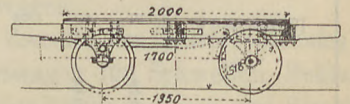


Abb. 32.

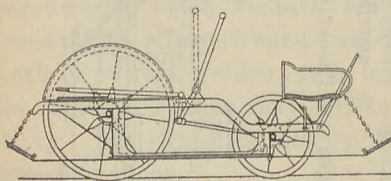


Abb. 33.

in die Schleifen an den Außenseiten des Rahmens
 in einen Bordwagen umgewandelt und dann zur
 Förderung von Kies, Steinschlag u. dgl. benutzt
 werden.

Draisine, zweiachsig, vorne und hinten
 mit Sitzen für Aufsichtsbeamte, in der Mitte mit
 zwei Sitzen für vier paarweise einander gegen-
 über sitzende Arbeiter, die an doppelarmigen He-
 beln angreifen und auf solche Weise mittels Schubstange und Kurbeln die Treibräder

in Drehung versetzen. Eine kräftige Bremse und leichte Bauart sind unerläßlich. Es stehen auch Draisinen mit Balancier und Hebel, mit Kurbel und Zahnrädern, Kurbel und Reibungsscheiben, Hebel und Zahnrädern und mit Kettenübertragung als Bewegungsvorrichtungen im Verkehre. Velocipede erhalten drei Räder (ein Laufrad und zwei Treibräder) oder vier Räder (je zwei Lauf- und Treibräder). (Vgl. auch Abb. 33.)

§ 9. Die Eisenbahnwagen. Fortsetzung: Personen- und Güterwagen für Schmalspurbahnen. Schneepflüge. — Die Größe der Spurweite beeinflußt die Bauart der Wagen unmittelbar und mittelbar. Die geringere Breite schmalspuriger Fahrzeuge verlangt zur Wahrung entsprechender Standsicherheit eine tunlich tiefe Lage des Wagenschwerpunktes, also niedere Räder, leichten Überbau, schweren Unterbau. Die Breite der Wagen hängt von der Umgrenzung des lichten Raumes ab, erscheint auch in Beziehung zu der Standfestigkeit und wird oft durch örtliche Verhältnisse in ihren Größtmaßen gegeben sein. Im Hinblick auf die Umladung der Güter von Vollspurbahnwagen in Wagen schmalspuriger, an Vollbahnen anschließender Bahnen empfiehlt sich zum Zwecke guter Ausnutzung der Schmalspurwagen diesen eine Tragfähigkeit zu geben, welche jener der Vollspurwagen gleich ist oder in einem einfachen Verhältnisse ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$) zu ihr steht, so daß die Ladung eines Vollspurwagens in einem oder in zwei oder drei Schmalspurwagen untergebracht werden kann; andernfalls wird ein zweiter oder dritter oder vierter Schmalspurwagen notwendig sein, aber nur zum Teile ausgenutzt werden.

Mittelbar tritt die Bauart der Wagen in Abhängigkeit von der schmalen Spur durch den Umstand, daß bei solcher Spurweite die Anwendung kleiner Krümmungshalbmesser, also scharfer Bogen zulässig und gebräuchlich ist — denn diese Eigenschaft der schmalen Spur ermöglicht die innige Anschmiegung an das Gelände. Die scharfen Krümmungen nötigen nun aber zu geringer Bemessung des Achsstandes und — da eine solche nicht immer möglich ist und durch zuweit gehende Verminderung der Achsentfernung andererseits auch der ruhige Lauf der Fahrzeuge beeinträchtigt wird — zu ausgedehnter Anwendung von Drehgestellen und Lenkachsen. Es ist selbstverständlich, daß auf die Einteilung der Personenwagenkasten und auf die innere Ausstattung derselben um so mehr Wert gelegt werden muß, je länger die Bahnlinie, je größer also auch die von einem Reisenden durchschnittlich zurückgelegte Wegstrecke ist.

Es genügen einige Beispiele zur Kennzeichnung dieser allgemeinen Grundsätze für den Bau schmalspuriger Fahrzeuge.

Durchgangswagen für 1 m Spurweite mit Quersitzen und abgeschlossenen Endbühnen (Plattformen), mit zwei Abteilen von je 12 Personen Fassungsraum. Achsstand 2700 mm, Wagenlänge zwischen den Pufferscheiben 8600 mm, Breite 2000 mm; Eigengewicht 4500 kg.

Abteilwagen für 0,75 m Spurweite mit 24 Sitzplätzen, 3750 mm Achsstand und freien Lenkachsen; Wagenlänge wie oben 7430 mm, Wagenhöhe über Schiene 3000 mm, Wagenbreite 1800 mm; Eigengewicht 4300 kg; durchgehende Halbbremse. (Abb. 34.)

Durchgangswagen für 0,60 m Spurweite mit Längssitzen, zwei vierräderigen Drehgestellen, 6700 beziehungsweise 1400 mm Achsstand; Wagenlänge 9860 mm, Wagenbreite 1700 mm, Wagenhöhe über Schiene 2588 mm, Eigengewicht 4580 kg. (Abb. 35.)

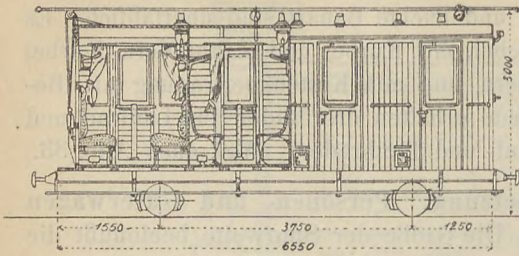


Abb. 34.

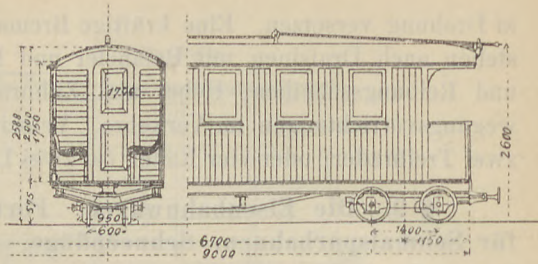


Abb. 35.

Post- und Gepäckwagen für 0,60 m Spurweite, mit 2600 mm Achsenabstand, 5100 mm Länge zwischen den Pufferscheiben und mit Hebelbremse; Eigengewicht 2400 kg.

Offener Güterwagen für 1,00 m Spurweite mit zwei vierräderigen Drehgestellen; Achsenstand 6000 mm, Kastenlänge 9200 mm, Kastenbreite 2500 mm; Eigengewicht mit Bremse 6200 kg, Ladegewicht 10000 kg (Abb. 36).

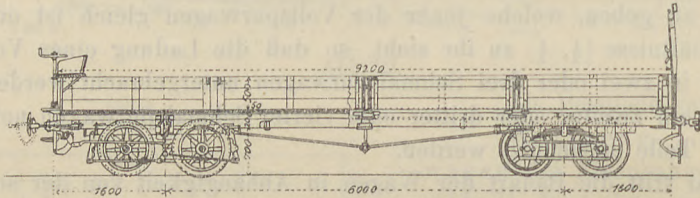


Abb. 36.

Offener Güterwagen für 0,75 m Spurweite mit freien Lenkachsen und mit aufschlagbaren Klapptüren in den Seitenwänden. Bodenfläche 9 qm, Ladegewicht 6500 kg, Eigengewicht ohne Bremse 2320, mit Bremse 2630 kg; Achsenabstand 3500 mm.

Offener Güterwagen für 0,60 m Spurweite, mit zwei freien Lenkachsen; Kastenlänge 4000 mm, Kastenbreite 1640 mm, Ladegewicht 5000 kg; Achsenabstand 2300 mm; Eigengewicht mit Bremse 1800 kg, ohne Bremse 1670 kg.

Bedeckter Güterwagen für 1,00 m Spurweite mit freien Lenkachsen im Abstand von 2300 mm; Ladegewicht 7500 kg, Eigengewicht mit Bremse 4200 kg, ohne Bremse 3800 kg; äußere Kastenlänge 5300 mm, lichte Breite 2300 mm, lichte Höhe 2125 mm.

Bedeckter Güterwagen für 0,76 m Spurweite; Oberkasten mit 9700 mm äußerer Länge, 2200 mm lichter Breite, 2250 mm mittlerer lichter Höhe und 1900 mm Türweite, so daß der Wagen für alle Verkehrsarten sich eignet und auch auf den bosnisch-herzegowinischen Staatsbahnen in dieser Beziehung Verwendung findet. Tragfähigkeit 15000 kg.

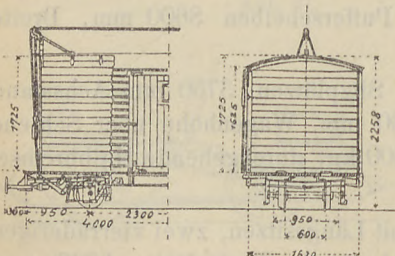


Abb. 37.

Bedeckter Güterwagen für 0,60 m Spurweite, Bauart wie beim Wagen für 1,00 m Spur; Ladegewicht 5000 kg, Eigengewicht mit Bremse 2000 kg, ohne Bremse 1870 kg (Abb. 37).

Noch muß eines wichtigen Betriebsmittels Erwähnung getan werden, nämlich des Schneepfluges, der in verschiedenartiger,

den jeweiligen Verhältnissen angepaßter Ausführung für die Schneebeseitigung auf freier Strecke, in beschränktem Maße auch zur Freimachung der Hauptgleise in den Bahnhöfen zur Anwendung gelangt.

Die Hand- und Pferdeschneepflüge kommen hier nicht in Betracht; auch die viel und mit Erfolg benützten Schneepflugbleche (Pflugscharen), sowie die kleinen leichten Lokomotivschneepflüge, welche an den Kopfstücken der Lokomotiven zu befestigen sind, brauchen hier nur erwähnt zu werden; sie bilden keine eigentlichen Fahrbetriebsmittel; dagegen erscheinen als solche die großen »Wagenschneepflüge«, die zur Beseitigung bedeutender Schneemassen, namentlich der für den Verkehr sehr hinderlichen Schneewehen dienen. Auf einem zwei- oder mehrachsigen Wagengestell, das mit 6 bis 10 t Gewicht durch Eisen oder Steine entsprechend belastet wird, um das Aufsteigen des Pfluges in der festen Schneemasse zu verhindern, sind die eisernen Pflugscharen befestigt, die so geformt sein müssen, daß sie scharf in den Schnee eindringen, ihn durchschneiden, auf ihren Wandungen emporheben, dann trennen und seitwärts schieben und ihn endlich zusammenpressen und festlegen, so daß er nicht hinter dem Pfluge zusammenstürzt und das Gleis wieder zuschüttet. Die Grundform dieser Schneepflüge muß daher symmetrisch keilförmig sein; an die scharfe Schneide, die den Schnee spaltet, müssen sich windschiefe oder gewundene Flächen anschließen, auf denen der Schnee allmählich gehoben und emporgeschoben wird und hierbei durch seine Masse gegen die Entgleisung des Pfluges wirkt. In entsprechender Höhe trennt ein senkrecht stehender Spitzkeil den gehobenen Schnee, der dann durch schwach gebogene Seitenbleche seitwärts geschoben und durch den in sanfte Wölbungen auslaufenden Spitzkeil abgestützt wird. Sanfte Übergangsformen sind Voraussetzung für eine sichere Wirkung des Schneepfluges.

Der Achsstand der Schneepflüge muß tunlich gering gewählt werden; bei mehr als zwei Achsen sind Drehgestelle gebräuchlich; das Federspiel der Vorderachslager ist gewöhnlich sehr klein oder überhaupt vollständig beseitigt. Als Beispiel eines sehr zweckmäßig gebauten Schneepfluges sei jener der dänischen Staatsbahnen erwähnt (Abb. 38). Das Pflugblech ist 3 m breit, über den Schienen mit Eishobeln versehen, die 50 mm

über Schienenoberkante stehen, während es selbst bis 100 mm über Schienenoberkante herabreicht. Der Pflug ist oben geschlossen und hat ein in der Mitte gesenktes Dach, das an der hinteren höchsten Stelle 2,80 m hoch ist und nach vorne auf 2,66 m abfällt, so daß dem Lokomotiv-

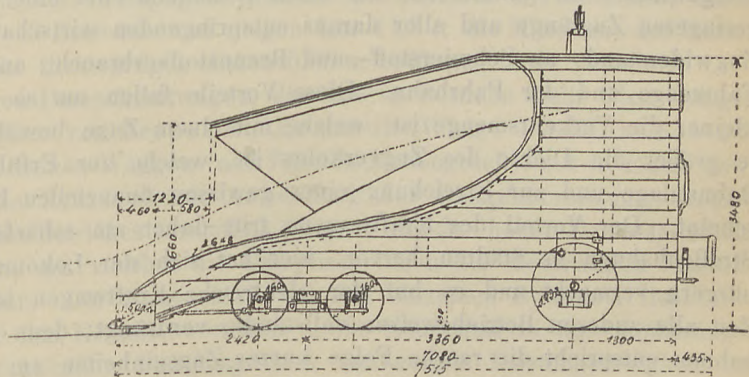


Abb. 38.

führer freie Aussicht gewährt ist. Der vordere Schemel ist nicht drehbar; die Räder desselben haben 760 mm Durchmesser und 1200 mm Mittelpunktabstand; zwei starke, zwischen Gestell und Schemel angeordnete Federn verhindern ein zu tiefes Herab-

drücken des Pflugbleches durch den Schnee. Der Pflug wiegt 9,5 t, wovon 4,15 t auf das Vordergestell und 5,35 t auf die Hinterachse entfallen; er durchbricht Schneewehen bis zu 1,5 m Höhe und kann auch von zwei Lokomotiven geschoben werden.

Für eingleisige Bahnen und zur Freimachung der Bahnhöfe empfehlen sich die Schneepflüge nach Bauart Marin, die von den Lokomotiven nicht geschoben, sondern gezogen werden; ihre Schneescharen sind verstellbar und reichen bis unter die Schienenoberkante; an den Seiten tragen sie ebenfalls verstellbare Eisenflügel, so daß die Gleise bis zu 5,5 m Breite von Schnee gesäubert werden können.

Für die Beseitigung ungewöhnlich gewaltiger Schneemassen, namentlich bei sehr heftigen Stürmen, ist die Anwendung der Schneeräumungsmaschinen, die den Schnee abschneiden und entsprechend weit vom Bahnkörper in der Richtung des Sturmes wegschleudern, von großem Vorteile.

Auf einigen europäischen Bahnen hat sich die »Görlitzer Dampfkreiselschneeschaufel« bewährt. Der Schaufelwagen dieses Schneeräumers enthält eine zylindrische Trommel, die sich nach vorn trapezförmig erweitert und am Boden mit einer bis zur Schienenoberkante hinabreichenden, leicht hebbaren Bodenklappe, an den Seiten mit zwei ausladenden Seitenklappen versehen ist. Durch diese keilartig wirkenden Klappen wird der durch einen eisernen Vorschneider bereits gelockerte Schnee dem großen, nahezu 3 m hohen Schaufelrade zugeführt, das zwölf kräftige Schaufeln besitzt, in der Trommel sich bewegt und durch eine mit dem Antriebsdampfe der schiebenden Lokomotive gespeiste Maschine in rasche Umdrehung versetzt wird. Die Schaufeln schälen den Schnee ab und schleudern ihn durch eine im Gehäuseumfange angebrachte, nach rechts oder links verstellbare Öffnung ins Freie. Die »Görlitzer Dampfkreiselschneeschaufel« wiegt 45 t und entfernt in der Sekunde durchschnittlich 4 cbm Schnee, den sie je nach der Auswurfsstellung 20 bis 35 m hoch und 70 bis 75 m weit schleudert.

§ 10. Kraftwagen für Bahnbetrieb (Motorwagen, Selbstläufer). — Die Vereinigung des Motors, des Führerraumes und des Nutzraumes, d. i. des Raumes für Reisende oder Güter, in einem einzigen Fahrzeuge, dem Kraftwagen, bietet gegenüber der Zugbildung aus Dampflokomotive und Wagen die Vorteile des geringeren Zuggewichtes im ganzen und für einen Reisenden oder eine Tonne Gut, ferner der geringeren Zuglänge und aller daraus entspringenden wirtschaftlichen Ersparnisse an Zugwiderstand, an Schmierstoff- und Brennstoffverbrauch, an Erhaltungskosten der Fahrzeuge und der Fahrbahn. Diese Vorteile fallen um so mehr ins Gewicht, je kleiner die Verkehrsmenge ist, welche mit einem Zuge bewältigt werden soll, und je größer die Dichte des Zugverkehrs ist, welche zur Erfüllung der Aufgabe der Bahnanlage und zur Erreichung eines gewissen finanziellen Effektes notwendig erscheint. Der Vorteil des Kraftwagens tritt daher am schärfsten beim Betriebe der Straßenbahnen in Städten hervor; hier hat sich der Lokomotivzug niemals einzubürgern vermocht und es hat der elektrische Kraftwagen in überraschend kurzer Zeit alle anderen Betriebsweisen vollständig verdrängt; denn gerade auf den Stadtbahnen entspricht die rasche Folge kurzer Zugseinheiten am besten dem Verkehrsbedürfnisse; so hat auch der elektrische Kraftwagen den Bahnverkehr innerhalb der Städte ungemein belebt, und den Unternehmungen dieser Art auch eine sichere finanzielle Grundlage geschaffen.

Die in jeder Beziehung wenig günstigen, ja mitunter geradezu ungünstigen Betriebsergebnisse von Lokal- und Kleinbahnen entspringen vielfach der gebräuch-

lichen, unzweckmäßigen und unwirtschaftlichen Betriebsweise, welche jener verkehrsreicher Linien nachgebildet und auf dem Grundsatz des Verkehrs großer Zugseinheiten in längeren Zeiträumen aufgebaut ist, wobei fast ausnahmslos der Personenverkehr mit dem Güterverkehr vereinigt und mithin der erstere in ganz unzulässiger, dem Geiste des Eisenbahnwesens widersprechender Weise verlangsamt wird. Die weitere Erörterung dieser Frage ist Gegenstand des Abschnittes über Linienführung; sie gehört nicht in dieses Kapitel, das die Fahrbetriebsmittel nur insoweit behandelt, als deren Bauart die Gleiskonstruktion zu beeinflussen vermag. In dieser Beziehung ist nun folgendes zu bemerken: Zum Betriebe der Kraftwagen finden Dampfmaschinen, Preßluftmaschinen, Gaskraftmaschinen und elektrische Maschinen Anwendung.

Von den Dampfmotorwagen erscheint der Dampfwagen Rowan's als typischer Vertreter der älteren, aber noch immer lebensfähigen Bauarten (Abb. 39); er besteht

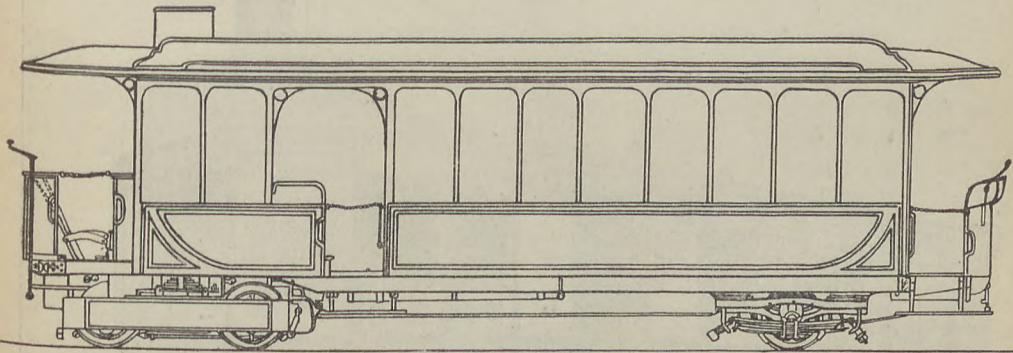


Abb. 39.

aus zwei Teilen, einem Plattformwagen, der auf zwei gekuppelten Achsen ruht und den Motor samt Kessel trägt, sodann dem Wagenkasten, dessen Unterteil hinten auf einer Lenkachse lagert, während er selbst seine Stütze auf dem Motorgestell findet; letzteres kann aus seiner Verbindung mit dem Wagen ausgelöst werden, indem man den Wagenkasten durch Schraubenwinden an seinem vorderen Ende etwas emporhebt. Die Rowanwagen der »Compagnie générale des omnibus à Paris« sind 9,3 m lang, 2 m breit, fassen 43 Reisende und wiegen leer 11,5 t; die Mittellinie des Motordrehgestelles ist von der rückwärtigen Achse 5,68 m entfernt.

Neue Systeme von Dampfkraftwagen, die sich im Betriebe mehr oder weniger bewährt haben, sind jene von Serpollet, Komarek (Wien), De Dion-Bouton, Ganz & Co., der ungarischen Waggon- und Fabriks-Aktiengesellschaft in Raab usw. Bemerkenswert sind die fortschreitende Anwendung der Dampfüberhitzung, welche die Wirtschaftlichkeit des Betriebes wesentlich steigert, und der hohen Dampfspannung bis zu 18 Atmosphären, mit welcher die Dampfmaschinen der Motorwagen fast allgemein betrieben werden. Der Unterschied bei den einzelnen Systemen liegt vornehmlich in der Bauart des Kessels, von dem große Elastizität in der Anpassungsfähigkeit an die schwankenden Betriebsgrößen, andauernde Leistungsfähigkeit bei geringen Ausmaßen, einfache und billige Erhaltung verlangt wird, und in der Ausführung der Maschine, die trotz sehr beschränkter Dimensionen im einzelnen und ganzen wenig ausbesserungsbedürftig sein soll. Als Beispiel für die Konstruktion der Dampfkraftwagen im allgemeinen und namentlich des Trieb- und Laufwerkes, das hier zunächst interessiert, sei der von der Maschinenfabrik F. X. Komarek in

Wien gebaute, auf mehreren Bahnen mit Erfolg angewandte Kraftwagen erwähnt. Der für Vollspur und gemischte Feuerung (Kohlen- und Petroleumheizung) gebaute Wagen (Abb. 40)¹⁾ hat eine Treibachse, die von der Verbundmaschine unmittelbar angetrieben wird, und eine ungekuppelte Achse, die als Vereinslenkachse (vgl. § 11) ausgebildet ist. Der Radstand beträgt 5,5 m, der Schienendruck der Treibachse 14,3 t, der der Lenkachse 13,3 t bei dienstfähigem und vollbesetztem Wagen. Das Gewicht des leeren Wagens ist 21,6 t. Die Maschine leistet effektiv 100 PS bei einem Dampfdrucke von 13 atm. Der Kessel hat 25,6 qm Heizfläche (davon 3 qm Überhitzfläche), 0,52 qm Rostfläche, ist am Vorderteil des Wagens untergebracht und stellt eine Verbindung eines Röhren- und eines Büchsenkessels dar; seine Speisung

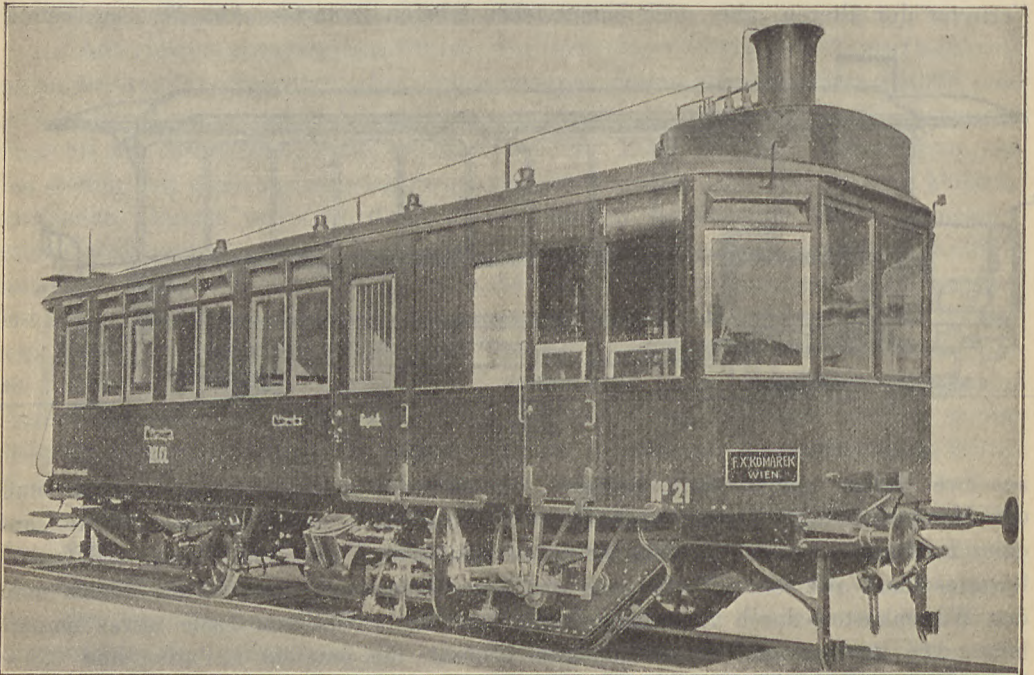


Abb. 40.

erfolgt mittels Injektoren. Der Hochdruckzylinder hat 250 mm, der Niederdruckzylinder 390 mm Durchmesser; der Kolbenhub ist 400 mm, der Treibraddurchmesser 990 mm. Der Wasserkasten faßt 1700 l, der Kohlenkasten 500 kg, der Petroleumbehälter 500 l. An Bremsen sind zwei Spindelbremsen und die selbsttätige Luftsaugbremse vorhanden. Der Wagenkasten ist in einen Gepäckraum und in zwei Abteile mit zusammen 35 Sitzplätzen geteilt; Steuerung, Vakuumbremse und Dampfpfeife sind auch von der rückwärtigen Plattform aus zu bedienen. Abb. 41 zeigt den nach gleichen Grundsätzen gebauten Komarekwagen für Schmalspur.

Ein schmalspuriger Komarekwagen läuft auf den Linien Kerkerbach-Hintermeilingen und Kerkerbach-Dehrn (Hessen-Nassau). Der für 1 m Spurweite gebaute

¹⁾ Karl Spitzer, Neuere Mitteilungen über den Bau und Betrieb von Motorwagen für Eisenbahnen. »Mittel. d. Ver. f. d. Förder. d. Lokal- u. Straßenbahnwesens« 1906.

Wagen hat eine Länge von 16,04 m und ist mit zwei vierräderigen Drehgestellen ausgerüstet; die Drehzapfenentfernung beträgt 10,985 m; das vordere Drehgestell mit 2,25 m Radstand trägt den Kessel und den Motor, das rückwärtige mit 1,35 m Radstand stützt den durch ein Sprengwerk abgesteiften Wagenkasten. Die beiden Wagenteile können leicht voneinander getrennt werden. Die vordere Achse des Kessel- und Motordrehgestelles ist die Treibachse, sie wird von einer Verbundmaschine von 75 PS Leistung angetrieben. Die Dampfspannung beträgt 14 atm.;

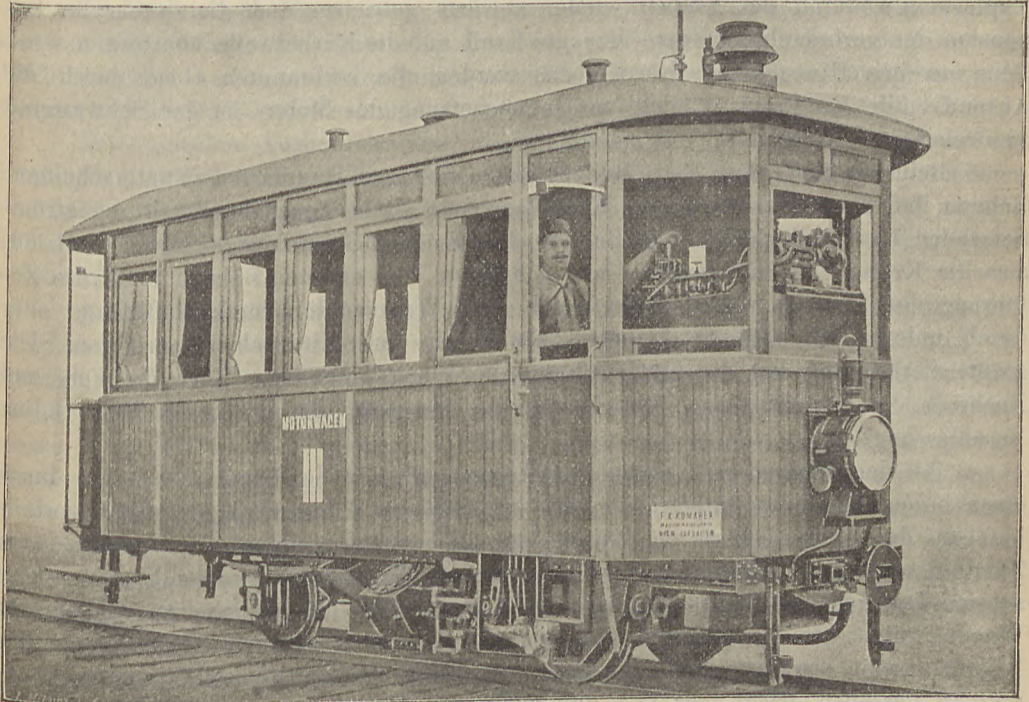


Abb. 41.

die wasserberührte Heizfläche mißt 20 qm, die Überhitzfläche 3 qm, die Rostfläche 0,65 qm. Der Achsdruck erreicht bei voller Ausrüstung und Besetzung 7 bzw. 6 t. Neben dem Motorführerraum sind ein Gepäckraum, ein Postraum, ein Abteil II. Klasse mit 8 Sitzplätzen, zwei Abteile III. Klasse mit zusammen 25 Sitzplätzen und ein Abort. Das Ein- und Aussteigen der Passagiere kann auch von der Wagenmitte aus erfolgen. Der Wagen hat zwei Kettenbremsen und wiegt leer 20 t.

Neben den Dampfswagen sind es vor allem die Benzinkraftwagen, die in der Technik des Kleinbahnbetriebes Eingang gefunden haben und auf dem Standpunkte fortschreitender Entwicklung stehen. Uuter ihnen ist es der Kraftwagen von Daimler, der bei den württembergischen Staatsbahnen, bei den schweizerischen Bundesbahnen und auf österreichischen Bahnen in Verwendung steht. Der Daimlerwagen Württembergs hat 54 Plätze III. Klasse und wiegt leer 13,15 t, also im Durchschnitt 243 kg für einen Reisenden. Der Motor leistet 30 PS und betätigt die Treibachse durch eine Reibungskuppelung, ein wechselbares Rädervorgelege, das die Treibachse durch eine Reibungskuppelung, ein wechselbares Rädervorgelege, das vier verschiedene Fahrgeschwindigkeiten (8, 14, 22 und 37 km/St) gestattet, und

ein Wendegetriebe für den Wechsel der Fahrriichtung. Der Vorrat an Benzin ist 120 kg, jener an Wasser 200 kg. Das Benzin wird in eigenen Behältern mitgeführt, aus denen es dem Vergasapparate unter geringem Drucke zuströmt; in diesem Apparate vollzieht sich die Bildung des zum Betriebe dienenden Gasgemisches selbsttätig. Der weitere Vorgang spielt sich nach dem Grundsatz der Viertaktmaschine ab, indem das brennbare Gemisch durch das erste Herabgehen des Kolbens angesaugt und durch das erste Hinaufgehen verdichtet wird; beim höchsten Kolbenstande bringt ein von außen glühend gehaltenes Zündhütchen das brennbare Gemisch zur Explosion, wodurch der Kolben wieder abwärts getrieben und die durch die Expansion der verbrennbaren Gase erzeugte Kraft auf die Kurbelwelle übertragen wird. Beim zweiten Hinaufgehen des Kolbens werden die verbrannten Gase durch die Auspuffventile ins Freie geleitet; zur Inangsetzung des Motors ist das Schwungrad zu drehen.

Beim elektrischen Betriebe der Bahnen sind zwei Hauptarten zu unterscheiden: Bahnen, bei denen der Motor des Kraftwagens in steter Verbindung mit der stromliefernden Kraftstelle bleibt, und Bahnen, bei denen der Kraftwagen die Elektrizität, also die Kraftquelle, in Sammlern mit sich führt. Bei ersteren Bahnen kann die Zuführung des Stromes von der Kraftstelle zum Wagenmotor durch Luftleitung oder durch unterirdisch verlegte Leitung oder durch eine Mittelschiene erfolgen. Die größte Verbreitung hat die ersterwähnte Anordnung gefunden. Über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Betriebsarten zu sprechen, ist an dieser Stelle keine Veranlassung.

Bei den neueren elektrischen Kraftwagen wird in der Regel jede Achse durch einen besonderen Motor angetrieben, der bei größeren Fahrgeschwindigkeiten vorteilhaft auf der Achse selbst angebracht ist; andernfalls ist eine Übersetzung durch Zahnrad oder Kette notwendig. Bei sehr langen Wagenkasten kommen auch zweiachsige Drehgestelle zur Ausführung. Im übrigen zeigt die bauliche Anordnung der Wagen keine bemerkenswerten Unterschiede gegenüber anderen Kraftwagen. Als Beispiele seien erwähnt: der Kraftwagen der Linie Meckenbeuren-Tettngang; er faßt 48 Personen, wiegt leer 14 t und trägt zwei Motoren von je 25 Pferdestärken; der Kraftwagen der Lokalbahn Tabor-Bechyň (Böhmen), die mit Gleichstrom von 1400 Volt Spannung betrieben wird, hat 40 Sitzplätze und ein Abteil von 3,3 qm Fläche für Post und Eilgut; er ruht auf vier Achsen, deren jede mit einem Motor von 30 PS ausgerüstet ist, und wiegt dienstbereit 18,25 t; seine größte Fahrgeschwindigkeit ist mit 30 km/St festgesetzt.

Die Generaldirektion der kgl. württembergischen Staatsbahnen hat im Jahre 1897 auf der Linie Stuttgart-Plochingen einen Speichervagen (Sammler-, Akkumulatorwagen) in Verkehr gestellt — einen gewöhnlichen Personenwagen mit 48 Sitzplätzen und zwei Drehgestellen, von denen das eine mit zwei elektrischen Motoren von je 35 PS ausgerüstet ist. Der Wagen wiegt leer, ohne Batterie 20,87 t; die Batterie allein 5,8 t; sie ist in zwei Reihen geschaltet und wird mit einer Spannung von 240 Volt geladen.

Als Beispiel für den Betrieb mit elektrischen Lokomotiven sei auf die 40 km lange Bahn Burgdorf-Thun (Schweiz) verwiesen; hier dienen die Lokomotiven, welche von zwei Drehstrommotoren von je 150 PS bewegt werden, zur Förderung der Güterzüge und schwereren Personenzüge; sie können mit Geschwindigkeiten von 18 und 36 km verkehren. Für den Personenverkehr im allgemeinen stehen Kraftwagen in Verwendung; sie sind 16,3 m lang, fassen 80 Personen und wiegen 32 t; sie

ruhen auf je zwei vierräderigen Drehgestellen; jede der vier Achsen treibt ein Drehstrommotor von 60 PS mittels Zahnradvorgelege. Die Kraftversorgung erfolgt aus einem Elektrizitätswerk an der Kander; der Strom wird mit einer Spannung von 16000 Volt in zwei Leitersystemen zur Bahn geführt, der er in einem Abstände von 20 m vom Schienenstrange folgt. Die Arbeitsleitungen bestehen aus zwei Luftdrahtleitungen und einer Schienenleitung; der Arbeitsstrom, der in den Luftleitungen fließt, hat eine Spannung von 750 Volt, auf welche Höhe der Speisestrom in 14 Stromwandlern herabgemindert wird.

Der elektrische Motor ist — im Gegensatze zum Dampfmotor — ein rotierender; es entfällt also die Umsetzung der hin- und hergehenden Bewegung in eine Drehbewegung, und es entfallen mithin auch alle jene Eigenbewegungen der Maschine, welche aus dieser Tätigkeit derselben entstehen.

Wie aus dem Vorhergehenden erhellt, können die Kraftwagen, welches auch immer ihre Antriebskraft sei, bezüglich ihrer Wirkung auf das Gleis im allgemeinen den Lokomotiven gleichgestellt werden; es wäre nur zu berücksichtigen, daß es sich bei ihnen zumeist nur um Einzeltriebachsen handelt, da Kuppelachsen sehr selten vorkommen.

§ 11. Lenkachsen. — Der ruhige Lauf der Wagen hängt — worauf schon hingewiesen wurde — wesentlich von der Größe des Achsstandes ab; nach den Bestimmungen des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« darf der Abstand festgelegter Achsen bei Gleishalbmessern von 180 m nicht größer als 4,5 m, bei Halbmessern von 400 m nicht größer als 7,2 m sein. Der Eisenbahnbetrieb kann sich mit so kleinen Achsständen nicht begnügen; wir haben an verschiedenen Beispielen gesehen, daß weitaus größere Längenmaße für die Untergestelle bestimmter Wagen in Anwendung kommen müssen, die naturgemäß größere Entfernung der Achsen erfordern. Dieser betriebstechnischen Notwendigkeit kann der Konstrukteur durch die Anordnung von Drehgestellen oder von Lenkachsen gerecht werden. Auf den Grundgedanken der Drehgestelle wurde schon weiter oben hingewiesen; auch die allgemeine Bauart derselben ist bereits kurz besprochen worden (S. 79).

Als Lenkachsen bezeichnet man jene Wagenachsen, die sich in den Krümmungen des Gleises in die Richtung des Bogenhalbmessers einstellen und mithin bei dem Laufe durch den Bogen geringerem Widerstande begegnen als bei fester Lagerung. Die Einstellung bedingt eine Verschiebung der Radmittelpunkte in der Längsrichtung des Fahrzeuges; diese Verschiebung kann entweder nur auf einer Seite des Wagens stattfinden, wobei der Berührungspunkt des anderseitigen Rades mit der Schiene als Drehpunkt wirkt, oder sie findet — und dies ist die gebräuchliche Anordnung — auf beiden Seiten des Wagens statt, indem sich die Wagenachse mit beiden Rädern um eine durch ihren Schwerpunkt gehende lotrechte Achse dreht. Die Verschiebbarkeit der Endachsen in der Gleisrichtung soll $2,5a$ mm, höchstens aber 35 mm sein, wenn a den Achsstand in Metern bezeichnet. Bei einigen Bauarten verschieben sich die Achsbüchsen in den Achshaltern um das entsprechende Maß, bei anderen sind Achsbüchsen und Achshalter an beweglichen Gestellen befestigt und verschieben sich gemeinsam. Wird die Einstellung der Achse in den Halbmesser nur durch die gegenseitige Einwirkung von Spurkranz und Schiene und durch den Einfluß der Kegelform der Radreifen bewirkt, so spricht man von freien Lenkachsen, wenn jede Achse unabhängig von der anderen sich einstellen kann — oder von gekuppelten Lenkachsen, wenn die Achsen des Fahrzeuges in einer

großer Geschwindigkeit nicht genügend verhindert wird, so daß man häufig bei freien Lenkachsen und bei verhältnismäßig großer Wagenlänge eine größere Mittelstellkraft zulassen muß.

In solchen Fällen sind gekuppelte oder bei dreiachsigen Fahrzeugen zwangsläufig einstellbare Lenkachsen zu empfehlen. Anordnungen der ersteren und letzteren Art zeigen die Abb. 46 und 47. In Abb. 46 bewirken zwei auf gemeinsamer Welle

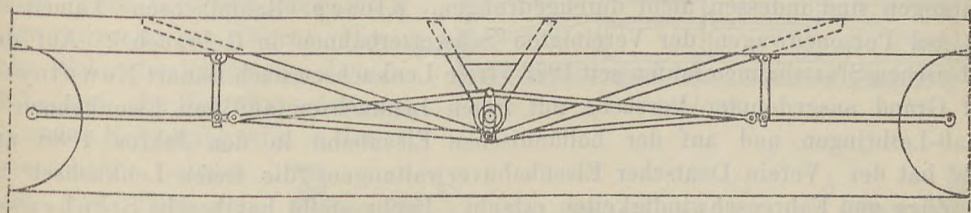


Abb. 46.

befestigte zweiarmige Hebel und die an den Achsbüchsen angreifenden Lenkstangen die gleichzeitige Einstellung der beiden Achsen; in Abb. 47 befindet sich die Mittelachse in einem besonderen, seitlich verschiebbaren Gestelle gelagert, welches die Lager der Endachsen durch Winkelhebel und Stangen entsprechend bewegt; bezeichnet b den Abstand der Achsbüchsen einer Achse, a den Achsstand, s die seitliche Verschiebung der Mittelachse, s_1 die Längenschiebung jeder Endachsbüchse, so muß das Verhältnis bestehen:

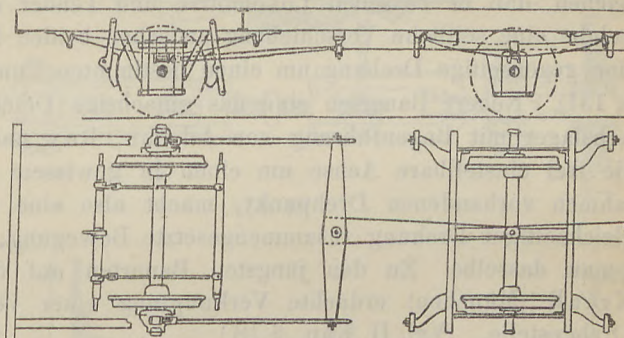


Abb. 47.

$$s : s_1 = \frac{a}{2} : b,$$

woraus die Hebelverhältnisse ermittelt werden können. Bei diesen Achsen sind pendelnde Federgehänge nicht erforderlich.

Im Hinblick auf die große Gefahr, welche in der Anwendung von theoretisch und praktisch unzweckmäßig konstruierten Lenkachsen liegt, werden vom technischen Ausschusse des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« die verschiedenen Konstruktionen sehr eingehend geprüft und nur jene Bauarten, welche allen Bedingungen vollkommen entsprechen, zur Anwendung im Vereinsgebiete zugelassen; sie erhalten die Bezeichnung »Vereinslenkachsen«. Jeder Wagen, der eine solche Konstruktion besitzt, ist auf beiden Längsseiten mit der Aufschrift »Vereinslenkachsen« zu versehen. Bis zum Jahre 1895 unterschied man Vereinslenkachsen A und B; die ersteren durften in allen Zügen verkehren, die letzteren nur in Zügen mit höchstens 55 km Fahrgeschwindigkeit in der Stunde; nachdem auch die Lenkachsen der Gruppe B bei größeren Geschwindigkeiten sich bewährten, ist diese Einteilung aufgehoben worden.

Über den Einfluß der Lenkachsen und Drehgestelle auf den Lauf der Fahrzeuge in Bögen wird später ausführlich gesprochen werden. Zur Geschichte der

Drehgestelle und Lenkachsen, wie überhaupt aller jener konstruktiven Mittel, welche auf die Verminderung der Abnutzung von Spurkränzen und Schienen in Bahnkrümmungen hinwirken sollen, sei folgendes mitgeteilt.

Der Versuch, Wagenachsen so einzurichten, daß sie sich nach dem Mittelpunkte der Bahnkrümmungen einstellen, scheint bereits 1827 bei den vierräderigen Wagen der Linz-Budweiser Pferdebahn gemacht worden zu sein. Alle älteren Einrichtungen sind indessen nicht durchgedrungen. Klose's »Radialachsen« kamen zuerst bei Personenwagen der Vereinigten Schweizerbahnen in Gebrauch¹⁾. Auf den sächsischen Staatsbahnen laufen seit 1873 »freie Lenkachsen nach Bauart Nowotny«²⁾. Auf Grund ausgedehnter Versuche mit freien Lenkachsen auf den Eisenbahnen in Elsaß-Lothringen und auf der holländischen Eisenbahn in den Jahren 1888 und 1889 hat der »Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen« die freien Lenkachsen für alle Züge und Fahrgeschwindigkeiten erlaubt. Drehgestelle hat bereits Stephenson an seinen Lokomotiven im Jahre 1825 angebracht, William Norris hat diese Bauweise in Amerika weiter entwickelt (vgl. I. Kap. § 8, S. 26). Engerth suchte bei seiner Konstruktion auf Grund der Ergebnisse der Wettfahrten auf der Semmeringbahn (vgl. I. Kap. § 9, S. 32) die Lokomotive dadurch zu einem guten Bogenläufer zu machen, daß er zwischen Lokomotive und Tender eine feste Kuppelung herstellte, welche eine seitliche Verschiebung zwischen beiden Fahrzeugen ausschließt und nur eine gegenseitige Drehung um einen bestimmten Punkt gestattet (vgl. II. Kap. § 18, S. 131). Neuere Bauarten sind das einachsige Deichselgestell von Bissel und die Achslager mit Bogenführung von Adams, Roy und Webb; bei ersterer schwingt die frei einstellbare Achse um einen in gewissem Abstände hinter ihr am Hauptrahmen vorhandenen Drehpunkt, macht also eine aus seitlicher Verschiebung und gleichzeitiger Drehung zusammengesetzte Bewegung; die letzteren sind kinematisch genau dasselbe. Zu den jüngsten Bauarten auf diesem Gebiete gehört die von Krauß (München) erdachte Verknüpfung einer verschiebbaren Achse mit einem Drehgestelle. (Vgl. II. Kap. § 18.)

§ 12. Zug- und Stoßvorrichtungen. — Die von der Lokomotive oder dem Kraftwagen ausgeübte Zugkraft wird durch die Kuppelung auf die Zugstange übertragen, welche bei der hierdurch bewirkten Längenverschiebung das Untergestell des Wagens mitnimmt. Zur Übertragung von Druckkräften von einem Fahrzeuge auf das andere sind die Puffer angeordnet, die als Stoßvorrichtungen dienen. Da beim Zug wie beim Druck Stöße vorkommen, müssen Puffer und Zugstange mit Federn versehen sein.

Bei der auf den Hauptbahnen Europas derzeit noch allgemein gebräuchlichen Anordnung geht die mit der Kuppelungsvorrichtung versehene Zugstange in der Längsachse des Wagens durch und sind zu beiden Seiten derselben symmetrisch die Puffer angeordnet. Die Zugstange stützt sich mit der auf ihr angebrachten Zugfeder gegen Querbalken des Untergestells in der Art, daß sie mit 60 mm Hub den eigenen Wagen mitnimmt (Abb. 48). An den Enden der Zugstange befinden sich die Kuppelungen. Jede Kuppelung (Abb. 49) besteht aus dem Zughaken, in dem mittels eines Bolzens eine Schere befestigt ist; diese wird von einer Schraubenmutter abgeschlossen, in welcher die mit Rechts- und Linksgewinde versehene Schrauben-

¹⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1874.

²⁾ Ebenda 1883, S. 10.

spindel eingreift; zum Drehen der Spindel dient ein Hebel; das andere Ende der Spindel umgreift mit einer Mutter einen Bügel, der in den Zughaken des gegenüberstehenden Wagens eingehängt wird. An dem Bolzen ist auch ein Scherenhaken mit einem Bügel befestigt. Diese verschiedenen Teile befinden sich an jeder Stirnseite des Wagens. Die linke Schraubenkuppelung dient als Normal- oder Hauptkuppelung; die rechte Kuppelung wird in den Scherenhaken eingehängt und dient als Sicherheitskuppelung.

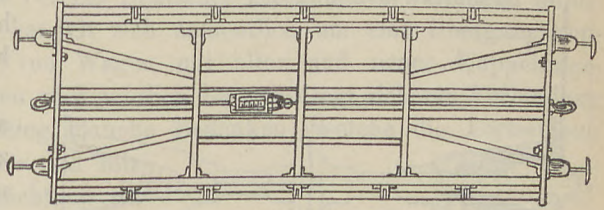


Abb. 48.

Wird eine Kuppelung oder werden beide Kuppelungen schadhaf, so wird der Bügel des einen Scherenhakens in den Haken der anderen Schere eingehängt. Die Kuppelung genügt für eine Zugkraft von 12000kg.

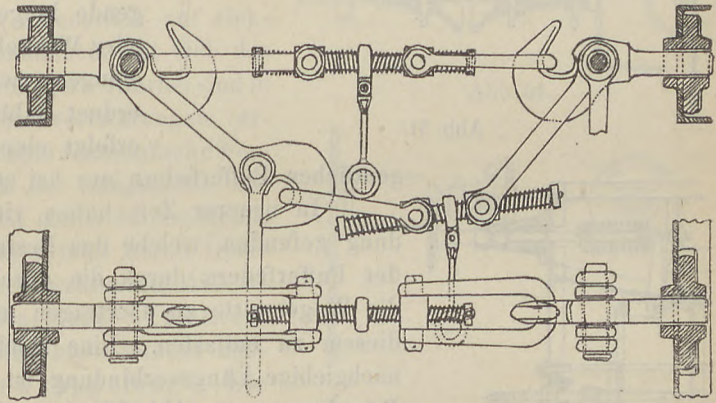


Abb. 49.

Einfache Gliederketten mit Haken an Stelle der Schraubenkuppelung kommen zumeist nur an Arbeitswagen vor, in England vereinzelt an Güterwagen. Auch dienten sie lange Zeit als Notkuppelung (Sicherheitskuppelung) neben der Hauptkuppelung, haben sich aber als solche nicht bewährt.

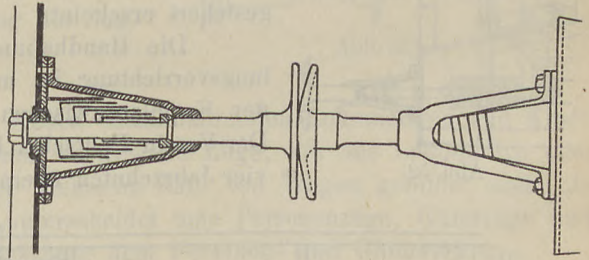


Abb. 50.

Die Puffer (Abb. 50) bestehen aus der Pufferstange, welche am freien Ende die Stoßplatte trägt und mittels einer Scheibe auf eine kräftige, aus Stahl hergestellte Kegelfeder einwirkt; letztere befindet sich in der schmiedeeisernen Pufferhülse, die an den Kopfbalken angeschraubt ist. Die Stoßfläche des einen Puffers muß eben, jene des anderen gewölbt sein, so daß einem gewölbten Puffer stets ein flacher gegenübersteht, damit bei starkem Drucke keine quer zur Längsachse wirkenden Kräfte auftreten können und die Einstellung in den Krümmungen nicht beeinträchtigt wird (Abb. 51). Nach den Bestimmungen des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« müssen die Puffer von Mitte zu Mitte 1,750 m entfernt sein, wobei Abweichungen bis zu 10 mm zulässig sind; die Höhe des Puffermittelpunktes über den Schienen ist normal 1040 mm; sie darf bei leeren Fahrzeugen um 25 mm mehr, bei vollbeladenen um 100 mm weniger betragen; die niedrigste Lage über Schienenhöhe ist demnach 940 mm. Der

Höhenunterschied der Puffermitten zweier aneinander stoßender Fahrzeuge soll 100 mm nicht überschreiten, damit bei einem Stoße auf die beiden Wagen lotrecht wirkende

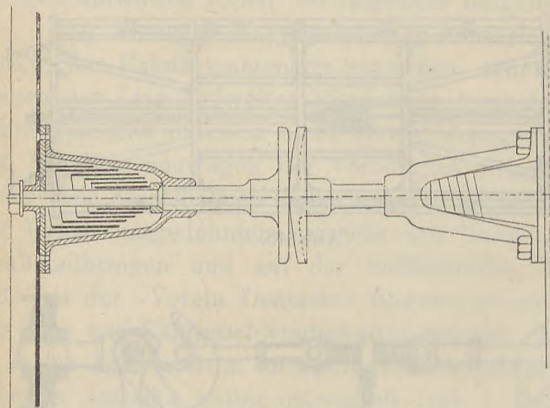


Abb. 51.

Kräfte, die leicht eine Hebung des höherliegenden Punktes hervorrufen könnten, nicht auftreten.

Um den Druck beider Puffer auszugleichen und hierdurch eine zwanglosere Einstellung in Krümmungen zu erreichen, werden die Enden der Pufferstangen unter dem Wagen häufig auch durch querliegende lange Blattfedern verbunden, oder Winkelhebel und Verbindungsstangen zwischen denselben angeordnet (Abb. 52); in diesem Falle erfolgt eine Beanspruchung der eigentlichen Pufferfedern nur bei starker Pressung.

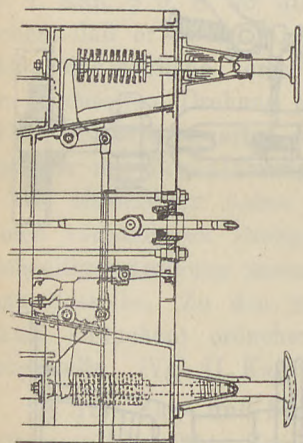


Abb. 52.

In neuerer Zeit haben vielfach Bauarten Anwendung gefunden, welche das Bestreben zeigen, den Druck der Pufferfedern durch die durchgehende Zugstange auf die Wagenmitte zu übertragen und das Untergestell von diesem zu entlasten. Eine solche auf Zug und Druck nachgiebige Längsverbindung ist jene von Fischer von Rösslerstamm (Abb. 53); bemerkenswert ist das »Pufferdreieck«, durch das die beabsichtigte Druckübertragung gesichert erscheint.

Die Handhabung der eben beschriebenen Kuppelungsvorrichtung ist mit großer Gefahr verbunden, weil der Kuppler zwischen Puffer und Zughaken treten muß. Der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen studiert seit vier Jahrzehnten überaus ernst und eifrig die Frage einer

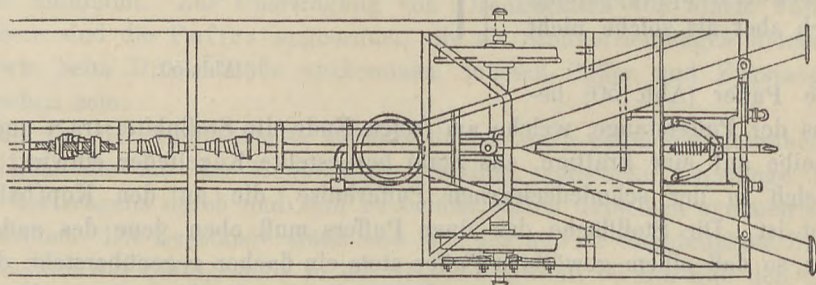


Abb. 53.

gefährlosen Kuppelung, woraus sich eine Kuppelung ergeben würde, die entweder von der Seite her gehandhabt werden kann (Seitenkuppelung) oder die sich beim Zusammenstoßen der Wagen selbsttätig schließt und von der Seite aus gelöst wird. Anordnungen letzterer Art stehen seit 1. März 1898 auf den Eisenbahnen der Vereinigten Staaten Nordamerikas ausschließlich in Anwendung; es sind dies die

Millerkuppelung und die Janneykuppelung, beides Klauenkuppelungen. Die Anwendung einer dieser Kuppelungen — es wurde besonders die Janneykuppelung ins Auge gefaßt — im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen unterliegt manchen Schwierigkeiten; es handelt sich namentlich um eine Übergangskonstruktion, welche die Verbindung von Wagen mit alter und neuer Kuppelungsanordnung ermöglicht; auch bestehen rücksichtlich der unbedingt sicheren Verbindung mittels der amerikanischen Kuppelung manche Bedenken, welche die Fortsetzung von Versuchen mit diesen Bauarten und mit anderen Bauarten, deren Zahl beträchtlich ist und die viele glückliche Gedanken aufweisen, ratsam erscheinen lassen.

Auf Kleinbahnen, namentlich auf elektrisch betriebenen Straßenbahnen, hat sich das Einpuffersystem eingebürgert. Hierbei sind in der Regel die Zug- und Stoßvorrichtungen vereint; die Ausführungen zeigen mannigfache Formen. Der Puffer liegt in der Längsachse des Wagens; die Zugstange ist selten durchgehend; die Verbindung der Puffer erfolgt durch Überfallhaken oder mittels Durchsteckbolzen; Abb. 54 zeigt die viel angewandte steife »Trichterkuppelung«, Abb. 55 eine nicht minder häufig vorkommende »Gelenkkuppelung«. Die Einpufferbauart besitzt den Vorteil der Druck- und Zugwirkung in der Längsrichtung des Wagens und einer günstigen Stellung der Zug- und Stoßvorrichtung im Bogen.

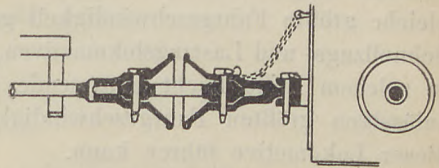


Abb. 54.

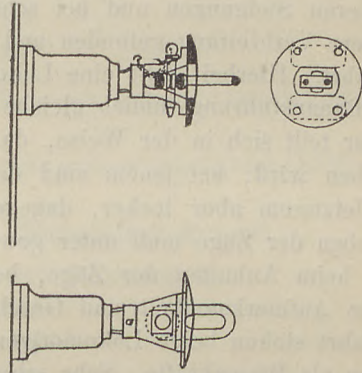


Abb. 55.

§ 13. Die Zugbildung. — Neben einzelfahrenden Lokomotiven und Kraftwagen verkehren auf den Eisenbahnen vorwiegend Züge, die aus Lokomotive oder Kraftwagen und einer größeren oder kleineren Zahl von Wagen gebildet sind. Je nach der Bestimmung dieser Züge unterscheidet man Personenzüge, Güterzüge und gemischte Züge; letztere dienen gleichzeitig dem Personen- und Güterverkehre.

Bei der Zusammensetzung der Züge gelten folgende allgemeine Bestimmungen als Richtschnur für die Anordnung der Wagen und Lokomotive:

Die Lokomotive — und auch der Kraftwagen, was weiterhin nicht mehr besonders bemerkt werden wird — soll an der Spitze des Zuges stehen, soll also die Wagen ziehen; das Schieben des Wagenzuges ist nur in Ausnahmefällen und mit wesentlich verminderter Fahrgeschwindigkeit zulässig, weil ein Entgleisen des alsdann an der Spitze des Zuges befindlichen, verhältnismäßig leichten Fahrzeuges beim Schieben desselben eintreten kann und weil auch die Aussicht des Führers auf die vorliegende Strecke durch die Wagenreihe behindert ist. Nur bei Bergbahnen mit Zahnstange schiebt die Lokomotive den einzigen Wagen, der den Zug bildet, bergan und bleibt bei der Talfahrt an der Spitze des Zuges; diese Anordnung gewährt bei Steilbahnen eine große Betriebssicherheit und ist wegen der geringen Fahrgeschwindigkeit ohne Bedenken anwendbar.

Lokomotiven mit Schlepptendern müssen im normalen Zugverkehre so gestellt

sein, daß der Rauchfang voraus steht, daß mithin der Tender gezogen wird. Fahrten mit Tender voran sind unter Vorsichtsmaßregeln zulässig.

An der Spitze des Zuges können auch zwei Lokomotiven angeordnet werden, falls die Zugkraft einer einzigen Lokomotive unzureichend ist (»Förderung mit Vorspann«). Zu beachten kommt, daß eine größere Zugkraft als 12000 kg im Hinblick auf die zulässige Beanspruchung der Schraubenkuppelung nicht angewendet werden darf, daß also der Vorspanndienst bei größerem Zugwiderstande unter allen Umständen ausgeschlossen erscheint. Vorspann- und Zuglokomotive sollen für die gleiche größte Fahrgeschwindigkeit gebaut sein; Lokomotiven ungleicher Type, z. B. Schnellzugs- und Lastzugslokomotiven, sind nicht gleichzeitig zu verwenden, weil die in solchem Falle leicht eintretende Überschreitung der für die Lastzuglokomotive zulässigen größten Fahrgeschwindigkeit zu gefahrbringenden Schlingerbewegungen dieser Lokomotive führen kann.

In neuerer Zeit hat das »Nachschieben« namentlich auf Gebirgsbahnen mit stärkeren Steigungen und bei schweren Zügen, sowohl Personen- wie Güterzügen, größere Verbreitung gefunden und sich betriebstechnisch wie auch wirtschaftlich gut bewährt. Hierbei steht eine Lokomotive an der Spitze des Zuges und eine — in der Bauausführung tunlich gleiche — Lokomotive am Ende des Zuges. Die Arbeit beider teilt sich in der Weise, daß der vordere Teil gezogen, der hintere Teil geschoben wird; bei jenem sind daher die Kuppelungsvorrichtungen straff gespannt, bei letzterem aber locker, dagegen die Stoßvorrichtungen in Aktion. Das Nachschieben der Züge muß unter gewissen Vorsichtsmaßregeln für den Verkehr, namentlich beim Anhalten der Züge, beim Anfahren usw. stattfinden und erfordert auch große Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit seitens der Lokomotivführer. Bei der Talfahrt stehen beide Lokomotiven an der Spitze des Zuges und wirken in diesem Sinne als Bremskräfte. Sehr schwere Züge auf sehr starken Steigungen können mit zwei Lokomotiven an der Spitze und zwei Lokomotiven am Ende des Zuges gefördert werden.

Im Wagenzuge sind Wagen mit bedienten Bremsen einzureihen; ihre Anzahl ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Zuges und den Neigungsverhältnissen der Bahn und wurde vom Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen auf Grund praktischer Versuche und theoretischer Erwägungen festgestellt; die Bremswagen sind derart zu verteilen, daß auf jeden von ihnen jene Anzahl von Wagen ohne Bremse entfällt, die er mit seiner Bremswirkung zu halten vermag. In der Regel soll der letzte Wagen des Zuges ein Wagen mit bedienter Bremse sein.

Von Bedeutung für die Wechselwirkung zwischen Zug und Gleis ist auch die Länge des ersteren; sie ist natürlich sehr verschieden, da sie von den Verkehrsverhältnissen, den Bahnhofsanlagen, den Neigungsverhältnissen der Bahn, der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Lokomotiven abhängig ist. Für militärische Kreuzungsstationen ist die nutzbare Länge des Kreuzungsgleises mit 550 m vorgeschrieben; dieses Maß kann mithin als Höchstwert für die Zuglänge angesehen werden.

Nach der »Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung« vom 4. November 1904 hat sich die Stärke der Züge nach der größten, der Berechnung der regelmäßigen Fahrzeit zugrunde gelegten Geschwindigkeit zu richten; hierbei werden Unterschiede zwischen Haupt- und Nebenbahnen gemacht.

Für Hauptbahnen gelten folgende Bestimmungen:

Personenzüge dürfen bei Geschwindigkeiten bis

zu 50 km nicht über	80	Wagenachsen
von 51 bis 60 km nicht über	60	»
von 61 bis 80 km nicht über	52	»
von mehr als 80 km nicht über	44	»

stark sein; diese Zahlen dürfen bei den Zügen mit Geschwindigkeiten

von 61 bis 80 km bis zu 60 Achsen,
von mehr als 80 km bis zu 52 Achsen

für jeden sechssachsigen Wagen um zwei Achsen überschritten werden.

Güterzüge dürfen bei Geschwindigkeiten bis

zu 45 km nicht über	120	Wagenachsen
von 46 bis 50 km nicht über	100	»
von 51 bis 55 km nicht über	80	»
von 56 bis 60 km nicht über	60	»

stark sein, doch kann die Landesaufsichtsbehörde bis 45 km Geschwindigkeit 150 Wagenachsen zulassen.

Militärzüge und gemischte Züge dürfen bis zu 45 km Geschwindigkeit 110 Wagenachsen erhalten.

Auf Nebenbahnen dürfen Personenzüge bei Geschwindigkeiten bis

zu 30 km nicht über	80	Wagenachsen
von 31 bis 40 km nicht über	40	»
von mehr als 40 km nicht über	16	»

stark sein; es dürfen aber diese Zahlen für jeden sechssachsigen Wagen um zwei Achsen überschritten werden und zwar bei Geschwindigkeiten

von 31 bis 40 km bis zu	48	Wagenachsen,
von mehr als 40 km bis zu	20	Wagenachsen;

Güterzüge dürfen bei Geschwindigkeiten bis zu 30 km nicht über 120 Wagenachsen und wenn sie auch Personen führen, nur bis zu 110 Wagenachsen stark sein. Diese Beschränkung gilt auch für Militärzüge.

Auf vollspurigen Kleinbahnen sollen — nach den Betriebsvorschriften für Kleinbahnen mit Maschinenbetrieb — nicht mehr als 80 Wagenachsen, auf Schmalspurbahnen von 1 m Spurweite höchstens 60, von 750 mm und 600 mm Spurweite höchstens 50 Wagenachsen in einem Zuge laufen.

Zweiter Abschnitt.

Bewegung der Eisenbahnfahrzeuge im Gleise.

§ 14. **Bewegung in gerader Strecke.** — Die Achse jedes Verkehrsweges setzt sich aus Geraden und Bögen zusammen. Die Geraden bilden verlängert einen gebrochenen Linienzug; die Bögen schließen sich an die Geraden berührend an, runden die Ecken des Linienzuges ab und vermitteln auf solche Weise den Übergang aus einer Richtung in die andere. Hierzu dienen bei den Eisenbahnen fast ausschließlich Kreisbögen, weil diese sich leicht aufzeichnen, abstecken und ausführen lassen. Der Vorschlag des englischen Ingenieurs Gravatt¹⁾, aus dem Jahre 1828 oder 1829 stammend, an Stelle des Kreises die Sinuskurve anzuwenden, hat keine weitere Beachtung gefunden.

Bei normaler Stellung des Fahrzeuges in gerader Strecke soll dessen Längsachse mit der Gleisachse zusammenfallen; während des Fortlaufes des Fahrzeuges hört aber diese Übereinstimmung der Lage beider Achsen vollständig auf. Da die Achsbüchsen auf den Achsen und die Achsen im Gleise seitliche Spielräume besitzen, so sind auch seitliche Verschiebungen der Achsen im Gleise möglich. Solche Verschiebungen werden in gerader Strecke durch Unebenheiten in den Laufflächen der Radreifen und der Schienen und durch Unregelmäßigkeiten in der Lage des Oberbaues, die ja keine ideal vollkommen theoretische und starre sein kann, verursacht; sie werden bei dem in einem Zuge rollenden Fahrzeuge durch die am vorderen und hinteren Zughaken auftretenden ziehenden und rückhaltenden Kräfte beeinflusst. Haben äußere Kräfte irgend welcher Art eine Verschiebung einer Achse z. B. nach links (im Sinne der Fahrtrichtung) hervorgerufen, so laufen infolge der Kegelform die Räder der verschobenen Achse auf verschieden großen Durchmessern und es tritt in dem Radsatze, mit welchem Ausdrucke eine Achse mit den zugehörigen Rädern bezeichnet werden soll, das Bestreben auf, wie ein Kegel um den Punkt herum zu rollen, in dem die Ebene der Schienenlaufflächen von der Achse des Radsatzes geschnitten wird (Abb. 56); die Achse wird sich mithin in unserem Beispiele gegen rechts bewegen. Nun wächst allmählich der Laufraddurchmesser auf dem rechten Schienenstrange und vermindert sich jener auf dem linken Strange; es wird sich sonach die Achse in einem bestimmten Augenblicke wieder gegen links bewegen. Der Schwerpunkt der Achse und naturgemäß auch der Schwerpunkt des ganzen Fahrzeuges (bei festliegenden Achsen) durchläuft also eine im

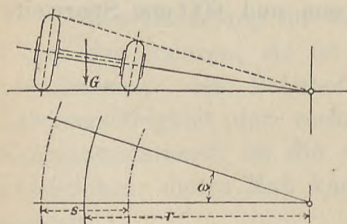


Abb. 56.

allgemeinen langgestreckte Wellenlinie, deren größte Ausbiegungen zu beiden Seiten

¹⁾ Rankine, On Railway-curves. The Engineer 1861.

der Gleisachse durch die größtmögliche seitliche Verschiebung der Fahrzeugachse im Gleise begrenzt erscheint (Abb. 57). Man sieht, daß die Kegelform der Radreifen die Bildung der wellenförmigen Bewegung des Fahrzeugschwerpunktes begünstigt; bei zylindrischer Form des Reifens würden eingetretene seitliche Verschiebungen der Achsen solange beibehalten, bis äußere Kräfte eine Verschiebung nach der entgegengesetzten Seite bewirken.

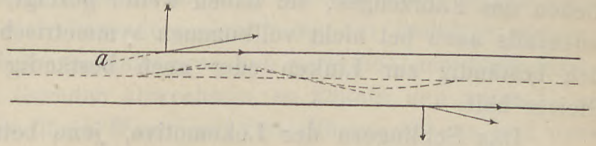


Abb. 57.

Von einem regelmäßigen Verlaufe der in Betracht gezogenen Wellenlinie kann natürlich nicht die Rede sein; schon der Abnutzungsgrad der Radreifen und Schienen und die verschiedene Größe der Zwischenräume zwischen Achse und Schiene und in den Achsenbüchsen stören die Regelmäßigkeit. Man vergleiche in dieser Beziehung den Verlauf der Kurve in Abb. 58; diese Kurve stellt die Verschiebungen einer

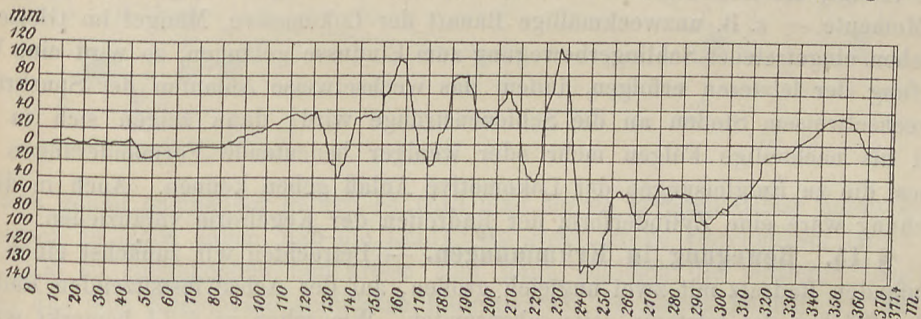


Abb. 58.

Achse dar, wobei die mit 0 bezeichnete Linie die normale Lage der Fahrzeuglängsachse und mithin gleichzeitig die Gleisachse angibt; die Strecke von 0 bis 120 ist geradlinig.

Die Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahngesellschaft hat im Jahre 1897 sehr wertvolle Versuche über die gegenseitige Querverschiebung der Nachbarpuffer zweier hintereinander in einem Zuge laufender Wagen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden von Chabal und Beau in der Revue générale des chemins de fer 1906, II. Halbjahr, S. 345 ff. mitgeteilt. Der Versuchszug bestand aus der Lokomotive und drei Wagen. Die beiden Versuchswagen waren durch eine Vorrichtung verbunden, welche die Verschiebung des einen Wagens gegen den anderen zeichnerisch festlegte. Der Lageplan des Versuchsgleises ist in Abb. 59 dargestellt. Die Fahrgeschwindigkeit betrug 15

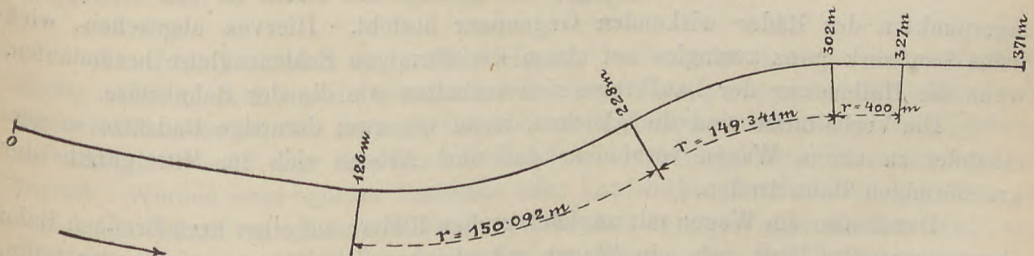


Abb. 59.

bis 20 km. Die Versuche wurden beim Ziehen und Schieben der Versuchswagen durchgeführt. Die Abb. 58 zeigt Versuchsergebnisse beim Schieben des Zuges.

Die eben erwähnten Versuche zeigen auch, daß beim Schieben des Wagens die Wellen kürzer sind und die Wellenlinie im allgemeinen unruhiger ist, als beim Ziehen des Fahrzeuges; sie haben weiter gezeigt, daß unter gewissen Verhältnissen, jedenfalls auch bei nicht vollkommen symmetrischer Anordnung des Wagens, dieser sich beständig zur Linken oder auch beständig zur Rechten der Längsachse des Gleises hält.

Das Schlingern der Lokomotive, jene betriebsgefährliche Bewegung, die in einem mehr oder weniger starken Anlaufen der Spurkränze der Vorderräder abwechselnd an dem linken und rechten Schienenstrang besteht, entwickelt sich ohne Zweifel aus der Wellenbewegung der Lokomotive in gerader Strecke. Eine lose liegende Schwelle, ein lockerer Schienenstoß, eine Reihe mangelhaft gebetteter Schwellen können eine derartig starke Seitenverschiebung der vorderen Lokomotivachse herbeiführen, daß durch kräftiges Andrücken des Spurkränzes an die Schiene deren Elastizitätskraft geweckt wird und eine nicht minder kräftige Rückweisung der Achse erfolgt, die sich nun auf die andere Seite des Gleises bewegt. Wenn ungünstige Momente — z. B. unzuweckmäßige Bauart der Lokomotive, Mängel im Gleise — bei schon eingetretener Schlingerbewegung zum Einflusse gelangen, so wird eine Verschärfung der letzteren erfolgen, indem das wechselweise Anlaufen der Spurkränze zu wechselweisem Stoßen an die Schienenstränge wird; dann zeigen sich in der Regel als nachteilige Folgen mehr oder weniger bedeutende Formänderungen des Gleises, die zu Entgleisungen der Lokomotive Anlaß geben können. Auch in dieser Beziehung wäre eine Zylinderform der Radreifen der Kegelform vorzuziehen.

§ 15. Bewegung in Krümmungen. — Betrachten wir zunächst einen einzellaufenden Radsatz mit zwei ungleich großen, auf der Achse festsitzenden Rädern; die Laufflächen der letzteren seien abgerundet. Wie schon in § 14 bemerkt wurde, werden die beiden Räder, auf wagrechter Ebene in Bewegung gesetzt, wie ein Kegel um den Punkt herumrollen, in welchem die Ebene von der Achse geschnitten wird (Abb. 60). Bezeichnen d_1 und d_2 die Laufkreisdurchmesser der Räder, r_1 und r_2 die Halbmesser der entsprechenden Bahnkreise, so wird sein

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{r_1}{r_2}.$$

Das ungleiche Räderpaar hat außer der fortschreitenden noch eine drehende Bewegung um eine lotrechte Achse auszuführen; diese wird durch einen Widerstand bedingt, der offenbar aus einem an den beiden Auf-

lagerpunkten der Räder wirkenden Gegenpaar besteht. Hiervon abgesehen, wird jedes Laufwerk ganz zwanglos auf einem kreisförmigen Schienengleise herumlaufen, wenn die Halbmesser der Laufkreise sich verhalten wie die der Bahnkreise.

Die Verhältnisse sind die gleichen, wenn wir zwei derartige Radsätze so miteinander zu einem Wagen verbinden, daß ihre Achsen sich im Mittelpunkte der kreisförmigen Bahn treffen.

Damit also ein Wagen mit ungleich großen Rädern auf einer kreisförmigen Bahn ebenso zwanglos läuft, wie ein Wagen mit gleichgroßen Rädern auf gerader Bahn, ist es notwendig, daß

1) die Halbmesser der Laufkreise sich wie die Halbmesser der Bahnkreise verhalten, und

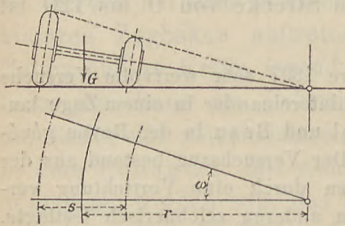


Abb. 60.

2) die Verlängerungen der Achsen sich im Mittelpunkte des Kreisbogens schneiden.

Es müsste also zur Erzielung eines zwanglosen Laufes durch Krümmungen für jeden Krümmungshalbmesser eine besondere Anordnung der Radsätze getroffen werden. Da nun auf einer Eisenbahn Krümmungen von verschiedenen Halbmessern und von verschiedenem Sinne mit Geraden abwechseln, so könnte den unter 1) und 2) ausgesprochenen Bedingungen nur durch Wagen mit verstellbaren Achsen und durch Räder mit veränderlichen Laufkreishalbmessern entsprochen werden. Wir haben schon darauf hingewiesen, daß das Bestreben, dieser letzten Forderung zu genügen, zur kegelförmigen Gestaltung der Räder geführt hat. Denkt man sich zwei vollkommen übereinstimmende Kreisegel ABD und CBD (Abb. 61) mit ihren Grund-

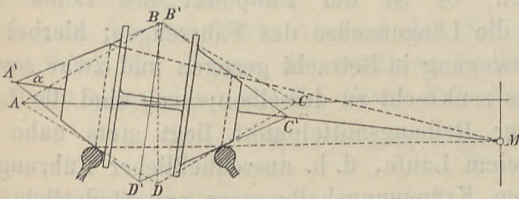


Abb. 61.

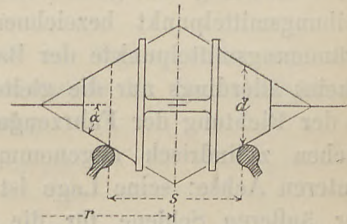


Abb. 62.

flächen genau aneinander gefügt, so wird man sie im geraden Gleise derart auf die Schienen zu legen haben, daß die Laufkreise gleich große Durchmesser haben (Abb. 62); die so entstehenden Laufkreise sind dann zugleich die mittleren Laufkreise eines aus dem Kegelpaare gebildeten Räderpaares. Im Bogen können wir das richtige Verhältnis der Laufkreisdurchmesser dadurch herstellen, daß wir das Kegelpaar nach außen verschieben. In Abb. 61 ist $A'B'C'D'$ die Stellung des Kegelpaares für den Fall, daß der Mittelpunkt des gekrümmten Gleises in M liegt. Ist d der mittlere Raddurchmesser, s der Abstand zwischen den Schienenköpfen, r der mittlere Bahnhalbmesser, α der Winkel der Kegelerzeugenden mit der Achse, Δs die zur Herstellung eines richtigen Laufkreisverhältnisses notwendige seitliche Verschiebung, so muß sein

$$\frac{d + 2 \cdot \Delta s \cdot \operatorname{tg} \alpha}{d - 2 \cdot \Delta s \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{r + \frac{s}{2}}{r - \frac{s}{2}},$$

folglich:

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{1}{4} \cdot \frac{d}{r} \cdot \operatorname{cotg} \alpha.$$

Da d im Verhältnis zu r stets klein ist, so braucht auch Δs nur verhältnismäßig klein zu sein, um die entsprechende Vergrößerung von d zu bewirken. Für große Halbmesser ist eine geringe, für kleinere Halbmesser eine größere Verschiebung notwendig. Es muß aber eine Kraft vorhanden sein, welche diese Verschiebung hervorruft. Werden zwei solcher Radsätze oder Laufwerke mittels eines Rahmens, in dem beide Achsen gleichlaufend und unverrückbar in ihrer gegenseitigen Lage angeordnet sind, zu einem Wagen verbunden, so müssen naturgemäß ganz andere Erscheinungen auftreten. Beim Einlauf aus der Geraden in die Krümmung hat die Vorderachse, solange noch die Hinterachse in gerader Strecke läuft, das Bestreben, in gerader Richtung fortzulaufen, bis das äußere Rad den äußeren Schienenstrang

erreicht; die verlängerte Bewegungsrichtung schneidet den letzteren, beziehungsweise die an den Berührungspunkt gezogene Tangente zu ihm unter einem Winkel α , der um so größer ist, je kleiner der Halbmesser des Bogens, je schärfer also die Krümmung. Die Gefahr des Aufsteigens des Spurkranzes auf die Schiene wächst mit der Größe dieses Winkels α , den wir [als Entgleisungswinkel bezeichnen können. (Vgl. § 17.)

Indem das äußere Vorderrad gegen die Außenschiene anläuft, wird es am geraden Fortlaufe, den noch die Hinterachse inne hat, gehindert; es muß, um sich weiter zu bewegen, unter gleichzeitigem Vorwärtslaufe etwas nach einwärts rücken — es muß eine Drehung erfahren, die durch den Widerstand des Gleises bewirkt wird, bzw. durch die an den Auflagestellen der Räder auftretenden Reibungskräfte. Diese Drehung erfolgt um einen Punkt, den wir — nach Uebelacker¹⁾ — als Reibungsmittelpunkt bezeichnen wollen; es ist der Fußpunkt des Lotes vom Krümmungsmittelpunkte der Bahn auf die Längsachse des Fahrzeuges; hierbei erscheint allerdings nur die gleitende Bewegung in Betracht gezogen und zwar sowohl in der Richtung der Fahrzeugachse als senkrecht zu derselben; auch sind die Laufflächen zylindrisch angenommen. Der Reibungsmittelpunkt liegt stets nahe der hinteren Achse; seine Lage ist bei freiem Laufe, d. h. ausschließlicher Führung an der äußeren Schiene für die einzelnen Krümmungshalbmesser unveränderlich. Es erleidet sonach die Hinterachse noch in der Geraden eine Drehung, bei der das Außenrad einen größeren Weg — natürlich zum Teil schleifend — zurücklegt, als das Innenrad; die Hinterachse nimmt also noch in der Geraden eine Stellung ein, die annähernd der Richtung des Halbmessers unmittelbar nach Bogenanfang entspricht. Wenn die Achse im Gleise genügend Spielraum findet, so muß ihre Abweichung von der Normalen zum geraden Gleise, entsprechend der drehenden Vorwärtsbewegung der Vorderachse, allmählich größer werden. Die Hinterachse tritt sonach in den Bogen in einer Lage ein, welche mehr oder weniger nach dem Mittelpunkte des Gleises gerichtet ist.

Diese Stellung behält nun die Hinterachse während des Laufes durch den Bogen im Großen und Ganzen bei. Die Vorderachse steht ihr parallel; es wird daher das äußere Vorder- und das innere Hinterrad an die Schiene stark angedrängt werden. Hierauf hat wohl zuerst Wöhler²⁾ hingewiesen. Die ersten Versuche zur Feststellung dieser Tatsache dürfte A. Wellington angestellt haben³⁾. Er baute einige schwere Modelle vierräderiger Eisenbahnfahrzeuge, sowohl mit zylindrischen als mit stark kegelförmigen Rädern, deren Achsstand sich nach Belieben vergrößern oder verkleinern ließ; auch Spurweite und Bahnhalmesser ließen sich verändern. Die Spurkränze waren nahezu senkrecht und mit scharfem innerem Rande versehen, um von demselben aus genau messen zu können. Wellington fand, daß die Kegelform der Räder auf die Stellung des Wagens im Bogen ganz ohne Einfluß war. Das erhellt auch aus den obigen Darlegungen über die Drehung der Hinterachse. Wellington konstatierte ferner, daß das äußere Vorderrad sich stets in Berührung mit der Außenschiene befand und die Hinterachse stets nach dem Mittelpunkte der

¹⁾ Untersuchungen über die Bewegung von Lokomotiven mit Drehgestellen in Bahnkrümmungen. Wiesbaden, C. W. Kreidel, 1903.

²⁾ Über den Einfluß der Form des Schienenkopfes und der Radreifen usw., Zeitschr. f. Bauw. 1859.

³⁾ Economic Theory of the Location of Railways. 1893.

Bahn gerichtet war, solange das Verhältnis zwischen Radstand, Spurweite und Bahnhalbmesser innerhalb gewisser Grenzen blieb. Aus den oben (S. 117) erwähnten Versuchen der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn ergibt sich ebenfalls — vgl. die Abb. 58 — die Tatsache, daß das äußere Vorderrad im Bogen scharf gegen die äußere Schiene drängt und auch die Hinterachse sich der inneren Schiene nähert.

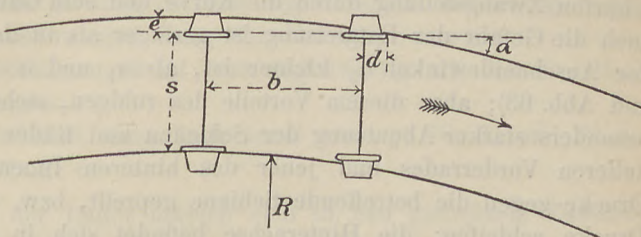


Abb. 63.

Bezeichnet in Abb. 63 R den Halbmesser des inneren Schienenstranges, s das Spurmaß des Wagens, e das

Stück, um das der lichte Abstand der Schienenköpfe im Bogen größer sein muß als s , damit der Wagen die erwähnte Stellung: Hinterachse im Bogenhalbmesser, annehmen kann, dann gilt für diesen Fall die Gleichung

$$(R + s)^2 + (b + d)^2 = (R + s + e)^2,$$

woraus annähernd folgt:

$$e = \frac{b^2}{2R}.$$

Ist $e > \frac{b^2}{2R}$, also die Spurweite überreichlich bemessen, dann wird das innere Hinterrad weniger stark gegen die innere Schiene gedrängt; ist dagegen $e < \frac{b^2}{2R}$, dann kann sich die Hinterachse nicht in die Richtung des Bogenhalbmessers einstellen; es wird vielmehr das innere Rad derselben mit seinem Spurkranz mehr oder weniger scharf am inneren Schienenstrange anschneiden (vgl. die Abb. 64 a und 64 b).

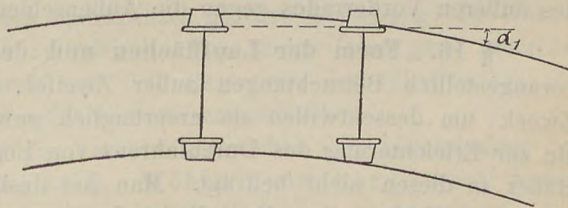


Abb. 64 a.

Sind die Räder kegelförmig, so wird bei $e = \frac{b^2}{2R}$ die Kegelwirkung bei der Vorderachse in unvollkommener, bei der Hinterachse in ganz verkehrter Weise zur Geltung kommen, obwohl diese eigentlich richtig eingestellt ist; der kleinere Laufkreis beim Außenrade hat den größeren, der größere Laufkreis beim Innenrade hat den kleineren Weg zu durchlaufen; es wird also das letztere gleichsam auf der Schiene gebremst, das erstere aber zum Teil geschleift werden; die Folgen dieser Erscheinung äußern sich in erhöhter Abnutzung der Schienen und Wagenräder und in Arbeitsverlust. Ist $e > \frac{b^2}{2R}$, haben also die Achsen einen größeren Spielraum im Gleise (Abb. 64 a), dann äußert sich die Kegelwirkung auch bei der Hinterachse günstiger, der Lauf des Fahrzeuges ist

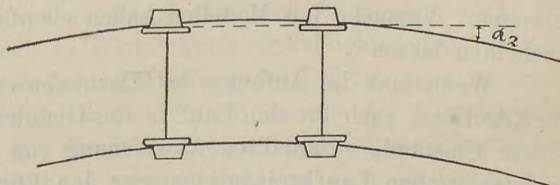


Abb. 64 b.

abgemildert. Ist $e < \frac{b^2}{2R}$, haben also die Achsen einen größeren Spielraum im Gleise (Abb. 64 a), dann äußert sich die Kegelwirkung auch bei der Hinterachse günstiger, der Lauf des Fahrzeuges ist

ein mehr regelrechter, die Abnutzung und der Arbeitsverlust sind geringer als im ersten Falle. Ist nun schließlich der Spielraum für die richtige Einstellung der Hinterachse in den Kreishalbmesser unzureichend, dann läuft der Wagen in einer scharfen Zwangstellung durch die Kurve und sein Gang wird daher sehr ruhig sein; auch die Gefahr der Entgleisung ist geringer als in den vorhergehenden Fällen, weil der Ansehewinkel α_2 kleiner ist, als α_1 und α (vgl. Abb. 64b gegenüber 64a und Abb. 63); aber diesem Vorteile des ruhigen, sicheren Laufes steht der Nachteil besonders starker Abnutzung der Schienen und Räder gegenüber; der Spurkranz des äußeren Vorderrades und jener des hinteren Innenrades wird unter vermehrtem Drucke gegen die betreffende Schiene gepreßt, bzw. wird der erstere unter solchem Drucke schleifen; die Hinterachse befindet sich in falscher Lage; die Laufkreisverhältnisse an ihr sind im Hinblick auf die von den Rädern zurückzulegenden Wege vollständig unrichtig.

Diese Betrachtungen beziehen sich auf einzelne Wagen. Die Stellung der letzteren wird aber günstiger, wenn sie zu Zügen aneinander gekettet sind. Die Zugkraft wird vom Hinterteil des einen Wagens durch die in der Mitte angebrachte Kuppelung auf den Vorderteil des folgenden übertragen und dies bewirkt, daß beide sich der Gleismitte mehr nähern, also die Spurkränze weniger anschneiden. Allerdings verändern die Wagen hierbei auch die als naturgemäß erkannte Stellung; dadurch wird nun wieder ein Teil der Zugkraft verbraucht. Dieser Mehraufwand ist demnach der Preis für die größere Schonung von Gleis und Rädern; er entfällt bei der Talfahrt auf Gefällen, die der Zug infolge der Schwerkraft allein nimmt, ohne daß Zugkraft benötigt wird. Anders als die Wagen eines Zuges verhält sich natürlich die Lokomotive; die Verhältnisse werden bei einer vor einem längeren Zuge gespannten Lokomotive ungünstiger sein, als bei einer frei fahrenden, weil der durch die Kuppelung auf die Lokomotive übertragene Zugwiderstand das Anpressen des äußeren Vorderrades gegen die Außenschiene steigert.

§ 16. Form der Laufflächen und der Spurkränze. — Es ist nach den vorangestellten Betrachtungen außer Zweifel, daß die Kegelform der Räder den Zweck, um dessentwillen sie ursprünglich gewählt wurde, keineswegs erfüllt, daß sie zur Erleichterung des Durchfahrens von Bögen, zur Schonung der Schienen und Räder in diesen nicht beiträgt. Man hat deshalb schon frühzeitig erwogen, ob es nicht vorteilhafter wäre, die zylindrische Form einzuführen. In Amerika hat man die Kegelform auch tatsächlich schon aufgegeben, ohne zu ungünstigen Ergebnissen zu gelangen. Versuche mit Modellen haben ebenfalls zylindrische Räder als vorteilhaft erscheinen lassen¹⁾.

Wenn man im Anfange des Eisenbahnwesens der Anschauung zuneigte, daß die Kegelform auch für den Lauf in der Geraden vorteilhaft sei, weil bei einer durch äußere Umstände veranlaßten Abweichung von der normalen Lage die auftretenden ungleich großen Laufkreisdurchmesser den Rücklauf in die normale Lage bewirken, so hat man heute wohl schon erkannt, daß stark kegelförmige Räder in gerader Strecke fortwährend um die Mittellage herumschlingern und ein stetes Hin- und Herschleudern aus einer falschen Stellung in die andere Stellung verursachen; dieser unruhige Lauf, auf den schon hingewiesen wurde, führt zum Gleiten der Räder, zu größerer Abnutzung derselben, wie auch der Schienen, und zu erhöhtem Aufwande

¹⁾ M'Dowell, The Engineer 1876.

an Zugkraft. Bei Zylinderrädern liegen die Verhältnisse entschieden günstiger; sie werden sich bei Ungleichheiten im Gleise, bei kleinen Ungenauigkeiten in der Stellung der Achsen u. dgl. einfach mit dem Spurkranze dem einen oder anderen Schienenstrange nähern, wie dies ja auch bei den kegelförmigen Rädern im Bogen geschieht und hier den bekannten ruhigen Gang der Fahrzeuge bewirkt.

In Erkenntnis dieser Erscheinungen ist man gegenwärtig mit der Kegelform schon ziemlich weit herabgegangen.

Abb. 65 stellt den Durchschnitt eines Radkranzes nach §§ 70, 71 und 72 der T. V. dar. § 70 lautet unter Absatz 6:

»Die Laufflächen der Räder müssen sich in neu gedrehtem Zustande von der Spurkranzhohlkehle nach außen hin kegelförmig verjüngen. Es ist zulässig, bei den in einem gemeinschaftlichen Rahmen gelagerten Achsen die Laufflächen der Mittelräder zylindrisch zu gestalten. Für die Neigung des Kegels wird das Verhältnis 1 : 20 empfohlen.«

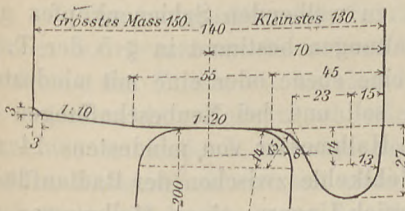


Abb. 65.

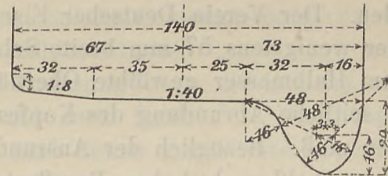


Abb. 66.

Abb. 66 zeigt den Radkranzquerschnitt amerikanischer Eisenbahnfahrzeuge. Der Anzug beträgt hier nur noch 1 : 40. Wie Wellington auf S. 283 seines Buches in einleuchtender Weise darlegt, erblickt man in diesem Anzuge nur eine Verstärkung mit Rücksicht auf die in der Nähe des Spurkranzes größere Abnutzung, die Grundform des Rades aber denkt man sich zylindrisch. Der ruhige Gang guter amerikanischer Eisenbahnwagen ist gewiß auch zum Teil dieser von der zylindrischen nur unmerklich abweichenden Form der Laufflächen mit zuzuschreiben.

Für die Abnutzung wichtig ist das Verhältnis zwischen den Abrundungen des Schienenkopfes und der Spurkranzhohlkehle. Wöhler¹⁾ und Boedecker²⁾ haben die Frage theoretisch behandelt; die Schwierigkeiten sind aber so bedeutend, daß auf diesem Wege kaum eine Lösung möglich ist; es sind eben die wechselseitigen Beziehungen zwischen Radreifen und Schienenkopf wissenschaftlich noch nicht festgestellt, auch können die verschiedenen in Wirklichkeit einflußnehmenden Umstände nicht entsprechende Berücksichtigung finden. Schon aus den Erörterungen im letzten Paragraphen dürfte zu erkennen sein, daß die Verhältnisse in der Geraden ganz andere sind als im Bogen und daß die Wechselbeziehungen zwischen Schienenkopf und Radreifen im Bogen vielfach abhängig sein werden von dem Halbmesser des Bogens, von der Spurerweiterung des Gleises und von dem Achsstand der Fahrzeuge; auch wäre hier die Außenschiene von der Innenschiene zu unterscheiden. So ist es wohl sehr wahrscheinlich, daß es für jede Form des Schienenkopfes, für jeden Bogenhalbmesser und für jeden Wagenachsstand eine besondere Form des Radreifens,

1) Zeitschr. f. Bauwesen 1859, S. 359; Zentralbl. der Bauverwaltung 1881, S. 181 und 1884, S. 177.

2) Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887.

namentlich der Spurkranzhohlkehle gibt, welche für diese Verhältnisse als die günstigste bezeichnet werden muß.

Wöhler hat, auf theoretischen Untersuchungen fußend, eine weit ausgerundete Hohlkehle von etwa 27 bis 38 mm Halbmesser und eine ebene Schienenlauffläche mit flachen Seitenabrundungen vorgeschlagen, weil eine solche Anordnung größtmögliche Sicherheit und geringste Abnutzung gewährleiste; tatsächlich zeigt die Erfahrung, daß Wagen mit scharfgelaufenen Radreifen, also mit starkgekrümmten Hohlkehlen sehr leicht auf den Schienenkopf aufsteigen. Andererseits liegen aber auch Erfahrungen vor, welche für eine schwache Krümmung der Lauffläche und für scharfe Kopfabrundungen der Schiene, sowie für scharf ausgerundete Hohlkehlen der Radreifen zu sprechen scheinen, weil bei derartiger Konstruktion die abgenutzten Schienen, bei denen die seitliche Abrundung des Kopfes in eine scharfkantige, fast rechtwinklige Begrenzung übergegangen ist, seitlich weniger stark beansprucht werden. Der nordamerikanische Ingenieurverein hat denn auch 1889 auf Vorschlag eines Ausschusses, der diese Fragen eingehend studierte, die scharfe Ausrundung der Hohlkehle und die seitliche Abrundung des schwach zu wölbenden Schienenkopfes gutgeheißen. Der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen bestimmt in § 5 der T. V., daß der wenigstens 57 mm breite Schienenkopf eine ebene oder eine mit mindestens 200 mm Halbmesser gewölbte Oberfläche haben soll und bei Neubeschaffungen die innere seitliche Abrundung des Kopfes mit einem Halbmesser von mindestens 14 mm erfolgen muß. Bezüglich der Ausrundung der Hohlkehle zwischen der Radlauffläche und dem Radflansch haben Preußen und Österreich-Ungarn einen Halbmesser von 15 mm vereinbart; im übrigen finden sich Halbmesser bis zu 29 mm, in England solche von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll (12,5 bis 19 mm). Schließt sich die Flanschenkurve nahe der Abrundung des Schienenkopfes an, so passen beide bald ineinander und schaben sich gegenseitig ab. Im zweiten Kapitel des zweiten Bandes (Konstruktion des Oberbaues) ist die hier kurz erläuterte Frage der Wechselbeziehungen zwischen Schienenkopf und Radreifen in § 12 näher erörtert und wird schließlich auch begründetermaßen darauf hingewiesen, daß mit zunehmender Einführung beweglicher Achsen (Lenkachsen und Drehgestelle) die gegenseitigen Angriffe zwischen Rad und Schiene abnehmen, wodurch diese Frage vom wirtschaftlichen Standpunkte aus an Bedeutung verliert.

§ 17. Die Ursachen der Abnutzung der Spurkränze und Schienen in Bahnkrümmungen. — Das Anschneiden der Spurkränze der äußeren Vorderräder gegen den äußeren Schienenstrang ist jedenfalls eine Hauptursache der Abnutzung der Räder und der Schienen. Je größer der Anschneidewinkel und je größer die Kraft ist, mit der das Rad gegen die Schiene gedrückt wird, um so größer wird natürlich auch die Abnutzung sein; wollen wir letztere verringern, dann müssen wir trachten, wenigstens eine dieser Ursachen möglichst klein zu machen, wenn nicht gleichzeitig die Wirkung beider vermindert werden kann.

Jeder Radsatz, der gezwungen wird, anders als geradeaus zu laufen, drängt mit einer Kraft, die hauptsächlich von seiner Reibung auf den Schienen abhängt, nach jener Seite, wohin er — sich selbst überlassen — von der vorgeschriebenen Bahn abweichen würde. In diesem Falle befinden sich alle nicht radial stehenden Achsen; der Seitendruck tritt auf, sobald die Achse anders als radial steht. Wird der Zwang durch das Gleis ausgeübt, so äußert sich der Seitendruck als Druck zwischen Schiene und Spurkranz; wird er durch die feste Verbindung des Radsatzes

mit dem Rahmen des Fahrzeuges bewirkt, so überträgt sich der Seitendruck durch die Achslager auf den Rahmen. Dem ersten Falle entspricht die anschneidende Vorderachse, dem zweiten entsprechen die unverschiebbar gelagerten Mittelachsen mehrachsiger Fahrzeuge.

Wir wollen nun diese Erscheinungen an Wagen mit zwei und mehr festgelagerten Achsen verfolgen; den Betrachtungen mögen die einfachsten Annahmen zugrunde gelegt werden; es soll sich mehr um allgemeine Betrachtungen und Schätzungen, als um genaue Rechnungen handeln¹⁾.

Die betrachteten Fahrzeuge haben den nämlichen Radstand l ; bei Wagen mit mehr als zwei Achsen sei der Gesamtradstand l in gleiche Einzelradstände geteilt.

1) Zweiachsiges Fahrzeug. Die Vorderachse schneidet mit ihrem Spurkranz gegen den äußeren Schienenstrang an und wird an ihn vermöge der Reibung mit einer gewissen Kraft P' angedrückt. Die Hinterachse läuft im Bogenhalbmesser, also zwanglos.

2) Dreiachsiges Fahrzeug.

a) Die Längsachse des Fahrzeuges steht als Sehne in der Krümmung; die äußeren Spurkränze der Endachsen berühren den äußeren Schienenstrang; der innere Spurkranz der Mittelachse berührt den inneren Schienenstrang.

Der vordere Radsatz schneidet mit dem Außenrande an die Schiene an und zwar, wie im Falle 1, vermöge der Reibung mit einer Kraft P' . Die Achse des hinteren Radsatzes drückt mit einer Kraft P''' nach innen gegen ihre Lager; hierdurch wird mittels der Lager der Mittelachse ein Druck auf diese nach innen ausgeübt und ihr innerer Spurkranz an den inneren Schienenstrang gepreßt. Die Lager der Vorderachse werden aber gleichzeitig durch die Hebelwirkung nach außen gedrückt, wodurch der Druck des Leitradflansches gegen die Außenschiene sich steigert. Es herrscht also ein bedeutender Zwang, der nach Beobachtungen von Richard Helmholtz soweit gehen kann, daß infolge des Druckes auf den Spurkranz des inneren Mittelrades der Radkranz des äußeren Vorderrades von der Schiene abgehoben wird. Von einer zwanglosen Bewegung bei solcher Stellung der Längsachse des Fahrzeuges kann auch dann nicht die Rede sein, wenn der Spielraum der Spurkränze gleich der zur Sehne l gehörigen Pfeilhöhe ist.

b) Das Außenrad der Vorderachse schneidet die Schiene bei radialer Stellung der Hinterachse an; letztere läuft also zwanglos, wie beim zweiachsigen Fahrzeuge. Die Mittelachse sucht nach außen zu laufen, drückt infolgedessen mit einer Kraft P'' gegen ihre Lager und dieser Druck wird durch den Rahmen je zur Hälfte auf die beiden Längsachsen übertragen; dadurch erhöht sich der Druck der Vorderachse gegen die Außenschiene von P' auf $P' + \frac{1}{2}P''$; der nach außen gerichtete Druck der Lager der Hinterachse $P''' = \frac{1}{2}P''$ vermag jedoch die Reibung zwischen Lauffläche und Schiene in der Regel nicht zu überwinden, so daß die Hinterachse in radialer Lage verbleibt. Daraus ergibt sich die Schlußfolgerung, daß ein dreiachsiges Fahrzeug einen größeren Spurkranzdruck und folglich eine weit mehr zerstörende Wirkung ausübt, als ein zweiachsiges vom gleichen Radstande und gleicher Achsbelastung, und zwar um so mehr, je geringer der Spielraum zwischen den Spurkränzen und den Schienen ist.

¹⁾ Vgl. Rich. Helmholtz, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingen. 1888; Hoffmann, Org. f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1830.

3) Vierachsiges Fahrzeug. Wir setzen voraus, daß die Hinterachse im Halbmesser stehe; dann drängen die zweite und dritte Achse nach außen; der Seitendruck der zweiten Achse überträgt sich zu $\frac{2}{3}$ auf die vordere, zu $\frac{1}{3}$ auf die hintere Achse; jener der dritten zu $\frac{1}{3}$ auf die Vorder-, zu $\frac{2}{3}$ auf die Hinterachse. Es ergibt sich folgender Zustand:

Vorderachse: Spurkranz mit $P' + \frac{2}{3}P'' + \frac{1}{3}P'''$ außen angedrückt; die Lager drücken mit $\frac{2}{3}P'' + \frac{1}{3}P'''$ nach außen gegen die Achse.

Zweite und dritte Achse: Spurkränze frei; die Achsen drücken mit den Kräften P'' beziehungsweise P''' nach außen gegen die Lager.

Hinterachse: Spurkränze frei; die Lager drücken mit $\frac{1}{3}P'' + \frac{2}{3}P'''$ nach außen gegen die Achse. Wäre nun dieser Druck gleich der Reibung, welche die radiale Stellung der Achse zu halten sucht, so würde die Stellung des Fahrzeuges keine bestimmte sein. Im allgemeinen wird die Hinterachse radial stehen, wenn die hinteren — die dritte Achse, wenn die vorderen Achsen stärker belastet sind. Letzterer Zustand wird aber für das Durchfahren von Bögen vorteilhafter sein, da sich das vierachsige Fahrzeug dann ebenso bewegt, als wenn der Gesamtradstand nur $\frac{2}{3}l$ betrüge. Dies führt auf ein durch Helmholtz vorgeschlagenes Vergleichsmaß, den »ideellen oder begrifflichen Radstand«. Es ist dies der Abstand einer Achse von einem mit ihr gleichlaufenden Halbmesser; wenn man sagt: eine Achse hat l^m begrifflichen Radstand, so heißt dies: der Anschneidewinkel der Achse ist derselbe wie bei der Vorderachse eines steifachsigen vierräderigen Fahrzeuges von l^m Radstand.

Aus dem Vorhergehenden tritt die Unzweckmäßigkeit der Eisenbahnfahrwerke mit drei festgelagerten Laufwerken zum Durchfahren von Bögen grell zutage; denn was an Zugkraft für ihre Fortbewegung in Krümmungen verloren geht, das wird überdies zur Abnutzung von Rädern und Schienen verbraucht. Das zeigte auch sehr bald die Erfahrung, so daß schon frühzeitig das Bestreben dahin ging, die Wagen unter Beibehaltung ihrer Grundgestalt zum Durchfahren der Kurven dadurch geeigneter zu machen, daß man der Mittelachse in ihrer Längsrichtung einiges Spiel gewährte, das ihr eine Verschiebung im Bogen nach außen hin gestattete.

Es ist ganz selbstverständlich, daß in einem Radsatz, dessen gleichstark belastete Räder in gerader Bahn auf ungleichen Laufkreisen rollen, das kleinere Rad einen Teil seines Weges gleitend zurücklegen muß, nachdem die Länge dieses Weges durch die Umdrehungen des größeren Rades bestimmt erscheint. Daraus folgt, daß jeder Radsatz, dessen Räder in gerader Bahn auf ungleichen Kreisen oder in der Bahnkrümmung auf Laufkreisen rollen, deren Durchmesser nicht im Verhältnisse der Bahnkreishalbmesser stehen, auf das Rahmengestell, in dem er gelagert ist, ein wagrechtes Drehmoment ausübt. Dasselbe sucht die Achse derart zu drehen, daß das Rad mit dem verhältnismäßig größeren Laufkreise vorzulaufen, das andere zurückzubleiben strebt; es ist gleich der Reibung eines Rades auf der Schiene multipliziert mit der Spurweite und tritt auf, sobald eine Abweichung von dem richtigen Verhältnisse der Laufkreise vorhanden ist, mag diese nun größer oder kleiner sein. Es kann also auch beim zweiachsigen Fahrzeuge wegen des verkehrten Laufes der Hinterkegel ein Drehmoment auftreten, das den Spurkranzdruck an der Vorderachse vermehrt. Der Zuwachs ist aber verhältnismäßig gering; er kann unter Umständen auch durch ein entgegengesetztes Moment der Vorderachse ganz oder teilweise aufgehoben werden.

Wenn mehrere Achsen eines Fahrzeuges anschneiden, so ist für das Fahrzeug

selbst die am stärksten anschneidende Achse maßgebend, da das Scharflaufen der Spurkränze auch nur einer Achse für die Außerbetriebsetzung des Fahrzeuges zwecks Nachdrehen des Radreifens oder Ersatz desselben durch einen neuen bestimmend ist. Die Abnutzung des Gleises erscheint von der Summe der anschneidenden Achsen abhängig. Wahrscheinlich wird das Gleis durch zwei schwächer anschneidende Achsen weniger angegriffen, als durch eine stärker anschneidende Achse. Kleine Räder müssen sich rascher abnutzen, als große, weil bei ihnen derselbe Punkt öfter mit der Schiene in Berührung kommt; das lehrt übrigens auch die Erfahrung. Aus dem gleichen Grunde dürften wohl auch die Schienen voraussichtlich länger halten als die Räder. Sind Radkränze und Schienen aus dem gleichen Stoffe, so kann man annehmen, daß die Summe der Abnutzung aller Schienenköpfe annähernd gleich sein werde der Summe der Abnutzung aller Radreifen. Bei den Lokomotiven wird die führende Einwirkung der Schienen auf die anlaufenden Räder auch durch die Zugkraft beeinflusst; sie ist also bei Leerlauf anders, als bei Lokomotiven, die volle Zugkraft ausüben; ebenso nimmt der Mehr- oder Minderbetrag der Zentrifugalkraft gegenüber der infolge der Schienenüberhöhung auftretenden Seitenkraft des Gewichtes bestimmenden Einfluß auf die Stellung der Lokomotive im Bogen. Die Abnutzung der Radreifen, welche der am Rad auftretenden Reibungsarbeit oder bei gleicher Belastung dem Abstand des Berührungspunktes vom Reibungsmittelpunkte proportional ist, wird aus diesem Grunde beim führenden Vorderrade am größten sein. Uebelacker¹⁾ bemerkt daher ganz richtig, daß es unvorteilhaft ist, einer gekuppelten Achse die ausschließliche Führung zu übertragen, weil das Abdrehen derselben auch das Abdrehen der übrigen Räder zur Folge hat.

Es sei hier noch auf die Sicherheit gegen Entgleisen eines Fahrzeuges hingewiesen. Wie aus Abb. 67, die der wiederholt genannten Studie Übelacker's entnommen ist, ersichtlich wird, kann die Entgleisung eines normal profilierten Rades als unvermeidlich angesehen werden, wenn dasselbe bereits bis zum Beginn *A* des geradlinigen Stückes *AB* des Spurkränzes aufgestiegen ist. Bezeichnen wir die Kraft, welche ein derartig starkes Anpressen des Rades zu bewirken vermag, mit P_a , so gibt uns das Verhältnis dieser Kraft zu der wirklich auftretenden Kraft P , also $\frac{P_a}{P}$ den Sicherheitskoeffizienten gegen Entgleisung an. Diese Kraft P_a , z. B. ein zufälliger Stoß, müsste natürlich solange wirksam bleiben, bis der äußere Rand des Spurkränzes auf der Schiene läuft, also wenigstens auf die Strecke $\frac{\delta}{\operatorname{tg} \alpha}$, wenn δ die wagrecht gemessene Länge des Stückes *AB* und α den Anlaufwinkel bezeichnet. Bei scharfgelaufenen Rädern, die in zwei Punkten die Schiene berühren, bestimmt sich die Neigung des Flächenelementes, in welchem die scharfe Kante des Spurkränzes an der Schienenkopfabrundung anliegt, aus Radhalbmesser, Spurkranzhöhe und Halbmesser der Schienenkopfabrundung.

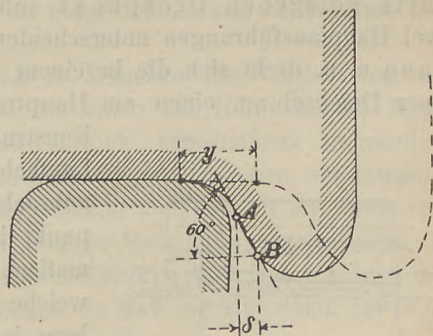


Abb. 67.

¹⁾ Am angegeb. Orte, Bem. 1, S. 120.

§ 18. **Konstruktive Mittel zur Verminderung der Abnutzung von Spurkränzen und Schienen in Bahnkrümmungen.** — Die Fahrzeuge sind im Laufe der Zeit immer schwerer, die Krümmungsverhältnisse immer ungünstiger geworden; so hätte der Verschleiß an Rad und Schiene schließlich ein bedrohliches Maß erreichen müssen, wenn nicht eifrig nach Vorbeugungsmitteln geforscht worden wäre. Der Übergang vom Eisen zum Stahl, das Schmieren der Spurkranzhohlkehlen und das Auffinden einer zweckmäßigen Form für die letzteren waren die nächstliegenden Vorkehrungen. Hand in Hand mit denselben ging die Herstellung beweglicher Radgestelle und verschiebbarer oder lenkbarer Achsen.

Bewegliche Radgestelle — Drehgestelle, Drehschemel, Truckgestelle — wurden schon im Jahre 1825 von Stephenson bei den Lokomotiven angebracht; im Jahre 1831 hat Ross Winans in Amerika die ersten Personenwagen mit zwei vierräderigen und sechsräderigen Drehgestellen gebaut und damit die Frage gelöst, lange Wagenkästen zu verwenden, ohne die Kurvenbeweglichkeit zu beeinträchtigen. Bis dahin hatte man bei langen Wagen in der Regel drei Achsen verwendet, oder auch die Längsträger der Wagenkasten als Tragwerk ausgebildet und nur zwei Achsen angeordnet; allerdings konnten solche Wagen nur schwache Krümmungen anstandslos durchlaufen. Der ruhige Gang dieser dreiachsigen Wagen, der wohl nur eine Folge des großen Radstandes war, rechtfertigte das lange Festhalten an dieser Type, die — wie wir gesehen haben — für den Lauf durch Bogen nicht günstig ist. Gegenwärtig erhalten sehr lange Wagen, ebenso wie die Lokomotiven, vielfach Drehgestelle mit einer Achse, mit zwei oder drei Achsen. Auf die allgemeine Bauweise derselben wurde schon hingewiesen (S. 79).

Zu den ältesten, namentlich bei Güterzuglokomotiven auf amerikanischen Bahnen häufig vorkommenden Konstruktionen gehört die Anordnung einer um einen rückwärts gelegenen Drehpunkt schwingenden Laufachse. Man kann bei ihr zwei Hauptausführungen unterscheiden: bei den Konstruktionen von Bissel, Hartmann u. a. dreht sich die in einem besonderen Gestell gelagerte Laufachse mittels einer Deichsel um einen am Hauptrahmen angebrachten Zapfen (Abb. 68); bei der Konstruktion von Adams werden die Achslager der Laufachse von Gleitflächen, die am Hauptrahmen angebracht sind, in einem Kreisbogen geführt; der Drehpunkt ist nur ideell. Beide Anordnungen sind kinematisch genau dasselbe. Als Rückstellungsvorrichtungen, welche die Laufachse bei Auslenkungen aus der Mittel-lage in diese zurückzuführen suchen, dienen Federn oder Keilflächen, auf die der Hauptrahmen aufsteigt; bei den amerikanischen Lokomotiven erfolgt die Rückstellung durch Aufhängung der auf die bewegliche Achse entfallenden Last mittels einer Wiege am Laufachsgestelle.

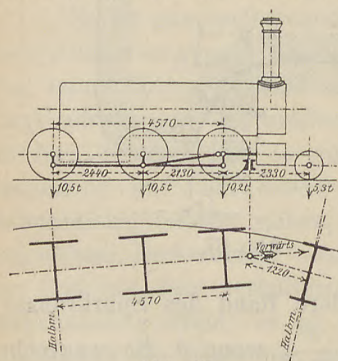


Abb. 68.

Bezüglich des Anlaufens der Achsen kommen praktisch nur drei Fälle in Betracht: ¹⁾

1) Die Laufachse läuft am äußeren Schienstrange an; alle übrigen Achsen laufen frei;

¹⁾ Vgl. Übelacker, Bewegung von Lokomotiven mit Drehgestellen. Seine interessanten Ausführungen finden im weiteren wiederholt Erwähnung.

2) Laufachse und erste Kuppelachse laufen gleichzeitig am äußeren Schienenstrange an.

3) Die Laufachse läuft am äußeren, die hintere Kuppelachse gleichzeitig am inneren Schienenstrange an.

Der erste Fall tritt in Bögen von größerem Halbmesser ein und geht bei wachsendem Halbmesser in den zweiten Fall über, während der dritte Fall für scharfe Bögen bestimmend ist. Am günstigsten ist Fall 1, in welchem die Laufachse radial steht und auch die Widerstände gering sind, wie auch der Führungsdruck sehr klein wird. Bei Rückstellung durch Keilflächen kann in Krümmungen mit kleinem Halbmesser bei vierachsigen Lokomotiven ein gleichzeitiges Anlaufen dreier Achsen eintreten.

Für den Rückwärtsgang bietet das Bissel-Gestell keinen Vorteil; es erschwert ihn vielmehr etwas gegenüber festen Achsen. Lokomotiven nach Abb. 69 laufen vorwärts geräuschlos durch dieselben Krümmungen, in denen sie rückwärts fahrend gewaltig knirschen. Wenn die Lokomotiven, z. B. Tenderlokomotiven, an jedem Ende ein Bissel-Gestell erhalten, wie dies in Amerika häufig vorkommen soll, so sind sie auch für beide Fahrtrichtungen gleich geeignet. Dreiachsige Lokomotiven mit zwei gekuppelten Achsen und einer Bissel-Achse, bei denen schwere Teile, wie Zylinder, Kohlenbehälter usw. noch weit über die letztere hinausragen, sind trotz ihrer Gelenkigkeit für das Gleis schädlich, weil bei ihnen ein Herumschleudern der überhängenden Enden und ein stoßweises Einstellen der Laufachse eintreten muß, namentlich bei Lastübertragung durch geneigte Gleitflächen, die schwer in guter Schmierung zu erhalten sind und eine große Reibung der Ruhe haben.

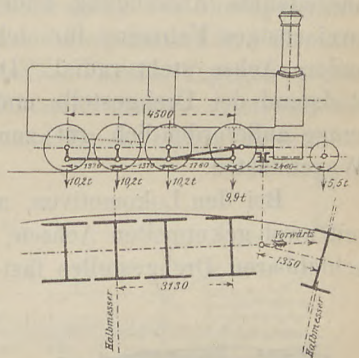


Abb. 69.

In neuerer Zeit (1889—1891) hat Krauß in München die Vorderachse der Lokomotive nach Art der Bissel-Konstruktion um einen am Haupttrahmen festen Zapfen drehbar und die nächstfolgende Achse seitlich verschiebbar angeordnet (Krauß'sches Drehgestell). Ehe wir auf dessen Beschreibung eingehen, sei erwähnt, daß die Anwendung seitlich verschiebbarer Achsen schon ziemlich alt ist; man verfolgte mit ihnen hauptsächlich den Zweck, bei langem Radstande ein Zwängen in den scharfen Krümmungen zu verhindern. Hauptsächlich wurde die Vorderachse oder eine Mittelachse seitlich verschiebbar eingebaut, so daß sie aber bei der Verschiebung ihre parallele Lage zu den übrigen Achsen beibehielt. Wenn die verschiebbare Mittelachse die Führung übernimmt oder wenn bei Anlaufen der verschiebbaren Vorderachse noch eine weitere Achse zum Anlaufen kommt, dann wird der Führungsdruck an der Vorderachse vermindert; eine Verminderung der Reibungsarbeit wird aber durch solche Achsen nicht erreicht.

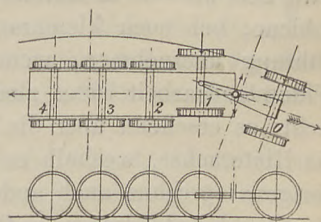


Abb. 70.

Das Krauß'sche Drehgestell kann als eine Art zweiachsiges Drehgestell aufgefaßt werden (Abb. 70); die Deichsel der Laufachse ist nach rückwärts verlängert und nimmt beim Auschwingen die zweite Achse durch Anschläge mit; bei Güterzuglokomotiven kann die

verschiebbare Achse mit der Treibachse gekuppelt und somit das auf ihr ruhende Gewicht nutzbar gemacht werden. Im Bogen laufen stets die Laufachse und die verschiebbare Achse — die nach obigem auch erste Kuppelachse sein kann — an der Außenschiene an, während die Hinterachse fast bei allen Halbmessern an der Innenschiene anläuft, wodurch die Führungskräfte an den Vorderrädern eine kleine Abschwächung erfahren. Lokomotiven mit Kraußschem Drehgestell sind für Bögen mit sehr kleinen Halbmessern (nach Übelacker für Bögen mit Radien unter 375 m) außerordentlich günstig, sowohl bezüglich der Größe der Führungskräfte, als bezüglich der Widerstände und zwar auch bei Entwicklung bedeutender Zugkräfte.

Das Kraußsche Drehgestell zeigt große geometrische Übereinstimmung mit dem zweiachsigen, um einen festen Zapfen drehbaren Gestell, das auch als amerikanisches Drehgestell bekannt ist und bei Personenwagen und Lokomotiven ausgedehnte Anwendung findet. Bei den Wagen läuft jedes Drehgestell wie ein zweiachsiges Fahrzeug für sich. Die erste Achse jedes Drehgestelles läuft an, die andere Achse steht radial. Der »begriffliche Radstand« ist gleich dem wirklichen Radstand der Drehgestelle und da dieser sehr klein ist, so eignen sich solche Fahrzeuge außerordentlich gut zum Durchlaufen scharfer Krümmungen bei sehr langen Wagenkasten.

Bei den Lokomotiven, namentlich bei den Schnell- und Personenzuglokomotiven mit zwei gekuppelten Achsen, ist jetzt die Anordnung eines vorderen, seitlich verschiebbaren Drehgestelles fast allgemein üblich (Abb. 71); in Amerika erhalten sehr häufig auch die schweren Güterzuglokomotiven ein solches Gestell. Hierbei kann die Drehung des Gestelles ungehindert erfolgen, während sich der seitlichen Verschiebung Federkräfte oder seitliche Gewichtskomponenten (bei Anordnung einer »Wiege«) entgegenstellen. Der seitliche Ausschlag ist durch Anschläge auf 30 mm festgesetzt. Bei Leerlauf der Lokomotive wird in Bögen bis zu 500 m Halbmesser und bei arbeitender Lokomotive in solchen bis etwa 1000 m Halbmesser nur die Vorderachse anlaufen; bei noch größeren Halbmessern erfolgt die Führung der

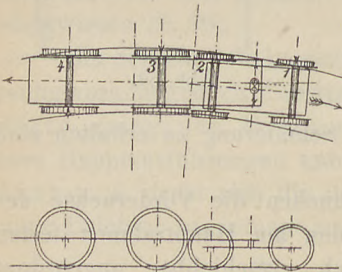


Abb. 71.

Lokomotive durch die vordere Laufachse und die erste oder zweite Treibachse am äußeren Schienenstrange; letztere gelangt jedoch nur dann zum äußeren Anlaufe, wenn die Spurkränze der Treibräder schwächer gedreht sind. In sehr scharfen Bögen (bei etwa 200 bis 300 m Halbmesser) gelangt die Hinterachse zum Anlauf an der inneren Schiene; bei noch kleineren Halbmessern kann auch die vorletzte Achse die innere Führung übernehmen, wenn sie normale Spurkränze besitzt. In bezug auf die Widerstandsarbeit ist es ziemlich gleichgültig, ob die Vorderachse allein anläuft oder nicht; es erscheint aber die Führung durch die vorletzte Achse vorteilhafter als durch die Hinterachse, weshalb es angezeigt ist, die Spurkränze nicht schwächer zu drehen, übrigens sprechen auch andere Gründe gegen die Schwächung der Spurkränze; vgl. hierüber Übelacker a. a. O. S. 25.

Schon im ersten Kapitel wurde darauf hingewiesen, daß anlässlich der Preisausschreibung für Lokomotiven für die Eisenbahn über den Semmering mehrere Lokomotivbauarten auftauchten, welche aus dem Bestreben hervorgegangen waren: Lokomotiven von großer Leistungsfähigkeit und großer Beweglichkeit in Kurven zu

schaffen. Den Preis hat damals (1851) die Lokomotive »Bavaria« von Maffei in München errungen. Die Achsen des Tenders waren, gleich denen der Lokomotive, unter sich durch Kuppelstangen verbunden; zur Übertragung der Bewegung von den Lokomotiv- auf die Tenderachsen, sowie gleichzeitig zur Kuppelung von Lokomotive und Tender diente eine Gelenkkette ohne Ende. Hierdurch war allerdings Beweglichkeit im Bogen und Verwertung des Gesamtgewichtes von Lokomotive und Tender zur Ausnutzung der Zugkraft erreicht, allein es fehlte an Dauerhaftigkeit; es war nicht möglich, auch nur acht Tage lang die Kette dienstfähig zu erhalten, so daß man mit dieser Lokomotive über die Probefahrten überhaupt nicht hinausgekommen ist.

Bekanntlich hat Engerth den Gedanken der »Bavaria« unter Verwertung der bei den Probefahrten gewonnenen Erfahrungen in einer besonderen Konstruktion in verbesserter Form zum Ausdruck gebracht. Die Übertragung der Bewegung auf die für sich gekuppelten Tenderachsen erfolgte mittels dreier Zahnräder, die sich aber ebensowenig dauerhaft erwiesen wie Maffei's endlose Kette; dagegen erwies sich die Zusammenhängung zwischen Lokomotive und Tender ebenso geistreich als richtig. Die Engerth'sche Kuppelung von Lokomotive und Tender (Abb. 72) schließt eine seitliche Verschiebung zwischen Maschine und Tender aus und gestattet nur eine gegenseitige Drehung um einen bestimmten Punkt. Die feste Tenderkuppelung übt einen günstigen Einfluß auf den Spurkranzdruck der vorderen Lokomotivachse aus, da der Kuppelungspunkt hinter der letzten Lokomotivachse liegt; der Tender drängt in diesem Punkte nach außen und sucht, indem die Hinterachse der Lokomotive als Stützpunkt dient, die Vorderachse vom äußeren Schienenstrange abzudrängen. Die günstigste Lage des Kuppelungspunktes wird

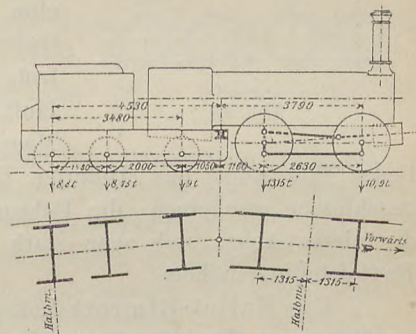


Abb. 72.

jene sein, bei der das Hinausdrängen des Tendervorderteiles stärker ist, als das Hereindrängen des Maschinenhinterteiles, so daß die Maschine in der Sehne zu laufen gezwungen und der begriffliche Radstand der Lokomotivvorderachse verringert wird. Feste Tenderkuppelungen wurden nach Engerth auch von anderen Konstrukteuren ausgeführt. Lokomotiven dieser Bauart sind gute Bogenläufer. Die Abbildung 72 stellt eine Personenzuglokomotive der österreichischen Staatseisenbahngesellschaft dar.

Die durch Maffei in München und Kirchwegger in Hannover vorgeschlagene Anwendung einer Blindachse zur Übertragung der bewegenden Kraft auf die Achsen des Tenders ist zehn Jahre später durch Pius Fink verbessert und auf die Berglokomotive »Steierdorf« angewendet worden; sie soll sich trefflich bewährt haben, hat aber keine weitere Verwendung gefunden.

Der nach Plänen des Ingenieurs Lausmann durch Cockerill in Seraing (Belgien) zum Wettbewerbe am Semmering gelieferten Doppellokomotive »Seraing« begegnen wir nach 20 Jahren wieder als »Fairlie-Lokomotive«, als welche sie namentlich auf Schmalspurbahnen, z. B. auf der Festiniogbahn, sowie in Sachsen, im allgemeinen, bis auf die in der verwickelten Bauart begründeten häufigen Ausbesserungen, sehr gut entspricht. Eine zweite Grundform von Doppellokomotiven der wir zum ersten Male auf der Semmeringbahn 1851 begegnen, nämlich die Loko-

motive »Wiener Neustadt« von Günther in Wiener Neustadt und der ihr ähnliche Entwurf von Cockerill ist 1873 auf der Wiener Weltausstellung als Meyersche Tenderlokomotive wieder aufgetaucht und hat in der 1889 auf der Weltausstellung zu Paris vorgeführten Doppelverbund-Tenderlokomotive von Mallet eine sehr vollkommene Ausbildung erfahren. Wesentliche Konstruktionsergänzungen wurden an dieser Lokomotive durch Rimrott vorgenommen.

Die Lokomotive von Mallet und Rimrott repräsentiert die gegenwärtige Form von Lokomotiven mit zwei Triebgestellen. Sie besitzt ein Hauptgestell und ein Nebengestell; ersteres trägt Kessel und Führerstand und enthält die beiden hinteren Achsen; in letzterem sind die beiden vorderen Achsen gelagert; es ist um einen rückwärts ungefähr in der Längsmittle der Lokomotive liegenden Zapfen drehbar angeordnet. Die Achsen jedes Gestelles sind gekuppelt und werden von den Hochdruck- bzw. Niederdruckzylindern angetrieben (Abb. 73). Starke Federn

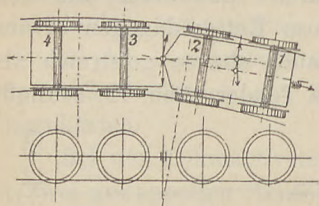


Abb. 73.

erhalten das Vordergestell in der Mittellage oder ziehen es in sie zurück, wobei der auf das führende Vorderad ausgeübte Druck der äußeren Schiene auf den Haupttrahmen übertragen wird. Die Federn besitzen eine Anfangsspannung, die bei Zusammenfallen der Gestellachsen vorhanden ist, damit das Vordergestell trotz seines geringen Eigengewichtes nicht unruhig läuft, was sonst infolge der hin- und hergehenden Massen eintreten würde. Diese Anfangsspannung der

Feder läßt auch das Anlaufen der Hinterachse am inneren Schienenstrang ausgeschlossen erscheinen; die Führung liegt ausschließlich in der Vorderachse, wobei die vierte Achse sich sehr stark und zwar weit mehr als die zweite Achse der Radialstellung nähert.

Die Mallet-Rimrott-Lokomotive gehört in bezug auf die Widerstandsarbeit im Bogen zu den günstigsten Lokomotivkonstruktionen; dagegen ist ihr Führungsdruck in stark gekrümmten Gleisen verhältnismäßig hoch.

Als ein besonders glücklicher Griff im Hinblick auf die angestrebte Verminderung der Widerstände in Bögen erscheint die Einführung der Lenkachsen (siehe § 11). Die Versuche mit solchen Achsen betrafen ursprünglich nur Wagen mit höchstens 6,5 m Radstand; durch den Erfolg ermutigt dehnte man sie 1892 auf zweiachsige

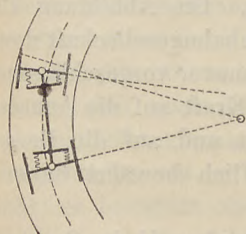


Abb. 74.

Wagen von 8,4 m Radstand aus¹⁾. Bei den freien Lenkachsen besteht lediglich ein gewisser Spielraum zwischen den Achslagern und ihren Führungen; der hintere Radsatz eines zweiachsigen Fahrzeuges stellt sich dann von selber nach dem Krümmungsmittelpunkte ein (Abb. 74); damit sich aber auch die Vorderachse, die außen anläuft, richtig einstellt, ist es notwendig, daß der Laufkreis des äußeren Rades größer wird, als der des inneren. Infolge des Seitendruckes des anschneidenden Rades kommt nun dessen Laufkreis ganz in die Hohlkehle

zu liegen, so daß derselbe, auch bei nahezu zylindrischen Laufflächen, einen beträchtlich großen Durchmesser erhält. Für vordere Lenkachsen ist daher die von Wöhler empfohlene Flanschenform wichtig.

¹⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1892.

In scharfen Bahnkrümmungen kommt es vor, daß vordere, freie Lenkachsen sich unvollkommen oder gar nicht radial stellen, während die Hinterachsen dies stets tun. Aber auch bei festgelagerter Vorderachse würde auf sie eine hintere freie Lenkachse günstig einwirken, indem sie ein Hinauslaufen des Hinterteiles des Fahrzeuges, hiermit eine der Sehne sich nähernde Stellung des Radstandes und eine Verkleinerung des Anschneidewinkels der Vorderachse zur Folge hat. Es ist klar, daß die Spurkranzabnutzung freier Lenkachsen bedeutend geringer sein muß, als die der festen Achsen, weil die als Vorderachse laufende Lenkachse nur während eines Teiles der Gesamtzeit überhaupt anschneidet und sich ihr begrifflicher Radstand in den Zwischenzeiten um den Wert Null herum bewegt. Im Zusammenhange mit der geringeren Abnutzung wird eine beträchtliche Verminderung des Zugwiderstandes in Krümmungen erzielt, da die Räder auf richtigeren Laufkreisen rollen als bei festen Achsen.

Versuche mit freien Lenkachsen ergaben bezüglich der Widerstände folgendes:

1) Die Vergrößerung des Längsspielraumes zwischen Achsbüchsen und Achshaltern von 5 mm auf 10 mm hatte bei Wagen von 4,86 m Radstand eine Verminderung des Zugwiderstandes von 3,25 bis 10,47% oder im Durchschnitte von 17% im Gefolge.

2) Personenwagen von 8,4 m Achsstand mit freien Lenkachsen von 30 mm Spielraum in der Gleisrichtung erforderten eine 18,7 bis 28,3% ige oder durchschnittlich 22% ige geringere Zugkraft als Wagen von 4,86 m Radstand und nur 10 mm Längsspielraum.

Die Bedingungen für die richtige Einstellung der Vorderachse sind um so weniger erfüllt, je kleiner der Krümmungshalbmesser im Verhältnisse zur Spurweite, je größer der Raddurchmesser und je schwächer die Radreifenkegelform, oder vielmehr je weniger geschickt die Form der Hohlkehlenprüfung gewählt ist. Nicht anwendbar sind daher freie Lenkachsen bei vollspurigen Bahnen mit sehr scharfen Krümmungen wie Trambahnen, dann bei Lokomotivlaufrädern von ungewöhnlich großem Durchmesser, von etwa 1,4 m, wie sie in England und Frankreich vorkommen. Wo die Möglichkeit eines stellenweisen Rollens der Räder auf den Spurkränzen vorliegt, sind Entgleisungen unausbleiblich.

Auch wäre noch zu bemerken, daß eine als Vorderachse laufende freie Lenkachse keinen Beharrungszustand erlangen kann, sondern um die radiale Stellung pendelt; daher kommt die bei Fahrzeugen mit freien Lenkachsen erwiesene Neigung zum Schlingern. Zur Beförderung des ruhigen Ganges bei großen Geschwindigkeiten trägt es bei, wenn der Radstand im Verhältnisse zur Kastenlänge tunlich groß gewählt wird.

Die Hinterachse eines Fahrzeuges stellt sich infolge der größeren Unrichtigkeit der Laufkreise rasch ein und tritt in einen Beharrungszustand. Dieser Umstand ließ es zweckmäßig erscheinen, die beiden Achsen durch Gestänge so miteinander zu verbinden, daß sie sich nur gleichzeitig und in umgekehrter Richtung gegen den Hauptrahmen verstellen können. Solche Bauarten nennt man gekuppelte oder zwangläufige Lenkachsen (siehe § 11). Die bei Wagen mit solchen Lenkachsen erzielten Schaulinien sind nach Volkmar's Versuchen vom Jahre 1892 unruhiger als bei freien Lenkachsen¹⁾; Versuche, die im Jahre 1894 angestellt wurden, zeigten,

¹⁾ Siehe Volkmar, Lenkachsen, in Röll's Encyklopädie des Eisenbahnwesens, S. 2239.

daß der Zugwiderstand bei dreiachsigen Wagen mit freien Lenkachsen von 7 m Radstand um 15,5 bis 29% oder durchschnittlich um etwa 22% geringer war als bei den nämlichen Wagen mit zwangsläufigen Lenkachsen.

Es ist übrigens kein Zweifel darüber, daß bei hinreichend kräftigem Gestänge, wo keinerlei störende elastische Formänderungen wahrnehmbar werden, ein vollkommen sicheres Einstellen der zwangsläufigen Lenkachsen in die radiale Stellung und ein Beharren darin, daher tadellos ruhiger Gang zu erzielen sein werde. Bei Lokomotiven, wo die zwangsläufige Einstellung vom Tender aus erfolgen muß und der Platz in der Regel ein sehr beschränkter ist, wird das erforderliche Gestänge und Hebelwerk meist ein etwas künstliches, wenigstens insofern es sich um Einstellung der Vorderachse handelt. Die Anordnung von lenkbaren Kuppelachsen, wie bei Klose's Radiallokomotive, ist nur unter Verzicht auf die Einfachheit des Treibwerkes möglich. Trotzdem hat diese Lokomotive wiederholt bei schwer belasteten Gebirgsbahnen — und nicht ohne Erfolg — Anwendung gefunden.

Dritter Abschnitt.

Anordnung und Gestalt der Bahn in Krümmungen und Geraden.

§ 19. **Überhöhung des äußeren Schienenstranges in Bögen.** — Nicht allein die Stellung des Fahrzeuges im Bogen, auch das Auftreten der Fliehkraft bei der Fahrt im krummen Gleise erzeugt ein starkes Drängen der Spurkränze gegen die äußere Schiene. Dieses Drängen erhöht die Gefahr der Entgleisung und führt zu bedeutender Abnutzung der Schienen und der Räder. Durch richtig geformte Spurkränze wird zwar, wie die Erfahrungen lehren, die Entgleisungsgefahr wesentlich vermindert, nahezu völlig beseitigt, so daß von einer Gefährdung der Sicherheit des Betriebes kaum die Rede sein kann; dagegen sind es wirtschaftliche Momente, welche es notwendig erscheinen lassen, das Andrängen der Spurkränze im Bogen zu verhüten, um dem raschen Verschleiß des Materials vorzubeugen. Geeignete Mittel hierfür sind in der Anordnung von Lenkachsen und Drehgestellen einerseits und andererseits in der Höherlegung des äußeren Schienenstranges gegenüber dem inneren Strange gegeben. Die letztere Anordnung bewirkt eine Verminderung der Fliehkraftwirkung.

In Abbildung 75 bezeichnen G das Gewicht des Wagens, $C = \frac{mv^2}{R}$ die Fliehkraft, β den der Überhöhung h des äußeren Stranges entsprechenden Neigungswinkel, s die Spurweite. Die Fliehkraft C kann das Fahrzeug nur dann gegen die äußere Schiene drängen, wenn ihre Seitenkraft $C \cos \beta$ die Seitenkraft des Wagengewichtes $G \sin \beta$ und die zwischen Rad und Schiene auftretende Reibung $f G \cos \beta$ zu überwinden vermag, wenn also

$$C \cos \beta > G \sin \beta + f G \cos \beta.$$

ist. Diese Wirkung der Fliehkraft wird um so eher auftreten, wenn die Radachsen zufälligerweise entlastet sind, also $f G \cos \beta = 0$ ist, was bekanntlich im Betriebe nicht ausgeschlossen erscheint; dann genügt schon eine Fliehkraft, welche nur etwas größer ist als $G \sin \beta$, um ein stärkeres Andrängen der Spurkränze an die äußere Schiene zu bewirken. Soll nun dieser Wirkung der Fliehkraft ein Gegendamm gesetzt werden, so muß

$$G \sin \beta = C \cos \beta \tag{I}$$

sein.

Da β sehr klein ist, höchstens 6° , so kann man $\cos \beta = 1$ setzen und erhält dann

$$G \sin \beta = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

oder schließlich

$$h = \frac{s \cdot v^2}{g R}; \tag{II}$$

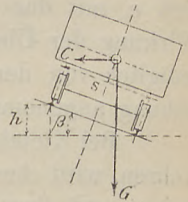


Abb. 75.

für $s = 1,435$ ergibt sich dann

$$h^m = 0,0117 \cdot \frac{(V_{\text{km/St.}})^2}{R^m}$$

In einem mit der aus (II) berechneten Überhöhung ausgeführten Gleisbogen wird die Seitenkomponente der Schwerkraft jener der Fliehkraft gerade das Gleichgewicht halten. Ist die bestehende Überhöhung $h, < h$, so wird die Fliehkraft — ist $h, > h$, so wird die Seitenkomponente überwiegen; um im ersteren Falle eine Verschiebung nach außen, im zweiten Falle eine solche nach innen zu bewirken, muß — falls nicht momentan eine Entlastung der Achsen besteht — die Reibung zwischen Rädern und Schienen überwunden werden. Auf eine solche kann aber, wie schon betont wurde, nicht unter allen Umständen unbedingt gerechnet werden. Es ist also bei zu kleiner Überhöhung für einen bestimmten Wert der Fliehkraft $C = \frac{mv^2}{R}$ ein starkes Andrängen der Spurkränze an den äußeren Schienenstrang unvermeidlich und auch die Gefahr der Entgleisung eine erhöhte; bei zu großer Überhöhung für ein bestimmtes $C = \frac{mv^2}{R}$ tritt ein Drängen gegen den inneren Strang auf und es wird hier eine ähnliche Abnutzung der Schienen wie am äußeren Strange die natürliche Folge sein.

Fliehkraft F und Schwerkraft G ergeben eine Mittelkraft, welche unter dem Winkel $\text{tg } \alpha = \frac{F}{G}$ zur Lotrechten durch den Schwerpunkt gerichtet ist. Sie bewirkt bei nicht überhöhtem Gleise eine ungleiche Belastung der Räder jedes Radsatzes, wobei das äußere Rad mehr belastet ist, als das innere. Die Mehrbelastung des äußeren Rades wirkt günstig gegen das Aufsteigen desselben, also gegen die Entgleisung; sie bewirkt aber eine größere Abnutzung des betreffenden Rades und der betreffenden Schienen. Es ist also vorwiegend das wirtschaftliche Moment, das sich geltend macht. Die Größe der in einem gegebenen Bogen vom Halbmesser R bei der gegebenen Spurweite s wach werdenden Fliehkraft wechselt mit der Fahrgeschwindigkeit v , mit der sich das Fahrzeug durch den Bogen bewegt. Die stetig günstige Wirkung der Überhöhung ist mithin — nach den eben gegebenen Erörterungen — lediglich von der unveränderlichen Beibehaltung der für die Berechnung der Überhöhung angenommenen Fahrgeschwindigkeit v abhängig.

Bei Kleinbahnen, auf denen alle Züge mit derselben Fahrgeschwindigkeit verkehren, wird eben diese Fahrgeschwindigkeit der Berechnung der Überhöhung zugrunde gelegt und diese wird sonach in allen Fällen zweckentsprechend sein. Anders ist es bei Bahnen, auf denen Züge verschiedener Art, also mit verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten laufen. Es ist nun die Frage, welcher Wert für die Geschwindigkeit V in die fragliche Formel für h einzusetzen ist. Gewöhnlich bemißt man die Überhöhung des äußeren Schienenstranges nach der größten vorkommenden Fahrgeschwindigkeit, wobei man wohl vor allem, aber vielleicht nicht gerechtfertigterweise die Betriebssicherheit im Auge hat. In diesem Falle wird allerdings bei den Schnellzügen die Abnutzung gering sein; für alle übrigen Züge tritt jedoch — wie schon erwähnt — am inneren Schienenstrange eine Abnutzung auf, die mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit wächst. In Deutschland und Österreich hat sich die Gepflogenheit eingebürgert, für Hauptbahnen eine »mittlere« Fahrgeschwindigkeit von 62 bis 64 km in der Stunde in Rechnung zu bringen, so daß

$$h^{\text{mm}} = \frac{45000}{R^m} \quad \text{oder} \quad h^{\text{mm}} = \frac{48000}{R^m}$$

wird.

Diese Annahme kann natürlich nicht überall den Bedürfnissen entsprechen. Man müßte also von Fall zu Fall einen Mittelwert v_0 zu finden trachten, welcher der Gleichung für h derart entspräche, daß die Abnutzung unter gegebenen Betriebsverhältnissen am kleinsten würde. Dann würde man für die betreffende Bahn die Bestimmungsgleichung erhalten:

$$h = \frac{s \cdot v_0^2}{gR} = \frac{K}{R},$$

worin K einen Festwert bezeichnet, der aber keineswegs allgemeine, sondern nur eine auf den bestimmten Fall beschränkte Gültigkeit besitzt. Bezeichnen wir mit $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ die verhältnismäßige Anzahl der auf betreffender Linie jährlich verkehrenden Züge bestimmter Gattung, mit v_1, v_2, \dots deren durchschnittliche Geschwindigkeit und mit $\gamma_1, \gamma_2, \dots$ eine Erfahrungszahl oder das »Gewicht«, womit jede Fahrgeschwindigkeit und Zuggattung in Anrechnung zu bringen ist, so erhält man

$$v_0 = \frac{\alpha_1 \gamma_1 v_1 + \alpha_2 \gamma_2 v_2 + \alpha_3 \gamma_3 v_3 + \dots}{\alpha_1 \gamma_1 + \alpha_2 \gamma_2 + \alpha_3 \gamma_3 + \dots}$$

und sodann

$$K = \frac{s v_0^2}{g}$$

und schließlich

$$h = \frac{K}{R}. \quad (\text{III})$$

Es würde z. B. für die verkehrenden Schnell-, Personen- und Güterzüge das Verhältnis bestehen

$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 = 1 : 3 : 15;$$

ferner sei

$$v_1 = 20^{\text{m/Sek}}, v_2 = 15^{\text{m/Sek}}, v_3 = 8^{\text{m/Sek}};$$

die angestellten Beobachtungen über Schienenabnutzung hätten ergeben:

$$\gamma_1 = 8, \gamma_2 = 4, \gamma_3 = 1;$$

dann wäre

$$v_0 = \frac{1 \cdot 8 \cdot 20 + 3 \cdot 4 \cdot 15 + 15 \cdot 1 \cdot 8}{1 \cdot 8 + 3 \cdot 4 + 15 \cdot 1} = 13,15 \text{ m}$$

und für $s^* = 1,5$

$$K = 26,4 \text{ (Meter als Einheit),}$$

woraus folgt:

$$h^{\text{mm}} = \frac{26400}{R^{\text{m}}}.$$

Die Schwierigkeit für die Anwendung dieses Vorganges liegt in der Bestimmung der Werte von γ , die doch reine Erfahrungszahlen sind. Professor Kreuter hat in der ersten Auflage dieses Kapitels (Leipzig, 1897) angeregt, durch Stellung zweckmäßiger Fragen im Vereine Deutscher Eisenbahnverwaltungen Angaben zu gewinnen, um darnach die Erfahrungszahlen γ zu berechnen. Ein aufmerksamer Bahningenieur würde dann bald herausfinden, ob er die nach der richtigeren Berechnungsweise gefundenen Überhöhungen zu ermäßigen oder zu vergrößern habe. Darüber wird man überhaupt nie hinauskommen und unbedingtes Befolgen einer starren Schablone würde hier ebensowenig, wie auf anderen Gebieten der Ingenieurwissenschaften sich als ersprießlich erweisen. Entspricht aber die ursprünglich angebrachte Überhöhung einem Mittelwerte von v , dann werden die erforderlichen Nachbesserungen geringfügiger und deshalb wohlfeiler sein, als wenn man von einer mehr willkürlichen Annahme ausgeht. Kreuter glaubt, daß sich die Erhebungen bezüglich γ

sehr vereinfachen dürften, weil die Zahlen γ wahrscheinlich von der Achsenzahl, der Geschwindigkeit und dem Treibraddrucke, sowie dem Treibraddurchmesser abhängig sind und in dieser Hinsicht auf den Vereinsbahnen doch eine ziemlich große Übereinstimmung besteht.

Dem gegenüber ist nun aber doch zu erwägen, daß gerade in der Spezialisierung oder, vielleicht besser gesagt, in der Individualisierung der Wagen- und Lokomotivbauarten stetig mehr und mehr geleistet wird und damit auch die Unterschiede bei den einzelnen Bahnen selbst wachsen; die Ermittlung der Zahlenwerte γ wäre also gewiß sehr umständlich und überdies müßte die Berechnung bei allen wesentlichen Änderungen in den Betriebs- und Verkehrsverhältnissen der Bahn, die bei der fortschreitenden Steigerung des Verkehrs nicht selten sind, erneut und müßten dann auch jeweilig die vorhandenen Überhöhungen geändert werden, was allerdings bei größeren Gleisumstellungen unter Einem sich durchführen ließe. Auf diese Umstände weist Geh. Oberbaurat Blum eingehender im zweiten Kapitel des zweiten Bandes hin.

Hier wird auch ausführlich über die Untersuchungen berichtet, die der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen im Jahre 1892 veranstaltete, um die Frage der zweckmäßigsten Überhöhung zu praktischer Entscheidung zu bringen. Es kann ja füglich gar kein Zweifel darüber obwalten, daß die oben entwickelte Formel einen sehr fraglichen praktischen Wert besitzt; es ist ja dabei von einer Berücksichtigung aller in Wirklichkeit neben der Fliehkraft auftretenden, die Größe der seitlichen Kraft beeinflussenden Wirkungen Abstand genommen worden. Man ist daher vielfach zu einer praktischen Gebrauchsformel übergegangen, welche nach den Vorschlägen des mit dem Studium der Frage der Spurerweiterung betrauten Unterausschusses die übrigens auch schon früher vereinzelt angewandte Form

$$h = m \cdot \frac{V}{R}$$

besitzt, wobei für vollspurige Bahnen

$$m = 500 \text{ bis } 700$$

zu wählen wäre.

Die Versuche wurden im Jahre 1899 abgeschlossen; J. Sandner hat die Ergebnisse derselben im »Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens« 1899 mitgeteilt. Eine Gesetzmäßigkeit über den Einfluß der Schienenüberhöhung auf den Zustand und die Erhaltung des Gleises usw. läßt sich daraus schwer entnehmen oder gar nachweisen. Blum betont aber ganz zutreffend, daß sich mit Rücksicht auf die erfahrungsgemäße gleichmäßige Abnutzung beider Schienen in Gleisen mit vorwiegendem Personen- und nahezu gleichem Personen- und Güterverkehr die größeren Überhöhungen ($m \leq 700$) als die günstigeren zu erweisen scheinen; auch bei Gleisen mit vorwiegendem Güterverkehr haben sich die stärkeren Überhöhungen nicht ungünstiger gezeigt, als die niedrigeren. Es geht aber doch wohl nicht an, die größeren Überhöhungen ohne weiteres allgemein als die günstigsten zu erklären, denn für ein so abschließendes Urteil sind die gewonnenen Erfahrungen entschieden unzureichend.

Professor Petrlik¹⁾ kommt unter Berücksichtigung der Abnutzung der Räder

1 E. Mašik, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1899, S. 201.

und Schienen in einer streng theoretischen Studie zu dem Ergebnis, daß durch die Anwendung einer Überhöhung zwischen den Maßen

$$x^{mm} = 11 \cdot \frac{(V^{km/St})^2}{R^{m}}$$

und

$$x^{mm} = 11 \cdot \frac{V^{km/St}}{R^{m}} (V^{km/St} - 18)$$

die Seitendrucke und die Widerstände eine Verminderung erfahren würden. Er hält im allgemeinen zu große Überhöhungen für ungünstig und meint daher, daß die mit den jetzt gebräuchlichen Überhöhungen ausgeführten Bögen mit größeren Geschwindigkeiten durchfahren werden könnten.

Baurat C. Bräuning hat zahlreiche Versuchsfahrten gemacht, bei denen er die Beziehungen zwischen den Seitenkräften am Fahrzeuge und der vorhandenen Gleislage beobachtete. Als Mittel hierzu diente ein in der Mitte des Wagens aufgestelltes, wälzendes Pendel, das nur die überschüssigen, nicht durch die Gleisüberhöhungen bereits aufgehobenen Seitenkräfte anzeigte. Die gemachten graphischen Aufnahmen gestatten die Ermittlung des Ausschlagwinkels, d. i. jenes Winkels, den unter gleichen Umständen ein hängendes Pendel mit der senkrechten Achse des Fahrzeugs bilden würde. Es hat sich nun gezeigt, daß ein Ausschlagwinkel von $\frac{1}{30}$ bei der Fahrt nicht mehr bemerkbar ist und den Reisenden keinerlei Belästigung schafft; anderseits tritt nach den Beobachtungen bei einem Ausschlagwinkel, der größer als $\frac{1}{20}$ ist, ein störendes Drängen nach außen ein, so daß $\frac{1}{20}$ als obere, nicht ohne Zwang zu überschreitende Grenze angesehen werden kann. Dem Winkel von $\frac{1}{30}$ entspricht ein Überhöhungswert im Gleise von 30 mm, jenem von $\frac{1}{20}$ ein solcher von 75 mm; um diese Werte wären sonach die aus der vollen Fliehkraft berechneten Überhöhungen zu ermäßigen, um durch gegenseitige Zugeständnisse zwischen den schnell und langsam fahrenden Zügen eine Art »Ausgleichsüberhöhung« zu erzielen. Diese wirkliche Überhöhung würde sich zwischen den Werten

$$h^{mm} = 11,8 \frac{(V^{km/St})^2}{R^{m}} - 30 \quad \text{bis} \quad 11,8 \frac{(V^{km/St})^2}{R} - 75$$

bewegen. Der obere Wert ist anwendbar auf starken Gefällstrecken zweigleisiger Bahnen, weil hier auch den langsam fahrenden Güterzügen, die bei der Talfahrt hauptsächlich unter Druck stehen, eine reichliche Überhöhung von Vorteil ist; der untere Wert ist in stark ansteigenden Gleisstrecken zweigleisiger und eingleisiger Bahnen anzuwenden, weil die Widerstände in stark gespannten Güterzügen, welche die gekrümmte Bahn an sich schon hervorbringt, nicht durch unnötige Überhöhungen noch vergrößert werden dürfen.

In der Ausführung der Überhöhung wird die größte, in dem fraglichen Bogen zulässige Fahrgeschwindigkeit der Berechnung zugrunde gelegt; dabei wird ein Höchstwert h_{max} angenommen, aus dem sich dann umgekehrt die größte anwendbare Fahrgeschwindigkeit V_{max} ermitteln läßt; sehr scharfe Bögen werden also notwendigerweise mit ermäßigter Geschwindigkeit zu befahren sein. Der Höchstwert h_{max} schwankt für vollspurige Bahnen zwischen 100 und 250 mm, wobei allerdings für den letzteren Wert Halbmesser von 200 m und Geschwindigkeiten von 90 km in der Stunde angenommen erscheinen.

Die »Technischen Vereinbarungen über den Bau und die Betriebseinrichtungen der Haupt- und Nebeneisenbahnen« enthalten in § 7 folgende nicht bindende Vorschriften:

»In Krümmungen soll der äußere Schienstrang mit Berücksichtigung der auf der betreffenden Strecke vorkommenden Fahrgeschwindigkeiten und der bestehenden Verkehrs- und Anlageverhältnisse um so viel höher als der innere gelegt werden, daß von den Rädern ein tunlich geringer Angriff auf die Schienen ausgeübt wird.«

Vor Bahnhöfen und innerhalb der Bahnhöfe wird die Überhöhung gewöhnlich auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ ermäßigt; in Bahnhöfen, wo auch alle Schnellzüge anhalten, kann sie vollständig entfallen, dagegen erscheint ihre Anordnung empfehlenswert, wenn Schnellzüge die Station mit unverminderter Geschwindigkeit durchfahren.

Bei Straßenbahnen bietet die Überhöhung des äußeren Schienenstranges gewisse Schwierigkeiten; sie beeinflußt namentlich die sachgemäße Anlage der Pflasterung in ungünstiger Weise; hier unterbleibt deshalb auch die Überhöhung in den meisten Fällen; es werden dann häufig im äußeren Strange Auflaufschienen derart angebracht, daß die Spurkränze der Wagen auf deren Mitte laufen, während im inneren Strange Zwangschienen vorhanden sind. Auf englischen Bahnen, z. B. auf der Londoner Untergrundbahn, werden die Schienenüberhöhungen mitunter wesentlich ermäßigt oder ganz weggelassen und aus Rücksichten für die Betriebssicherheit in besonders scharfen Krümmungen Streichschienen (Zwangschienen) neben dem inneren Schienenstrang verlegt; natürlich sind hierbei die Momente der Wirtschaftlichkeit und der ruhigen Fahrt außer acht gelassen.

Die »Technischen Vereinbarungen« schreiben im eben erwähnten Paragraphen bindend vor:

»Die Überhöhung muß auf eine jeweilig nach der größten Fahrgeschwindigkeit zu bemessende Länge auslaufen, welche mindestens das 200fache der Überhöhung beträgt.«

Weiter wird empfohlen:

»Wenn zwischen zwei benachbarten, im gleichen Sinne liegenden Bögen eine gerade Linie von weniger als 40 m Länge liegt, so soll die Gleisüberhöhung auch in der Geraden durchgeführt werden.«

Die Übergangsneigung von 1:200 ist entschieden zu steil; es wird daher auch von den meisten Bahnen ein größeres Verhältnis bis zu 1:500 angewendet; die neue Betriebsordnung für die deutschen Eisenbahnen schreibt das Verhältnis 1:300 vor, das auch in England fast allgemein üblich ist.

Für die Ausführung der Überhöhung ist die Bestimmung der »Technischen Vereinbarungen« § 7 maßgebend, wonach die Überhöhung im Anfangspunkte des Kreisbogens — also da, wo Übergangsbögen (siehe den nachfolgenden Paragraphen) vorhanden sind, am Berührungspunkte der letzteren mit dem Kreisbogen — voll vorhanden sein soll. Fast allgemein wird die innere Schiene in der vorgeschriebenen regelmäßigen Höhe verlegt und der äußere Schienenstrang um das erforderliche Maß gehoben; bei Querschwellenoberbau muß sonach die Querschwelle um die Achse der Innenschiene entsprechend gedreht werden. Die innere Schiene verbleibt in diesem Falle als Anhaltspunkt für die Nivellette. Allerdings wird bei dieser Anordnung der Schwerpunkt des Fahrzeuges beim Einfahren in den Bogen aus seiner Höhenlage über dem Gleise gebracht und erfährt eine fortgesetzte Hebung bis zur Erreichung des Höchstwertes der Überhöhung. Soll dies vermieden werden, so müßte die Überhöhung auf beide Schienen gleichmäßig verteilt werden, indem man die äußere hebt

und die innere senkt. Beim Bau der österreichischen Nordwestbahn ist diesem Grundsatz gemäß die Überhöhung auf beide Schienen je zur Hälfte übertragen und in Bögen die Unterbaukrone, unter Beibehaltung der Achse mit entsprechender Steigung nach innen hergestellt worden (Abb. 76); für die Ausführung des Unterbaues, namentlich auf den gebirgigen Strecken

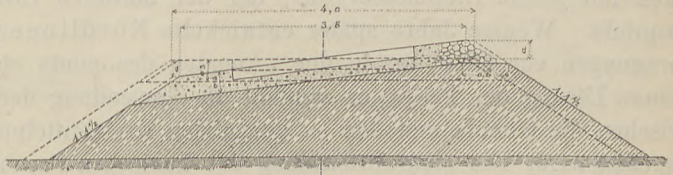


Abb. 76.

des Bahnnetzes, wo ein scharfer Bogen sich an den anderen reihte, hat indessen die vorherrschende Unebenmäßigkeit des Bahnkörperquerschnittes sich

als äußerst lästig erwiesen. Eine fast noch größere Unzukömmlichkeit hat jedoch eine solche Anordnung für die Bahnerhaltung, weil in den Bögen jeder feste Anhaltspunkt für die vorhanden sein sollende Schwellenhöhe, als welcher sonst die innere Schiene dient, verloren geht.

§ 20. Übergangsbögen. — Die Achse eines Eisenbahnfahrzeuges erleidet beim Übergang aus dem geraden Gleise in den berührend anschließenden Bogen eine Ablenkung von der Laufrichtung, die um so plötzlicher und um so größer ist, also um so mehr stoßähnlich auftritt, je kleiner der Halbmesser des Gleisbogens und je größer die Fahrgeschwindigkeit ist. In den ersten Jahren des Eisenbahnwesens, als man nur große Halbmesser und geringe Fahrgeschwindigkeiten anwandte, obwaltete sonach kein Hindernis, den Kreisbogen vom Halbmesser R unmittelbar berührend an das gerade Gleis anzuschließen und das Übergangsgefälle aus der normalen Lage des äußeren Schienenstranges zur vollen Überhöhung desselben im Gleisbogen auf die gerade Strecke und den Gleisbogen gleichmäßig zu verteilen. Diese fehlerhafte Anlage, gekennzeichnet durch das Vorhandensein einer Überhöhung in gerader Strecke und einer ungenügenden Überhöhung auf einer mehr oder weniger großen Strecke des Bogengleises, machte sich damals weder im Verkehre der Fahrzeuge, noch in der Erhaltung der Gleise besonders fühlbar.

Mit zunehmender Anwendung kleiner Halbmesser namentlich bei den Gebirgsbahnen und mit zunehmender Steigerung der Fahrgeschwindigkeit erforderte aber die volle Wahrung der Betriebssicherheit und der Wirtschaftlichkeit in der Bahnerhaltung die Erstrebung eines stoßfreien Überganges der Eisenbahnfahrzeuge aus der geraden Linie in den Bogen und aus diesem wieder in die Gerade. Ein großer Teil der Entgleisungen einzelner Wagen bei Zügen auf freier Strecke findet in jenen Gleispartien statt, die den Wechsel zwischen der Geraden mit dem Bogen bilden; in der überwiegenden Mehrzahl dieser Fälle dürfte die mangelhafte Herstellung oder Erhaltung dieses Überganges an der Entgleisung mitschuldig sein, da dessen ungenaue Ausführung Konstruktionsfehler, Belastungsfehler oder andere Mängel der Fahrzeuge ungünstig hervortreten läßt. Die mehr oder weniger heftigen Stöße der Räder gegen die äußeren Schienen führen natürlich auch zu Formänderungen des Gleises, welche sodann häufige Ausbesserungsarbeiten veranlassen.

Schon im Jahre 1854 hat Wilhelm Pressel, einer der hervorragendsten Eisenbahnbaumeister, nachdrücklich die Einschaltung von Korbbögen zwischen Gerade und Kreis empfohlen und diese Methode auch beim Baue der schweizerischen Zentralbahn und der Brennerbahn einheitlich zur Anwendung gebracht. Fast gleichzeitig hat Schmiedl in der »Zeitschr. d. österr. Ingen.-Ver.« (1852) die gemeine Parabel als

Übergangsbogen empfohlen. Im Jahre 1865 hat der französische Ingenieur Chavès eine Anordnung vorgeschlagen, die ihrer Schwerfälligkeit wegen in die Praxis nicht Eingang fand; er denkt sich nämlich dem Übergangsbogen einen Vieleckzug von verhältnismäßig kleinen Seiten eingeschrieben und führt jedes Bogenstück als Kreisbogen mit jenem Halbmesser aus, der der mittleren Überhöhung in diesem Bogen entspricht. Wenige Jahre später entwickelte Nördlinger, und zwar auf Grund der Anregungen von Chavès, in den »Annales des ponts et chaussées« eine viel einfachere Lösung der Frage; er empfahl die Anwendung der kubischen Parabel, welche zwischen die Gerade und den — gegen den Kreismittelpunkt verschobenen — Bogen eingelegt wird. Die erste Anwendung der kubischen Parabel geschah durch Pressel, der unabhängig von Nördlinger zu dieser Form des Übergangsbogens gelangt war, bei der Bahn durch das Pustertal (Lienz-Franzensfeste). Sehr eingehend hat Helmert in einer Abhandlung, die 1872 in Aachen erschien, die Frage der Übergangskurven behandelt.

In neuerer Zeit hat Ingenieur Max Edler von Leber die Frage der Übergangsbögen einem gründlichen theoretischen Studium unterzogen und die Ergebnisse desselben im österreichischen »Verordnungsblatte des k. k. Handelsministeriums für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt« 1890, sowie in einem selbstständigen Werke: »Calculs des raccordements paraboliques dans les traces des chemins de fer« Paris, Baudry 1892, veröffentlicht. v. Leber liefert den mathematischen Beweis, daß die Frage der Übergangsbögen am besten und in jeder Beziehung richtig nur durch die Anwendung der »Lemniscate Bernoulli's« gelöst werden kann; für die Ausführung hält aber auch v. Leber an der kubischen Parabel fest, weil sie allgemein bekannt ist und in einer mathematisch genauen Form hergestellt werden kann. Im Anschluß daran und doch bezüglich der Ausführung im Gegensatze zu v. Leber tritt der französische Ingenieur P. Adam in den »Annales des ponts et chaussées« für die Festhaltung der Bernoullischen Lemniscate auch in der Praxis entschieden ein.

Wir wollen nunmehr die Frage des Übergangsbogens ganz allgemein theoretisch erörtern.

Wir haben für die Überhöhung des äußeren Schienenstranges über den inneren Strang im Bogen vom Halbmesser R^m , bei der Spurweite s und der Fahrgeschwindigkeit v m/Sek die Formel abgeleitet:

$$h^m = \frac{s \cdot v^2}{gR},$$

worin g die Erdbeschleunigung in m bedeutet. Diese Gleisüberhöhung soll auf die Länge des Übergangsbogens derart durchgeführt werden, daß das Neigungsverhältnis für diese Schienenstrangrampe gleichmäßig $\frac{1}{i}$ und am Anfange des Übergangsbogens die Überhöhung 0, am Ende desselben h^m sei. Für einen beliebigen Punkt des Übergangsbogens beziehungsweise der Schienenstrangrampe mit den Koordinaten x, y (Abb. 77) besteht dann die Gleichung:

$$y^m = \frac{s \cdot v^2}{g\varrho},$$

wenn mit ϱ der Krümmungshalbmesser des Übergangsbogens in dem Punkte (x, y) gekennzeichnet ist.

Da nun

$$y = \frac{x}{i}$$

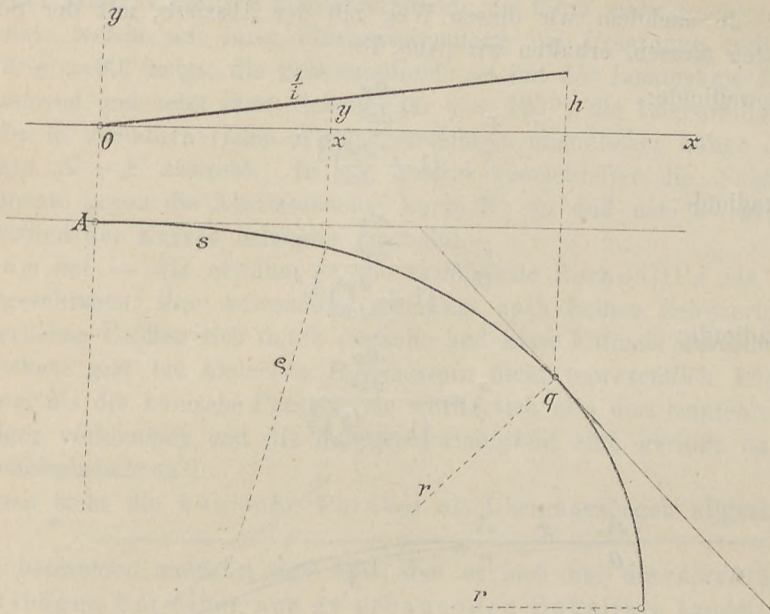


Abb. 77.

und mithin

ist, so ergibt sich

oder

wenn

$$\frac{x}{i} = \frac{s \cdot v^2}{g \rho}$$

$$\rho = \frac{s \cdot v^2 \cdot i}{g x}$$

$$\rho = \frac{C}{x}, \tag{I}$$

$$\frac{s \cdot v^2 \cdot i}{g} = C$$

gesetzt wird. Wir werden die Bedeutung dieser Größe C , die vorläufig als unbedingt konstant angesehen werden soll, später eingehend erörtern. Hier wollen wir in der theoretischen Betrachtung des Übergangsbogens fortfahren.

Für den Krümmungshalbmesser einer Kurve besteht die Differentialgleichung:

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}};$$

die Gleichung (I) verwandelt sich also in die Form:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{C} \cdot x. \tag{II}$$

Dies ist die Gleichung der Radioïden, nämlich aller jener Kurven, deren Krümmungshalbmesser im umgekehrten Verhältnisse zu dem zurückgelegten Wege

sich ändert. Je nachdem wir diesen Weg mit der Abszisse, mit der Sehne oder mit dem Bogen messen, erhalten wir (Abb. 78)

die Abszissenradioide:

$$\frac{x}{C} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}},$$

die Sehnenradioide:

$$\frac{r}{C} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}},$$

die Bogenradioide:

$$\frac{s}{C} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)^{\frac{3}{2}}}.$$

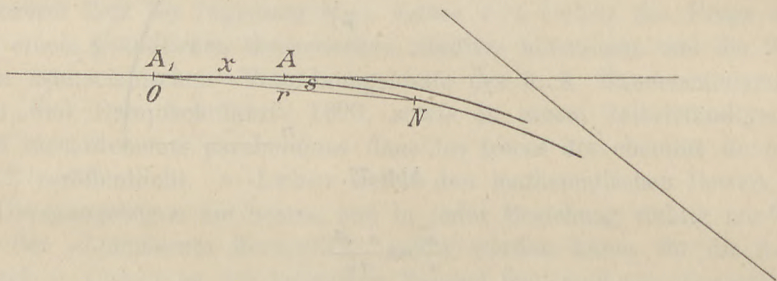


Abb. 78.

Wenn wir diese Gleichungen in Reihen entwickeln und behufs Ausschaltung der Konstanten C alle Längenmaße durch $\sqrt{2C}$ dividieren, wonach also

$$\frac{x}{\sqrt{2C}} = X \text{ und } \frac{y}{\sqrt{2C}} = Y$$

ist, so erhalten wir für die Abszissenradioide:

$$Y = \frac{X^3}{3} (1 + 0,2143 X^4 + 0,1023 X^8 + 0,0625 X^{12} + \dots);$$

für die Sehnenradioide:

$$Y = \frac{X^3}{3} (1 + 0,2222 X^4 + 0,1111 X^8 + 0,0713 X^{12} + \dots);$$

für die Bogenradioide:

$$Y = \frac{X^3}{3} (1 + 0,2286 X^4 + 0,1184 X^8 + 0,0789 X^{12} + \dots);$$

die drei Radioiden weichen also nächst dem Ursprunge sehr wenig voneinander ab.

Da nun in der Ausführung $\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx}$ verhältnismäßig klein ist, so kann man eine beliebige der drei Linien zur Vermittlung des Überganges von der Geraden in den Kreis, von $\varphi = \infty$ bis $\varphi = R$, d. i. als Übergangsbogen verwenden; es unterliegt aber auch gar keinem Bedenken, für diesen Bogen die Gleichung

$$Y = \frac{X^3}{3},$$

d. i. die Gleichung der kubischen Parabel, anzuwenden.

Es sei bemerkt, daß die Abszissenradioide die Form einer geschlossenen ovalen Linie besitzt, welche auf ihrer Flächenseitenmitte am Ursprunge ruht und ihren Scheitel für $\varphi = 90^\circ$ zeigt; die Sehnenradioide ist mit der Lemniskate Bernoulli's übereinstimmend und zeigt ihren Scheitel für $\varphi = 135^\circ$; die Bogenradioide ist eine Spirale, die in unendlich vielen Windungen und in unendlicher Länge dem inneren Grenzpunkte $X = Y$ zustrebt. In der Praxis überschreitet die Neigung φ der Kurvenelemente gegen die Abszissenachse kaum 9° , so daß also — wie gesagt — der Unterschied der Kurven belanglos erscheint.

Adam hat — wie erwähnt — die Lemniskate Bernoulli's als Übergangsbogen vorgeschlagen; ihre Anwendung unterliegt auch keinen Schwierigkeiten, da die erforderlichen Größen sich durch einfache und klare Formeln ausdrücken lassen. Die Lemniskate gibt bei kleineren Halbmessern nicht unwesentlich kürzere Übergangskurven, als die kubische Parabel; sie würde sich also dort empfehlen, wo viele scharfe Bögen vorkommen und die Fahrgeschwindigkeit eine geringe ist, z. B. bei Gebirgsschmalspurbahnen¹⁾.

Zurzeit steht die kubische Parabel als Übergangsbogen allgemein in Anwendung.

Wir betrachten zunächst den Fall, daß es sich um die Ausführung der Übergangsbögen bei einer neu zu erbauenden Bahnlinie handelt.

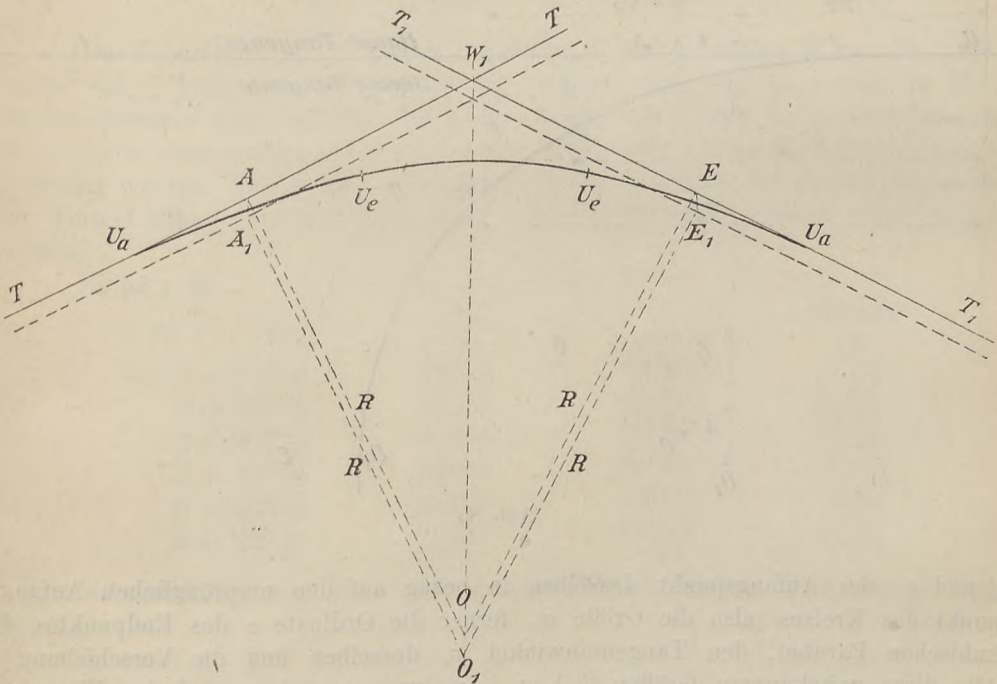


Abb. 79.

TW_1 und W_1T_1 (Abb. 79) seien zwei sich schneidende Linien des Vieleckzuges; zwischen AE liegt der Kreisbogen, der den Übergang von der Richtung TT in die Richtung T_1T_1 vermittelt. Zwischen der Geraden TA und dem Bogen AE ,

¹⁾ Vgl. die Abhandlung von Birk in der »Österr. Monatsschrift f. d. öffentl. Baudienst« 1897, S. 373. Handbuch d. Ing.-Wissensch. V. 1. 2. Aufl.

ebenso zwischen $T_1 E$ und dem Kreisbogen EA sind kubische Parabeln als Übergangsbögen einzuschalten. Da eine Änderung zweier Seiten des Linienzuges die Änderung aller weiteren Seiten desselben nach sich zieht, empfiehlt es sich, die Tangenten des Bogens AE festzuhalten, den Bogen selbst aber soweit nach einwärts zu verschieben, daß zwischen ihm und den festgelegten Tangenten TT bzw. $T_1 T_1$ die Übergangsbögen an den Kreis ausgeführt werden können. Dieser Vorgang wird die Einschaltung mit unverändertem Halbmesser genannt.

Es sei (Abb. 79) $A_1 E_1$ der um v nach einwärts geschobene Kreisbogen vom Halbmesser R .

Die Gleichung der kubischen Parabel ist

$$y = \frac{x^3}{6C},$$

wenn y die Ordinate, x die Abszisse, bezogen auf den Anfangspunkt des Übergangsbogens U_a , vorstellen.

Bekannt sind der Halbmesser R des Kreises und die Konstante C der Parabel; zu ermitteln sind (Abb. 80) die Abszissen- und die Kurvenlänge des Übergangsbogens

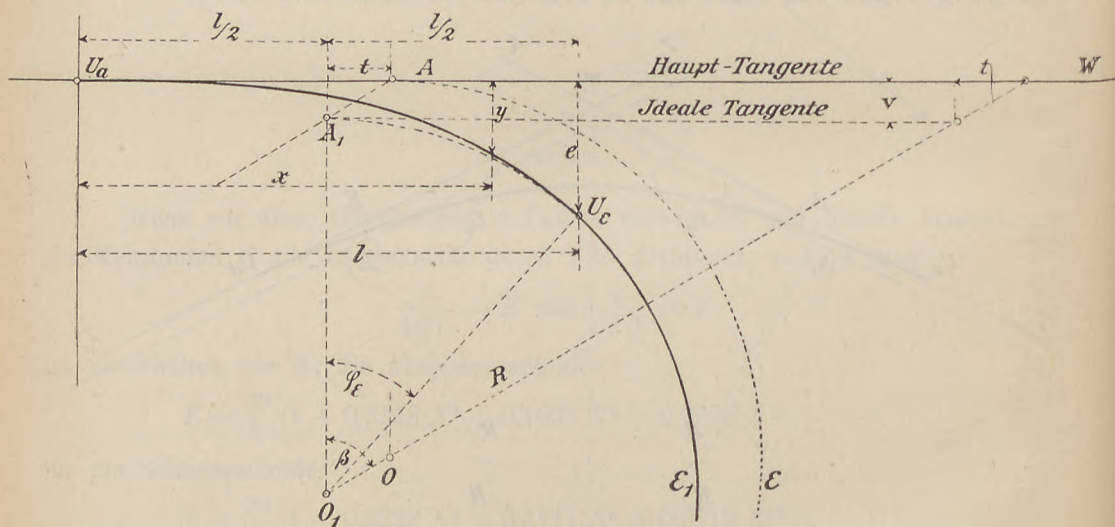


Abb. 80.

(l und s), der Anfangspunkt desselben in bezug auf den ursprünglichen Anfangspunkt des Kreises (also die Größe a), ferner die Ordinate e des Endpunktes der kubischen Parabel, den Tangentenwinkel φ_ε desselben und die Verschiebung v . Alle diese unbekanntenen Größen (l , s , a , e , φ_ε und v) sind in einfacher Weise von der Abszissenlänge l abhängig, wenn wir berücksichtigen, daß für einen beliebigen Punkt M die Gleichungen gelten:

$$y = \frac{x^3}{6C}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2C}, \quad (2)$$

$$\frac{C}{x} = \varrho = \frac{ds^3}{dx \cdot d^2y} \cdot 1) \quad (3)$$

Es ist dann also für den Punkt U_ε :

$$\operatorname{tg} \varphi_\varepsilon = \frac{l^2}{2C}, \quad (I)$$

$$e = \frac{l^3}{6C}. \quad (II)$$

Für die Abszissenlänge des eingeschalteten Bogens besteht die Formel

$$l = \frac{C}{R} \left(1 + \frac{1}{4} \frac{l^4}{C^2} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (IIIa)$$

wofür aber allgemein gesetzt wird:

$$l = \frac{C}{R}. \quad (III)$$

Der Fehler ermittelt sich, wenn wir in (IIIa) innerhalb der Klammer für l den Ausdruck setzen $l = \frac{C}{R}$ (siehe III); wir erhalten dann:

$$l = \frac{C}{R} \left(1 + \frac{1}{4} \frac{C^2}{R^4} \right)^{\frac{3}{2}},$$

oder in Reihen entwickelt:

$$l = \frac{C}{R} \left[1 + \frac{3}{2} \left(\frac{C}{2R^2} \right)^2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{25}{4} \cdot \left(\frac{C}{2R^2} \right)^4 \dots \right].$$

Der Fehler wird um so größer, je größer C und je kleiner R ist. Die großen Werte von C gelten für schnellbefahrene Bahnen; hier sind aber auch zu kleine Bogenhalbmesser nicht zulässig; die kleinen Werte von C sind für langsam befahrene Kleinbahnen anzuwenden, bei denen wieder häufig sehr kleine Bogenhalbmesser angewendet werden. Der Fehler, welcher durch den Gebrauch der Formel (III) anstatt der Formel (IIIa) begangen wird, kann unter gewissen Umständen ziemlich groß werden.

Es ist z. B.

für $C = 12000$	l_m genau	l_m angenähert	Differenz m
bei $R = 250$ m	48,705	48,000	0,705
$R = 300$ m	40,274	40,000	0,274
$R = 400$ m	30,064	30,000	0,064
$R = 500$ m	24,021	24,000	0,021
$R = 600$ m	20,008	20,000	0,008
$R = 700$ m	17,147	17,143	0,004

Die genauen Werte von l sind aus der obenerwähnten Arbeit Leber's entnommen.

1) Es ist nämlich

$$\varrho = \frac{\left(1 + \frac{dy^2}{dx^2} \right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}} = \frac{V(d^2x^2 + dy^2)^{\frac{3}{2}}}{dx^3 \cdot \frac{d^2y}{dx^2}}$$

$$dx^2 + dy^2 = ds^2$$

$$\varrho = \frac{ds^3}{dx \cdot d^2y}$$

Da

ist, so ergibt sich

Für $C = 750$ erhalten wir

bei $R = 50$ m	den Fehler	$> 0,51$ m
$R = 60$ m	»	$> 0,20$ m
$R = 70$ m	»	$> 0,10$ m
$R = 80$ m	»	$> 0,04$ m
$R = 90$ m	»	$> 0,03$ m;

hierbei sind die Werte der genauen Länge l nach der Reihenformel berechnet worden.

Die Länge s des Übergangsbogens, im Bogen selbst gemessen, ist durch die Gleichung

$$s = l \left(1 + \frac{1}{40} \cdot \frac{l^4}{C^2} \right) \quad (\text{IV})$$

gegeben, wenn wir von der Grundgleichung $l = \frac{C}{R}$ ausgehen. Die weiteren Glieder der Reihenformel für s können im Hinblick auf die starke Konvergenz der Reihe vernachlässigt werden.

In der Praxis wird

$$s = l \quad (\text{V})$$

gesetzt.

Soll der Fehler

$$\Delta s = \frac{1}{40} \cdot \frac{l^4}{C^2} = \frac{1}{40} \cdot \frac{C^3}{R^5}$$

nicht größer sein als $0,0005 l$, so ergeben sich als Grenzwerte des Halbmessers R , für welche die Annahme der Gleichheit des Bogens mit der Abszisse noch zulässig ist, folgende Werte:

$C = 12000$	$R = 300$ m
$C = 6000$	$R = 200$ m
$C = 4500$	$R = 180$ m
$C = 3000$	$R = 150$ m
$C = 1500$	$R = 110$ m
$C = 750$	$R = 75$ m
$C = 20 R$	$R = 150$ m.

Bei kleineren Halbmessern wird sonach ein Fehler begangen, der über das Maß von $0,0005 l$ hinausgeht.

Gestattet man einen größeren Fehler, z. B. $0,001 l$, so rücken die Grenzwerte der Halbmesser auf 245 m bzw. 175, 150, 120, 85, 60 und 100 m herab.

Für die Bestimmung der Lage des Übergangsbogens gegen den Kreisbogen haben wir folgende Erwägungen als maßgebend:

Die Tangente im Endpunkte des Übergangsbogens ist nach (I)

$$\operatorname{tg} \varphi_\varepsilon = \frac{dy}{dx} = \frac{l^2}{2C} = \frac{l}{2R}.$$

Diese Tangente muß zugleich Tangente an den Kreisbogen sein; es ist daher auch

$$\operatorname{tg} \varphi_\varepsilon = \frac{l-a}{R+v-e}$$

also

$$\frac{l}{2R} = \frac{l-a}{R+v-e},$$

woraus folgt

$$a = l \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{R+v-e}{R} \right)$$

und

$$l - a = \frac{l}{2} \cdot \frac{R+v-e}{R}.$$

Für größere Halbmesser kann ohne praktisch fühlbare Fehler gesetzt werden

$$\frac{R+v-e}{R} = 1,$$

dann ist

$$a = \frac{l}{2} = l - a. \quad (\text{VII})$$

Im Sinne der Formel (VII) wird allgemein angenommen, daß der Übergangsbogen zur Hälfte vor und zur Hälfte hinter dem ursprünglichen Tangentenpunkt des Kreisbogens liegt.

Für kleinere Halbmesser ist diese Annahme nicht mehr zulässig, denn es ergeben sich Abweichungen bezüglich des Winkels φ_ε , die nicht mehr ganz belanglos erscheinen. Es sei z. B. $R = 100$ m, $C = 20 R$; setzt man $a = l - a = \frac{l}{2}$, so ist sin $\varphi_\varepsilon = \frac{l}{2R}$ und hieraus $\varphi_\varepsilon = 5^\circ 44' 21''$; setzt man jedoch genau

$$a = l \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{R+v-e}{R} \right),$$

also

$$\text{tg } \varphi_\varepsilon = \frac{l}{2R},$$

so wird $\varphi_\varepsilon = 5^\circ 42' 38''$; der Unterschied beträgt mithin $1' 43''$, wodurch die genaue Lage der Tangente im Anfangspunkte des Kreises ungünstig beeinflusst erscheint.

Der genaue Wert für die Verschiebung v ist durch die Formel gegeben:

$$v = e - R (1 - \cos \varphi_\varepsilon). \quad (\text{VIII})$$

In der Praxis rechnet man jedoch annähernd:

$$v = e - A, A'',$$

also

$$v = \frac{l^3}{6C} - \frac{l^2}{8R}$$

oder

$$v = \frac{l^2}{6R} - \frac{l^2}{8R} = \frac{l^2}{24R},$$

mithin

$$v = \frac{1}{4} e. \quad (\text{IX})$$

Auch dieser Wert ist, wie $a = \frac{l}{2}$ (VII) nur für größere Halbmesser zutreffend; für kleinere Halbmesser ist er nicht mehr richtig, da für solche die Annahme $A, A'' = \frac{l^2}{8R}$ schon einen merkbaren Fehler in sich faßt. Es sei z. B. $R = 250$ m, $C = 12000$, so ist nach der Näherungsformel (IX)

$$v = 0,384 \text{ m}$$

nach der genaueren Formel (VIII)

$$v = 0,392 \text{ m}.$$

Die Größen a und v spielen nun bei der Berechnung der Tangentenlänge eine einflußreiche Rolle.

Es ist nämlich die Tangentenlänge $\overline{U_a W_1} = (Abb. 79 \text{ und } 80) a + (R + v) \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}$, so daß sich hierin die Fehler, die bei a und v gemacht werden, verstärken. Man sollte also bei kleineren Halbmessern die eben erörterten Unterschiede berücksichtigen und die Größen a und v nach den genaueren Formeln (VI) und (VIII) ermitteln. Tatsächlich ist dies auch seitens des Lokalbahnamtes des österreichischen Handelsministeriums bei Aufstellung der Vorschriften für Übergangsbögen im Jahre 1895 geschehen. Auch Ingenieur Pernt hat bei Berechnung seiner »Tafeln zum Abstecken von Kreis- und Übergangsbögen durch Polarkoordinaten« (Wien, 1903) den gleichen Vorgang eingeschlagen, was allerdings für ihn selbst eine erhöhte Beanspruchung, für den Benutzer seiner Tafeln aber nur eine erhöhte Genauigkeit der Arbeit ohne größere Leistung bedeutet.

§ 21. Absteckung der Übergangsbögen mit unverändertem Halbmesser. — Wie schon erwähnt, bedient man sich zur Ausführung der Übergangsbögen gegenwärtig allgemein der Näherungsformeln (Abb. 80):

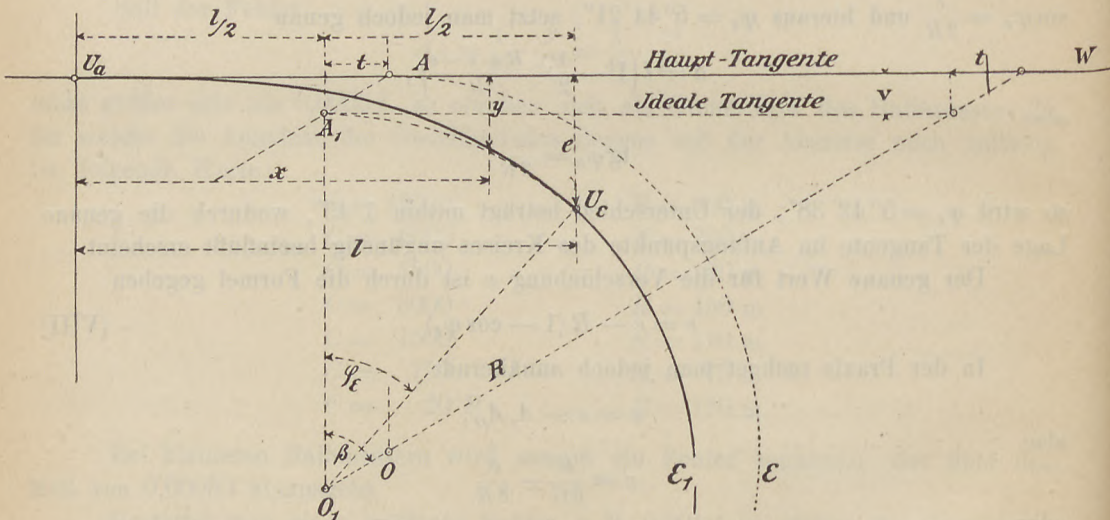


Abb. 80.

$$y = \frac{x^3}{6C}, \quad (I)$$

$$l = \frac{C}{R}, \quad (III)$$

$$e = \frac{l^3}{6C} = \frac{l^2}{6R}, \quad (II)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_\epsilon = \frac{l^2}{2C} = \frac{l}{2R}, \quad (I)$$

$$a = \frac{l}{2}, \quad (VII)$$

$$v = \frac{e}{4}. \quad (IX)$$

¹⁾ Die Formelbezeichnungen stimmen mit den bezüglichen Bezeichnungen im § 20 überein.

Hiernach ergeben sich für den Tangentenwinkel β bzw. für den Zentriwinkel $\gamma = 180^\circ - \beta$ die Tangentenlänge

$$\overline{U_a W} = T = (R + v) \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} + a,$$

der Scheitelabstand

$$S = (R + v) \left(\sec \frac{\gamma}{2} - 1 \right) + v,$$

die Abszisse des Scheitels

$$S_a = R \sin \frac{\gamma}{2} + a,$$

die Ordinate des Scheitels

$$S_o = R \left(1 - \cos \frac{\gamma}{2} \right) + v;$$

die Kurvenlänge wird gleich der Abszissenlänge angenommen, also

$$s = l. \tag{V}$$

Zur Absteckung eines beliebigen Bogenpunktes können die Koordinaten x und y dienen, die auf den Anfangspunkt des Übergangsbogens bezogen sind.

Für den Übergangsbogen selbst, also für die Abszissen bis einschließlich $x = l$, bestimmt sich die Ordinate y aus der Gleichung

$$y = \frac{x^3}{6C};$$

für einen Punkt des daranschließenden Kreisbogens ist

$$y = R + v + \sqrt{R^2 - \xi^2},$$

wenn ξ die Abszisse des Kreispunktes, bezogen auf die Haupttangente und den ursprünglichen Anfangspunkt des Kreises, bezeichnet.

Ist die Absteckung des letzteren von der Tangente aus nicht möglich, so kann der Endpunkt des Übergangsbogens leicht bestimmt und von hier aus der Kreisbogen nach einem der bekannten Verfahren festgelegt werden; die Größe des Zentriwinkels läßt sich ganz einfach ermitteln. Für diese Absteckungsarbeiten stehen viele wertvolle Hilfsbücher, z. B. jene von Sarrazin und Oberbeck (Berlin, 1904), von Weitbrecht (Stuttgart, 1902) zur Verfügung.

Für ein zerklüftetes, steiles oder dicht bewachsenes Gelände, für Bodengestaltungen, bei denen die Festlegung von Punkten außerhalb der Bogenlinie schwierig oder selbst unmöglich ist, empfiehlt sich die Absteckung durch Polarkoordinaten; sie ist auch die einzig praktische und mitunter die einzig mögliche Absteckung, wenn die Mittellinie eines Gleises in einem tieferen Einschnitte, auf einem höheren Damme, in Straßenzügen zwischen Häuserreihen abzustecken ist. Im Jahre 1858 erschien die erste Auflage des Tabellenwerkes: »Die Straßen- und Eisenbahnkurve von M. Morawitz«, in welchem die Behelfe für die Absteckung der Kreisbogen mittels Polarkoordinaten in trefflicher Weise zusammengestellt waren. Eine Art erweiterte Auflage bildet das schon erwähnte Tafelwerk von Pernt, das auch die Absteckung des Übergangsbogens nach dem Verfahren der Polarkoordinaten neben jenem der rechtwinkeligen Koordinaten ermöglicht; dabei ist an der für die Praxis besonders wichtigen, getrennten Festlegung des Übergangsbogens und des Kreisbogens festgehalten. Die Tafeln ermöglichen die Absteckung von fünf Standpunkten aus: vom Anfangspunkt des Übergangsbogens, vom Viertelpunkt, vom Mittelpunkt, vom Dreiviertelpunkt und vom Endpunkt der Abszisse des Übergangsbogens.

Da der Wert dieser Absteckungsart von der Genauigkeit des Anschlusses des Übergangsbogens an den Kreisbogen abhängig ist, hat Pernt — wie erwähnt — den Tafeln die genauen Werte von v und a zugrunde gelegt.

Auch O. Elb behandelt in seinem »Taschenbuch usw. Wilhelmshaven« die Absteckung des Übergangsbogens und des anschließenden Kreisbogens mittels Polarkoordinaten, jedoch nur vom Anfangspunkte des Übergangsbogens aus.

Anstatt den Halbmesser beizubehalten und den Mittelpunkt des Kreises zu verschieben, kann man auch den Mittelpunkt festhalten und den Halbmesser $R = OA$ des Kreises um das Maß v der Verschiebung der Tangenten verkleinern (Abb. 81). Es wird also der Halbmesser des endgültigen Kreisbogens $R_0 = R - v$,

theoretisch genommen, nicht mehr in runder Zahl erscheinen; im Hinblick auf den verhältnismäßig geringen Wert des Abstandes v kann aber für alle wichtigen Oberbaufragen (Schienenüberhöhung, Gleiserweiterung, Wahl der Konstanten C für Übergangsbogen, größter Radstand der Fahrbetriebsmittel usw.) anstandslos R statt

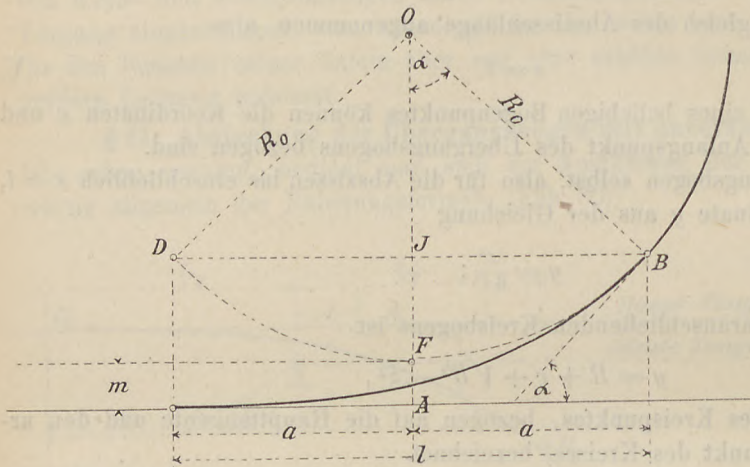


Abb. 81.

R_0 gewählt werden. Im übrigen berechnen sich die für die Aussteckung des Übergangsbogens notwendigen Größen, sofern man eben auch die angenäherte Berechnungsweise anwendet, genau wie bei der Festhaltung des Halbmessers und Verschiebung des Kreismittelpunktes. Der Vorgang findet übrigens wenig Anwendung in der Praxis.

§ 22. Einschaltung eines Übergangsbogens in ein bestehendes Gleis. —

Diese Aufgabe kann bei älteren Eisenbahnen vorkommen, wo sich häufig gar keine Übergänge zwischen Geraden und Bögen vorfinden. Ein Verschieben des Kreisbogens ist selten möglich, weil der Unterbau auf die ganze Länge des Kreisbogens wohl nur ausnahmsweise eine solche Verschiebung gestattet. v. Leber hat im »Verordnungsblatt des k. k. Handelsministeriums für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt« (Wien) 1890, S. 1953 ff. diese Aufgabe streng theoretisch behandelt und ist zu einer Lösung gelangt, welche verhältnismäßig kurze Einschaltungen ergibt — und das ist bei der Umgestaltung bestehender Bahnlinien von großem Werte; auch zeigt v. Leber's Lösung in der Praxis außerordentliche Einfachheit. Trotzdem hat sie keine Anwendung gefunden und Leber's Gedanke ist nicht weiter verfolgt worden. Es erscheint aber doch geboten, den Grundzug und den Gang der Leberschen Lösung vorzuführen.

v. Leber bildet die Einschaltung mittels eines vom Nullpunkte auslaufenden

Parabelbogens (Abb. 82), der im Punkte 1 den Krümmungshalbmesser des Kreises R besitzt, so daß $(1O_1) = (3O) = R$ ist; im Punkte 2, d. i. im Endpunkte des Parabelbogens, erreicht der Krümmungshalbmesser dieses Bogens seinen kleinsten Wert $2O_2 = r$; daran schließt sich ein verkehrter Parabelbogen (32), der nichts anderes ist, als der um die Drehungs- und Symmetrieachse $2O_2$ umgelegte Teilbogen $\bar{1}2$, da in 3 der gleiche Halbmesser besteht, wie in 1, nämlich der Halbmesser R des Kreises; die Punkte 1 und 3 liegen sonach auf einer Senkrechten zu $2O_2$ gleichweit von dieser Achse entfernt; im Punkte 2

entsteht der künstliche Parabelscheitel. Für die Parabel gelten die im vorigen Paragraphen angegebenen, nach der Näherungstheorie entwickelten Formeln. Die Ordinate des Endpunktes 3 der komplexen Parabel erhält man mittels der Geraden $1\bar{3}$, die von 1 aus gleichlaufend zur Tangente am Punkte 2 gezogen wird; ebenso ist die Tangente im Punkte 3 leicht zu ermitteln, und aus ihrer Gleichsetzung mit der Tangente an den Kreis in Punkt 3 kann dann die Abszisse für 3

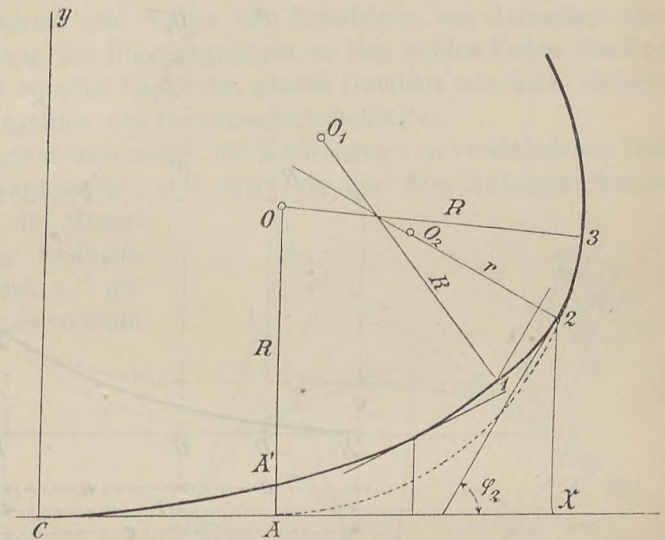


Abb. 82.

berechnet werden. v. Leber hat seiner Studie eine Formelzusammenstellung für die fragliche Übergangslinie beigelegt, welche ihre Berechnung und Aussteckung erleichtert.

In der Praxis ging man und geht man noch jetzt allgemein in der Weise vor, daß man, vom Kreisbogen der alten Linie ausgehend, den Krümmungshalbmesser desselben zunächst vermindert und zwischen diesen schärferen Bogen und die Gerade eine kubische Parabel einschaltet. Die v. Lebersche Ausführung ist entschieden viel logischer und dem Zwecke des Übergangsbogens weit mehr angepaßt, denn sie vermeidet den Sprung von einem Halbmesser zum anderen und läßt diesen vielmehr stetig sich ändern; dagegen ist die Halbmesserverminderung bei der komplexen Parabel Leber's weit größer als in dem gebräuchlichen Verfahren; weiter kann es bei Leber's Verfahren geschehen, daß Punkt 1, der beim Ausstecken besonders festgelegt werden muß, mit Punkt 3 nicht in den erforderlichen Einklang der Symmetrie zu Halbmesser $2O_2$ gebracht werden kann, wenn die ursprüngliche Linie nicht genau aus einem Kreise und einer berührenden Geraden gebildet wurde und gerade dieser Fall wird bei älteren Gleisen zumeist vorkommen. Wohl hat v. Leber auch hierfür eine praktisch verwertbare Theorie aufgestellt — aber immerhin liegt in dem gebräuchlichen Vorgange der Einschaltung eines Bogens mit kleinerem Halbmesser schon von vornherein die Gewähr einer sicher möglichen Durchführung ohne nachträgliche Korrekturen.

DC (Abb. 83) sei der an die Gerade TT berührend anschließende Kreis mit dem Halbmesser R . Das einzufügende Bogenstück vom Halbmesser $r < R$ muß die

notwendige Verschiebung der Tangente TT um die Größe v bewirken. Es muß also nach der Abbildung sein

$$v = R - r - (R - r) \cos \alpha,$$

$$v = (R - r) (1 - \cos \alpha) = \frac{C^2}{24r^3}$$

(nach Formel IX, II und III, S. 150).

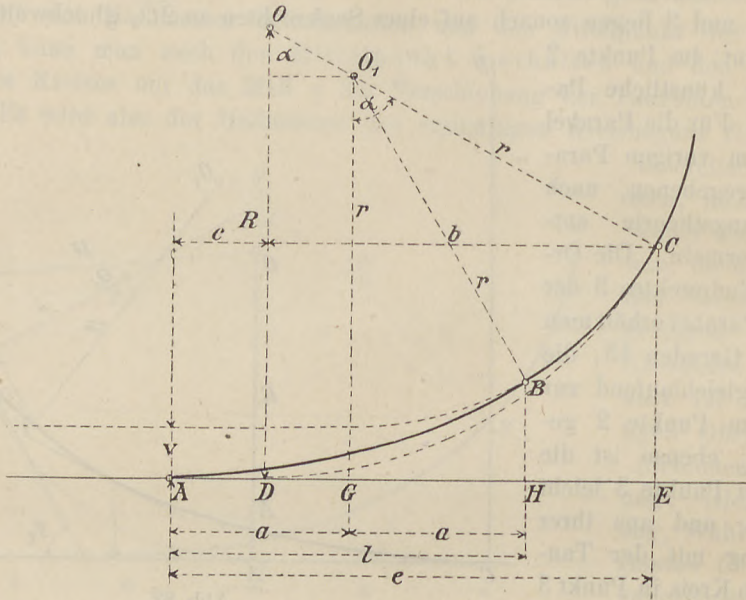


Abb. 83.

Unter Berücksichtigung, daß $b = R \sin \alpha$ ist, erhält man auf kurzem Wege

$$b = \frac{R \cdot C \cdot \sqrt{46r^3(R-r) - C^2}}{24r^3(R-r)},$$

aus welcher Formel die Länge des zu ändernden Bogenteils für einen bestimmten Halbmesser R und für einen beliebig zu wählenden Halbmesser r bei gegebenem C ermittelt werden kann. Sarrazin und Oberbeck empfehlen

$$\begin{aligned} (R - r) &= 10 \text{ m für } R \leq 150 \text{ m und } \leq 300 \text{ m} \\ (R - r) &= 25 \text{ m für } R > 300 \text{ m und } \leq 600 \text{ m} \\ (R - r) &= 50 \text{ m für } R > 600 \text{ m und } \leq 1200 \text{ m} \\ (R - r) &= 100 \text{ m für } R > 1200 \text{ m und } \leq 3000 \text{ m,} \end{aligned}$$

wobei für Hauptbahnen

$$\begin{aligned} C &= 12000 \text{ für } R \geq 300 \text{ m und } \leq 600 \text{ m} \\ C &= 20r \text{ für } R > 600 \text{ m und } \leq 3000 \text{ m} \end{aligned}$$

und für Nebenbahnen allgemein

$$C = 20r$$

angenommen ist.

Der Unterschied der Überhöhungen der äußeren Schiene an dem Übergangspunkt von dem Halbmesser r zum Halbmesser R fällt dann verhältnismäßig gering aus.

§ 23. **Korbbögen.** — Die Geländeverhältnisse gestatten es mitunter nicht, zwei gegebene Gerade durch einen einzigen Kreisbogen vom Halbmesser R zu ver-

binden, sondern nötigen, den Verbindungsbogen aus mehreren Bögen von verschiedenen Halbmessern zu bilden. Einen solchen Bogen nennt man einen Korbbogen. Man pflegt bei einem solchen Bogen zwischen die einzelnen Kreisbogenstücke keine Übergangsbögen einzuschalten, sondern die Übergangssteigung ganz in den flacheren Bogen zu verlegen, damit am Anschlußpunkte des schärferen Bogens bereits die volle, ihm zukommende Schienenüberhöhung erreicht ist.

Man kann drei Fälle unterscheiden:

a) Der Korbbogen beginnt und endet mit Kreisbögen von demselben Halbmesser r_0 . Behufs Einschaltung der Übergangsbögen an den beiden Enden des Korb bogens verschiebt sich jeder einzelne Punkt des ganzen Gebildes wie beim einfachen Bogen parallel zur Halbierungslinie des Haupttangentialwinkels.

b) Der Korbbogen beginnt und endet mit Kreisbögen von verschiedenen Halbmessern (Abb. 84). Die Haupttangente AW wird um das dem Anfangshalbmesser r_0 entsprechende Stück α_a' , die Haupttangente EW um das dem Endhalbmesser r_{00} entsprechende Stück α_e'' parallel nach innen verschoben; es ist dann

$$\overline{WJ} = \frac{\alpha_a'}{\sin \omega},$$

$$\overline{W'J} = \frac{\alpha_e'}{\sin \omega},$$

$$\overline{JK} = \alpha_a' \cotg \omega,$$

$$\overline{JH} = \alpha_e' \cotg \omega,$$

$$\overline{WH} = \overline{WJ} + \overline{JH},$$

$$\overline{WG} = \overline{W'J} + \overline{JK},$$

$$\operatorname{tg} GWW' = \frac{\alpha_a'}{\overline{WG}},$$

$$\overline{WW'} = \frac{\alpha_a'}{\sin GWW'}.$$

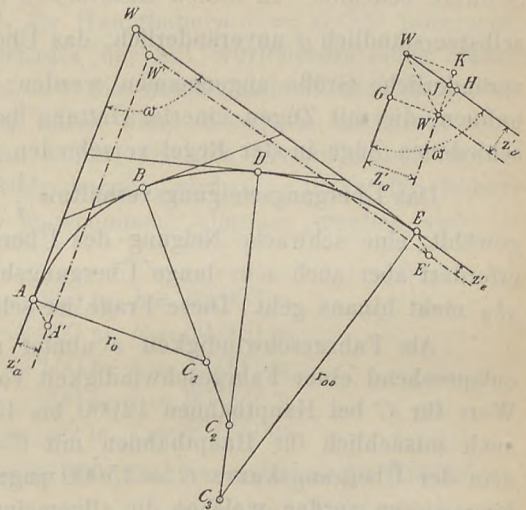


Abb. 84.

Es rückt sonach jeder Punkt des ganzen Gebildes parallel zur Richtung WW' um ein Stück $\overline{WW'}$ herein. Der verschobene Anfangspunkt A' wird daher erhalten, indem man von A aus auf der Tangente WA die Strecke \overline{WG} und dann senkrecht dazu die Strecke α_a' aufträgt. Ebenso erhält man den verschobenen Endpunkt E' mittels der senkrechten Abstiche \overline{WH} und α_e' von E aus.

c) Der Korbbogen beginnt mit einem scharfen und endet mit einem ganz flachen Bogen, so daß er nur am Anfange, nicht aber am Ende eines Übergangsbogens bedarf.

In diesem Falle wird bloß die dem Anfangsbogen entsprechende Haupttangente AW um das für den Anfangsbogen erforderliche Stück α_a' parallel nach innen verschoben und es rückt dadurch jeder Punkt des ganzen Gebildes parallel zur anderen Haupttangente WE um ein Stück

$$\overline{WW'} = \frac{\alpha_a'}{\sin \omega}$$

herein. Den verschobenen Bogenanfang A' erhält man durch Auftragen der Abstiche

$$\alpha_a' \cotg \omega \text{ und } \alpha_a'$$

von A aus auf der Haupttangente AW , und zwar ist $\alpha_a' \cotg \omega$ in der Richtung WA aufzutragen, wenn ω spitz, in der Richtung AW , wenn ω stumpf ist. Das Bogenende rückt einfach in der Richtung WE um das Stück $\overline{WW'}$ weiter.

§ 24. Wahl der Konstanten C bei Übergangsbögen. — In der Grundgleichung für den Krümmungshalbmesser des Übergangsbogens

$$\varrho = \frac{C}{x} \quad (\text{I}) \text{ S. 143.}$$

bezeichnet C den Ausdruck

$$C = \frac{s \cdot v^2 \cdot i}{g},$$

worin s^m die Spurweite, v die Fahrgeschwindigkeit in m für eine Sekunde, i den reziproken Wert des Übergangssteigungsverhältnisses und g die Beschleunigung der Schwere bedeuten. In diesen Ausdrücken sind für eine Bahnlinie die Größen s und selbstverständlich g unveränderlich; das Übergangssteigungsverhältnis $\frac{1}{i}$ kann als unveränderliche Größe angenommen werden; die Fahrgeschwindigkeit ist, von Kleinbahnen, die mit Zügen einerlei Gattung befahren werden, abgesehen, für die verschiedenen Züge in der Regel verschieden groß.

Das Übergangssteigungsverhältnis $\frac{1}{i}$ wird gewöhnlich zwischen $\frac{1}{200}$ und $\frac{1}{300}$ gewählt; eine schwache Neigung des Überganges ist natürlich sehr vorteilhaft; sie erfordert aber auch sehr lange Übergangsbögen, weshalb man wohl gewöhnlich über $\frac{1}{300}$ nicht hinaus geht. Diese Frage ist schon im vorigen Paragraphen näher erörtert.

Als Fahrgeschwindigkeit v nimmt man in der Regel 17 bis 18 m/Sek. an, entsprechend einer Fahrgeschwindigkeit von 60 bis 64 km/St. Man erhält dann als Wert für C bei Hauptbahnen 12000 bis 15000. In Preußen und in Österreich wird auch tatsächlich für Hauptbahnen mit $C = 12000$ gerechnet; in Württemberg legt man der Übergangskurve $C = 15000$ zugrunde. Im § 19 ist schon auf den Einfluß hingewiesen worden, welchen die allgemeine Annahme von $v = 17$ bis 18 m/Sek und die daraus sich ergebende Überhöhung auf den Eisenbahnbetrieb beziehungsweise auf den ruhigen und sicheren Lauf der Fahrzeuge ausübt.

Je größer C , um so größer wird die Länge des Übergangsbogens; es würde daher ganz besonders im Interesse eines ruhigen und stoßlosen, sicheren Laufes der Fahrzeuge liegen, mit einem hohen Werte von C zu rechnen. Es können aber bei der Anlage der Übergangsbögen nicht nur betriebstechnische, es müssen auch bautechnische Rücksichten ins Auge gefaßt werden. Der Übergangsbogen liegt zur Hälfte in der ursprünglichen Geraden, zur Hälfte im ursprünglichen, allerdings verschobenen Kreisbogen; er verlängert also die ganze Bahnkurve und es ist daher für seine günstige Ausführung Voraussetzung, daß das Gelände eine derartige Längenentwicklung ohne besondere, die Baukosten erhöhende Unterbauten gestatte. Aus diesen Gründen ist es daher angezeigt, C nicht zu groß zu wählen oder doch andererseits in der Wahl des Wertes von C für gewisse Verhältnisse und innerhalb gewisser Grenzen dem Bauingenieur freie Hand zu lassen; auch ist zu berücksichtigen, daß auf Lokal- und Schmalspurbahnen die größte Fahrgeschwindigkeit gewöhnlich unter 60 km/St bleibt.

In Österreich sind in dieser Beziehung für C noch die Werte 6000, 4500, 3000, 1500, und 750 vergeschrieben; und zwar kommt in Anwendung

$C = 6000$ bei vollspurigen Lokalbahnen,

$C = 3000$ bei Bahnen mit 76 cm Spurweite und $v > 15$ km/St für Halbmesser von 300 m bis 100 m,

$C = 1500$ bei Bahnen mit 76 cm Spurweite und $v > 15$ km/St für Halbmesser von 100 m bis 60 m,

$C = 750$ für Bahnen mit 60 cm Spurweite, indem angenommen wird, daß die Fahrgeschwindigkeit auf ihnen in keinem Falle 15 km überschreitet.

Als größte Längen der Übergangsbögen ergeben sich dann

für $C = 12000$ bei $R = 250$ m, $l = 48,000$ m

» $C = 6000$ » $R = 150$ m, $l = 40,000$ m

» $C = 3000$ » $R = 100$ m, $l = 30,000$ m

» $C = 1500$ » $R = 70$ m, $l = 21,429$ m

» $C = 750$ » $R = 50$ m, $l = 15,000$ m.

In Württemberg ist, wie erwähnt, für Hauptbahnen $C = 15000$ festgesetzt, (»Vorschriften für das Verlegen des Oberbaues der kgl. württembergischen Staatseisenbahnen« vom Jahre 1900); dort aber, wo die nachträgliche Einschaltung von Übergangsbögen auf bestehenden Bahnen durch diese Konstante allzugroße Verschiebungen der alten Gleise hervorrufen würde, ist eine Verminderung bis auf $C = 10000$ gestattet. Für vollspurige Nebenbahnen wird $C = 6300$, für Nebenbahnen mit 0,75 m Spurweite $C = 3000$ angenommen; hiernach ergeben sich als Längen der Übergangsbögen

für $C = 15000$ bei $R = 250$ m, $l = 60,000$ m

» $C = 10000$ » $R = 200$ m, $l = 50,000$ m

» $C = 6300$ » $R = 150$ m, $l = 42,000$ m

» $C = 3000$ » $R = 100$ m, $l = 30,000$ m

» $C = 3000$ » $R = 50$ m, $l = 60,000$ m.

Sarrazin und Oberbeck empfehlen für Hauptbahnen und zwar für Kreisbögen von 300 bis 600 m unter Annahme eines Steigungsverhältnisses $\frac{1}{i} = \frac{1}{267}$ den konstanten Wert $C = 12000$, für Halbmesser von 600 m bis 3000 m den mit dem Halbmesser veränderlichen Wert $C = 20R$.

Im ersteren Falle ist die Länge des Übergangsbogens ($l = \frac{C}{R}$) von der Größe des Halbmessers abhängig, sie wird aber für $R = 300$ m nicht größer als 40 m; es wird also in jenen Fällen, wo das Gelände die Anwendung kleiner Halbmesser verlangt, auch die Länge des Übergangsbogens eine kleinere sein, so daß die baulichen Schwierigkeiten, die aus der Gestaltung des Bodens erwachsen, berücksichtigt erscheinen; sie wächst aber doch in der Weise mit der Abnahme des Halbmessers, daß unter allen Umständen das Übergangsverhältnis von der normalen Lage des äußeren Schienenstranges zur vollen Überhöhung unverändert das gleiche bleibt, nämlich $\frac{1}{267}$; für schneller befahrene Gleise ist das Verhältnis $\frac{1}{i}$ allerdings etwas stark gewählt. Bei $C = 20R$ bleibt die Länge der Übergangsparabel ($l = \frac{C}{R}$) unverändert 20 m; es wechselt also das Neigungsverhältnis, das von $\frac{1}{267}$ (0,00375) bis zu $\frac{1}{1333}$ abnimmt und um so flacher wird, je größer der Halbmesser ist. Sarrazin und Oberbeck berücksichtigen also in besonderem Maße die bautechnischen Um-

stände; nach ihren in Preußen befolgten Vorschlägen werden die Längen der Übergangsbögen

$$\begin{aligned} &\text{für } C = 12000 \text{ bei } R = 300 \text{ m} \dots l = 40 \text{ m} \\ &\qquad\qquad\qquad R = 600 \text{ m} \dots l = 20 \text{ m} \\ &\text{für } C = 20 R, \text{ bei } R = 600 \text{ bis } 3000 \text{ m} \dots l = 20 \text{ m}. \end{aligned}$$

Die Annahme $C = 20 R$ ist aber auch vom betriebstechnischen Standpunkte aus empfehlenswert, weil Bahnliesen, auf denen die Schnellzüge mit großen Fahrgeschwindigkeiten (100 km und darüber) verkehren sollen, doch wohl nur ganz ausnahmsweise Halbmesser unter 600 m erhalten dürften; bei solchen Halbmessern von 600 m und darüber werden aber die Längen der Übergangsbögen bei $C = 12000$ und auch selbst bei $C = 15000$ kleiner als bei $C = 20 R$; es ist z. B.

$$\begin{aligned} &\text{für } R = 800 \text{ m bei } C = 15000 \dots l = 18,75 \text{ m} \\ &\qquad\qquad\qquad \text{bei } C = 12000 \dots l = 15 \text{ m} \\ &\qquad\qquad\qquad \text{bei } C = 20 R \dots l = 20 \text{ m} \\ &\text{für } R = 1000 \text{ m bei } C = 15000 \dots l = 15 \text{ m} \\ &\qquad\qquad\qquad C = 12000 \dots l = 12 \text{ m} \\ &\qquad\qquad\qquad C = 20 R \dots l = 20 \text{ m} \end{aligned}$$

Die Wahl der Konstanten $C = 20 R$ gewährt also Übergänge, die für sehr schnell-fahrende Züge entschieden günstiger sind, als die anderen Annahmen.

§ 25. Grenze für die Anwendung der Übergangsbögen. — Theoretisch ist die Anwendung eines Übergangsbogens unter allen Umständen begründet und möglich — praktisch aber erscheint die Grenze für ihre Anwendung bei jenem Bogenhalbmesser R_g gegeben, bei welchem die Parallelverschiebung der Haupttangente so klein wird, daß die Übergangsparabel sich kaum mehr abstecken läßt. Dann hat ihre Anordnung keinen praktischen Wert mehr und man kann die etwa in Betracht kommende Schienenüberhöhung einfach in der Geraden verlaufen lassen. Welchen praktischen Kleinstwert v_g von der Verschiebung v man dabei festsetzen will, ist füglich Ansichtssache.

Nach Gleichung (IX) beziehungsweise Gleichung (II) (S. 150) ist

$$R_g = \frac{l_g^2}{24 v_g},$$

wenn l_g die Länge des Übergangsbogens für den gesuchten Grenzwert R_g bezeichnet; da nun nach (III) (S. 150)

$$l_g = \frac{C}{R_g}$$

ist, so erhalten wir

$$R_g = \sqrt[3]{\frac{C^2}{24 v_g}}$$

Der Wert von v_g kann praktisch bei 6 bis 10 mm angenommen werden.

Im Bereich der kgl. württembergischen Staatseisenbahnen ist die Einlegung von Übergangsbögen bei vollspurigen Hauptbahnen nur für Bogenhalbmesser von 800 m und weniger, bei schmalspurigen Nebenbahnen (0,75 m Spurweite) nur für Halbmesser ≥ 300 m vorgeschrieben; im ersteren Falle ist $v_g = 19$ mm, im letzteren $v_g = 14$ mm. Für die in Österreich gebräuchlichen Grenzwerte für R ergeben sich folgende Werte von v_g :

$$C = 12000, R = 1000 \text{ m}, l = 12 \text{ m} \dots v_g = 6 \text{ mm}$$

$$C = 6000, R = 600 \text{ m}, l = 10 \text{ m} \dots v_g = 7 \text{ mm}$$

$$C = 3000, R = 300 \text{ m}, l = 10 \text{ m} \dots v_g = 14 \text{ mm}$$

$$C = 1500, R = 150 \text{ m}, l = 10 \text{ m} \dots v_g = 28 \text{ mm}$$

$$C = 750, R = 90 \text{ m}, l = 8,333 \text{ m} \dots v_g = 30 \text{ mm.}$$

Weiter ist

$$\text{für } C = 20 R, R = 3000 \text{ m und } l = 20 \text{ m}$$

der fragliche Grenzwert

$$v_g = 5,5 \text{ mm.}$$

Die Ordinaten y , bezogen auf die Haupttangente, werden für $R = 3000 \text{ m}$, und zwar für die Abszisse

$$x = 10 \text{ m} \dots y = 0,003 \text{ m}$$

$$x = 15 \text{ m} \dots y = 0,009 \text{ m}$$

$$x = 20 \text{ m} \dots y = 0,022 \text{ m,}$$

erhalten also schon Werte, deren Aufrechthaltung im Betriebe sehr schwer möglich ist.

§ 26. Beurteilung der gebräuchlichen Form des Übergangsbogens. — Wir haben gesehen, daß der Übergangsbogen eine Gestaltung erhält, die nur annähernd der Forderung entspricht, aus welcher heraus der Übergangsbogen überhaupt seine Berechtigung gewinnt. Dieser Umstand kann für sich allein praktisch nicht störend fühlbar werden, weil die Abweichungen von der theoretisch genauen Gestaltung nicht zur Geltung kommen; es ist dies um so weniger der Fall, als die Übergangsbögen ebensowenig wie die Kreisbögen in der Ausübung des Betriebes die genaue, vorgeschriebene Form beibehalten. Übergangsbögen und Kreisbögen werden von den Bahnmeistern, sobald sie einmal im großen festgelegt sind, nach dem Augenmaße ausgerichtet, d. h. es wird ihnen eine Gestalt gegeben, die augenscheinlich dem Lauf der Fahrzeuge am günstigsten ist, da sie tunlich die im Betrieb gewonnene Form festhält. Die Abweichungen solcher »ausgerichteter« Bögen von den vorschriftsgemäßen Bögen sind im negativen und positiven Sinne mitunter nicht unbedeutend¹⁾. Aber nicht allein in bezug auf die jeweilige Krümmung des Übergangsbogens, auch rücksichtlich der Länge desselben weicht man in der Praxis wesentlich von der Theorie ab, wenn es sich um Schnellzugsgleise handelt; die nach dem Augenmaß ausgerichteten Übergangsbögen sind durchweg länger, als die Vorschrift besagt. Setzt man die Konstante $C = 12000$ und nimmt man für sehr schnell befahrene Gleise den kleinsten Halbmesser $R = 300 \text{ m}$, so wird die Länge des Übergangsbogens $l = 40 \text{ m}$; in Wirklichkeit sind derartige Übergangsbögen, auch bei größeren Halbmessern des Kreisbogens, vielfach 60 bis 80 m lang²⁾.

In dieser Tatsache liegt wohl ein Hinweis auf die Notwendigkeit wesentlich längerer Übergänge in den schnell befahrenen Gleisen. Diese Notwendigkeit entspringt aber weniger der ungenauen Form des Bogens, als weit mehr, wenn nicht ausschließlich, dem Umstande, daß die vorgeschriebene Überhöhung des äußeren Schienenstranges von Null bis zum Höchstwerte in den Übergangsbogen verlegt wird, so daß der Anfangspunkt dieses Bogens und der Beginn der Überhöhung zusammenfallen.

Betrachtet man einen Wagenquerschnitt, so durchläuft der Schwerpunkt desselben, während der Querschnitt sich im Übergangsbogen bewegt, eine Schrauben-

¹⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1907, S. 83.

²⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1907, S. 83.

linie, deren Projektion AS auf die Gleisebene nicht mit der Mittellinie des Übergangsbogens AU zusammenfällt (Abb. 85). Die Verschiebung des Schwerpunktes in der Projektion beträgt für die Überhöhung η

$$\xi = t \cdot \frac{\eta}{s},$$

wenn t die Höhe des Schwerpunktes über der Gleisebene, s die Spurweite bezeichnen. Die Bahn des Schwerpunktweges ist anfangs, etwa im ersten Drittel des Bogens,

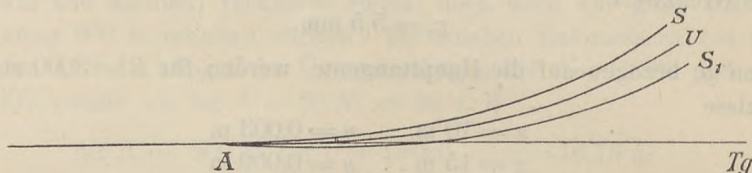


Abb. 85.

stärker gekrümmt als der Bogen; im mittleren Teile ist sie flacher, dann aber geht sie wieder mit schärferer Krümmung in einen Kreis über, der in der Entfernung

$$a = t \cdot \frac{h}{s}$$

mit dem Gleiskreisbogen parallel läuft.

Die Bahn des Schwerpunktes kann sonach bei der üblichen Form des Übergangsbogens den theoretischen Anforderungen nicht nachkommen¹⁾. Daher erfolgt die Einfahrt in den Übergangsbogen und auch die Ausfahrt aus demselben — und bei der Kürze des Bogens der Lauf des Fahrzeugs aus der Geraden in den Bogen und umgekehrt überhaupt — nicht ohne Stoß und namentlich nicht bei neu angelegten, nach Vorschrift ausgeführten Übergängen. Der Stoß kann vermieden oder doch gemildert werden, wenn die projektierte Bahn des Schwerpunktes auf die ganze Länge des Übergangsbogens der Gleisachse tunlich parallel läuft, wenn also der Schwerpunkt schon im Anfangspunkte des Übergangsbogens eine entsprechende Verschiebung erfahren hat (Abb. 85, AS_1). Dieser Forderung kann nur dadurch entsprochen werden, daß mit der Überhöhung des äußeren Schienenstranges schon in der Geraden, etwa um $\frac{1}{3}l$ vor dem Anfangspunkte des Übergangsbogens begonnen wird (Abb. 86).

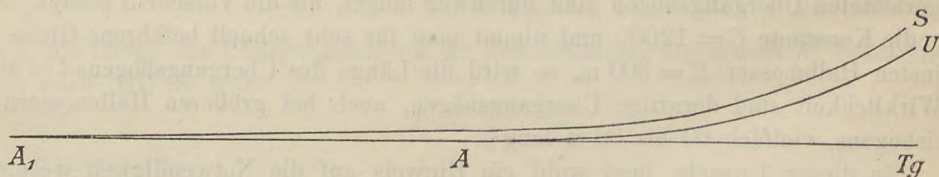


Abb. 86.

O. Ruch²⁾ ist auf theoretischem Wege ebenfalls zu der Forderung gelangt, die Überhöhung auf einer längeren Strecke zu gewinnen, als der Übergangsbogen im Grundrisse umfaßt.

Diese Betrachtungen sind freilich nur für einen Wagenquerschnitt, nicht für den ganzen Wagen maßgebend, dessen Schwerpunkt unter etwas anderen Bedingungen

¹⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1905, S. 23.

²⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1903, S. 59.

läuft; sie knüpfen auch an die theoretisch nicht genaue Übergangskurve an und übersehen die räumliche Bewegung des Schwerpunktes; aber immerhin können sie als wegweisende Erwägungen gelten, die uns vermuten lassen, wo der Fehler unserer Übergangsbögen zu suchen ist.

Eine praktisch richtige Lösung der Frage kann wohl auch nur auf dem Wege des Versuchs gewonnen werden, um so mehr als für verschiedene Betriebsverhältnisse auch je eine besondere Gestaltung des Übergangs als die richtigste erscheinen wird. Es ist eine wichtige Aufgabe der Betriebsingenieure, das Verhalten der Übergangsbögen bei verschiedenartiger, theoretischen Erwägungen entsprungener Ausführung zu beobachten und durch sachgemäße, auf den Beobachtungsergebnissen fußende Ausgestaltung jenen Übergang zu ermitteln, der der Hauptforderung eines tunlich stoßfreien Laufes der Züge am besten entspricht.

§ 27. Gegenkrümmungen. Zwischengerade. — Folgen zwei Bögen von entgegengesetzter Krümmung aufeinander, so muß zwischen ihnen mindestens soviel Raum gelassen werden, daß man die entsprechenden Übergangsbögen anbringen kann. Sei l_1 die Länge des Übergangsbogens für die erste, l_2 die Länge des Übergangsbogens für die zweite Krümmung, so muß der Abstand zwischen dem Anfangspunkte der einen und dem Endpunkte der anderen Krümmung ohne Übergangsbogen oder die sogenannte »Zwischengerade« mindestens

$$g_z = \frac{1}{2} (l_1 + l_2)$$

betragen.

Es fragt sich nun aber, ob nicht die Stellung der Laufwerke eines Wagens ungünstig wird, wenn man die entgegengesetzt gerichteten Übergangsbögen und die mit ihnen zusammenhängenden, in verschiedenen Schienensträngen liegenden Überhöhungen so unvermittelt aufeinander folgen läßt.

Ist a der Achsstand, s die Spurweite, $\frac{1}{\sigma}$ das Übergangssteigungsverhältnis, so hat ein Wagen, dessen Vorderachse auf die Länge a (Achsstand) aus einer Geraden in den Übergangsbogen eingefahren ist, folgende Stellung:

Vorderachse um $\frac{a}{\sigma}$ einseitig gehoben,

Hinterachse wagrecht.

Schließt sich an den Übergangsbogen der einen Krümmung der der entgegengesetzten Krümmung unmittelbar an und steht der Wagen beispielsweise mit der Hinterachse noch um Δa hinter dem Wechsellpunkte, also mit der Vorderachse um $(a - \Delta a)$ vor diesem, so ergibt sich für den Wagen die Stellung:

Vorderachse um $\frac{a - \Delta a}{\sigma}$ einseitig gehoben,

Hinterachse um $\frac{\Delta a}{\sigma}$ nach der entgegengesetzten Seite einseitig gehoben;

folglich:

beide Achsen um $\frac{a}{\sigma}$ gegenseitig verstellt;

das heißt: die gegenseitige Neigung der beiden Achsen bleibt auf dem ganzen Wege durch die beiden Übergangsbögen unverändert — ein Moment, das als günstig, zum mindesten als einwandfrei zu bezeichnen wäre.

Es ist aber zu beachten, daß die beiden Achsen eines Fahrzeuges beim Über-

schreiten des Wechsellpunktes Krümmungen von entgegengesetztem Sinne, wenn auch von sehr großen Halbmessern durchfahren. Um dies zu vermeiden, müßte zwischen den benachbarten Übergangsbögen ein Stück Gerade eingeschaltet werden, dessen Länge gleich wäre dem größten, bei den verkehrenden Fahrzeugen vorkommenden Radstande.

Die »T. V.« bestimmen:

§ 28⁴. Verschiedene Krümmungen der Gleise sind stetig ineinander überzuführen.

§ 28⁵. Zwischen entgegengesetzten Krümmungen einer Bahnlinie ist ein gerades Stück von solcher Länge einzulegen, daß die Fahrzeuge sanft und stetig in die andere Krümmung einlaufen, mindestens aber soll diese Gerade zwischen den Enden der Übergangsbögen bzw. den Endpunkten der Überhöhungsrampe 10 m betragen.

§ 39³. Zwischen den beiden Gegenkrümmungen eines Verbindungsgleises zweier Weichen soll eine gerade Linie von wenigstens 6 m liegen.

Diese Bestimmungen sind nicht bindend.

Die Eisenbahnbau- und Betriebsordnung für Deutschland bestimmt, daß entgegengesetzte Krümmungen der durchgehenden Hauptgleise durch eine Gerade zu verbinden sind, die zwischen den Endpunkten der Überhöhungsrampen bei Hauptbahnen mindestens 30 m, bei Nebenbahnen mindestens 10 m lang sein muß.

§ 28. Spurweite in geraden Gleisen. — Schon im ersten Kapitel § 16 ist darauf hingewiesen worden, daß die seinerzeit von Georg Stephenson beim Baue der Liverpool-Manchesterbahn angewandte Spurweite heute auf der ganzen Erde vorherrschend ist und seit der Berner internationalen Konferenz (1886) als »Normal«- oder »Vollspur« bezeichnet wird.

Für die Bahnen des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« ist in § 2 der »T. V.« für Haupt- und Nebeneisenbahnen bindend vorgeschrieben:

§ 2¹. Die Spurweite, im Lichten zwischen den Schienenköpfen gemessen, muß in geraden Gleisen 1,435 m betragen.

§ 2³. Abweichungen von den vorgeschriebenen Maßen — als Folge des Betriebes — sind bis zu 3 mm darunter und 10 mm darüber zulässig, derart, daß die größte Spurweite in geraden Gleisen nicht mehr als 1,445 mm beträgt.

Größere Spurweiten als die festgesetzte Vollspur von 1,435 m haben in Europa Frankreich, Spanien, Portugal, Irland und Rußland. In Frankreich bezeichnet man als Spurweite nicht die Entfernung der Innenkanten der Fahrschienen, sondern die Entfernung der Schienenkopfmitten der beiden Stränge eines Gleises, also eine un schwer genau festzulegende Entfernung; diese Spurweite ist mit 1,500 m bestimmt; im Hinblick auf die Breite der Schienenköpfe zwischen 50 und 60 mm ergibt sich denn eine Spurweite (im Sinne der Vereinsbestimmungen) von 1,450 bis herab zu 1,440 m; der geringe Unterschied gegenüber der Vollspur bietet kein Hindernis für den Übergang der Fahrzeuge. In Spanien und Portugal ist die Spurweite 1,68 m; Irland hat die Spurweite von 1,60 m; die abgeschlossene Lage dieser Staaten ermöglicht die Beibehaltung dieser Spurweiten ohne Beeinträchtigung des internationalen Verkehrs. In Rußland sind alle Bahnen, auch die neue große sibirische Eisenbahn, mit 1,525 m ausgeführt.

Die Verhältnisse in den Vereinigten Staaten von Nordamerika sind im ersten Kapitel § 16 dargestellt.

Der berühmte Lokomotivfabrikant Redtenbacher, der zuerst den Lauf der Lokomotive theoretisch untersuchte, hat vor etwa 40 Jahren den Ausspruch getan, daß für die Konstruktion mächtiger Lokomotiven die jetzt bestehende normale Spurweite ein großer Übelstand ist. »Die Kessel« — sagte er — »müssen unverhältnismäßig lang gemacht werden, was zur Folge hat, daß der Radstand sehr groß ausfällt und daß die Feueranfachung sehr erschwert wird. Auch ist eine beschränkte Spurweite für die Stabilität der Bewegung, durch welche die Laufgeschwindigkeit bedingt ist, sehr ungünstig. Es ist zu bedauern, daß die Spur von 1,435 m beinahe allgemein geworden ist.«

Heute ist eine Änderung der Spurweite für Hauptbahnen und Nebenbahnen in Mitteleuropa vollständig ausgeschlossen. Die Ingenieure haben sich mit dieser Tatsache, sowohl bezüglich des Baues leistungsfähiger Lokomotiven als auch bezüglich der Anlage eines widerstandsfähigen Oberbaues unbedingt abgefunden und beides auf der Grundlage der Vollspur (1,435 m) in hohem Grade erreicht.

Bezüglich der Schmalspur, ihres Werdens, ihrer Verbreitung und ihrer wesentlichen Vorteile ist ebenfalls schon im ersten Kapitel § 16 näheres mitgeteilt. Die Schmalspurbahnen bilden den Gegenstand des VIII. Bandes im vorliegenden Werke; wir werden daher in diesem Kapitel nur die vollspurigen Bahnen ins Auge fassen, sofern nicht besonders auf schmalspurige Bahnen hingewiesen wird.

§ 29. Die Spurweite in Krümmungen. Spurerweiterung. — Man geht bei Begründung ihrer Notwendigkeit und bei Ermittlung einer Formel für ihre Größe in der Regel von der Annahme aus, daß jeder Radsatz eines steifachsigen Fahrzeuges das Bestreben hat, sich in jedem Augenblicke rechtwinklig zu seiner Achse fortzubewegen und daß demgemäß die Vorderachsen steifachsiger Fahrzeuge gegen den äußeren Schienenstrang anlaufen und die Hinterachsen sich soweit davon zu entfernen suchen, bis sie radial stehen. Hierzu ist ein gewisser Spielraum, also die Erweiterung des Gleises in der Krümmung notwendig. Es wurde dies schon in § 15 näher besprochen; ein dreiachsiges Fahrzeug würde ohne Spurerweiterung nur in gezwungener, unnatürlicher Stellung, also unter großem Materialverschleiß eine Krümmung durchfahren können; aber selbst dann, wenn ein Fahrzeug mit nur zwei festen Achsen zwischen die Schienen so eingezwängt werden soll, daß gar kein Spielraum mehr besteht, muß eine Spurerweiterung im Bogen vorhanden sein. Es bezeichne allgemein:

R den Halbmesser des Gleises, auf dessen Mittellinie bezogen;

s_w das Spurmaß des Wagens, d. i. die Entfernung zwischen den Anlaufstellen der Spurkränze;

l den Radstand des Wagens;

$e = s_w - s$, worin s die Spurweite, d. i. den lichten Abstand der Schienenköpfe bezeichnet;

d den Durchmesser des Rades;

k die Höhe des Spurkranzes (Abb. 87), d. i. den Abstand jenes Spurkranzpunktes, der während der Bewegung im Bogen mit dem Schienenkopfe

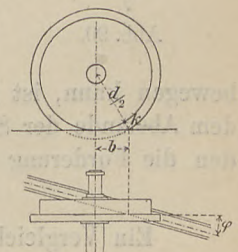


Abb. 87.

in Berührung tritt, vom Laufkreise des Rades, folglich $b = \sqrt{kd + k^2}$ den Abstand desselben Punktes von der durch die Achse gelegten Lotebene.

Wir betrachten nun folgende drei Fälle als Grenzfälle.

1) Zweiachsiges Fahrzeug bei eben ausreichender Spurweite in sogenannter naturgemäßer Stellung (Abb. 88).

Es muß die Gleichung bestehen:

$$(l + b)^2 + \left(R + \frac{s_w - e}{2}\right)^2 = \left(R + \frac{s_w + e}{2}\right)^2,$$

woraus folgt

$$e = \frac{(l + b)^2}{2R + s_w}, \tag{1}$$

$$R = \frac{1}{2} \left[\frac{(l + b)^2}{e} - s_w \right],$$

oder auch, da b gegenüber l und weiter s_w gegenüber $2R$ vernachlässigt werden kann, annähernd:

$$e = \frac{l^2}{2R}. \tag{1A}$$

Für einen zweiachsigen Wagen mit steifem Radstand von 6 m müßte im Bogen von 200 m Halbmesser der Unterschied e nach Gleichung (1A) betragen:

$$e = \frac{36}{400} = 0,090 \text{ m.}$$

Faßt man die in den »T. V.« §§ 70 und 72 festgesetzten Grenzwerte ins Auge, welchen die Abbildung 89 entspricht, so erkennt man, daß schon bei $e = 100$ mm das Fahrzeug nach innen entgleisen müßte. Deshalb ist man bei langen steifachsigen Wagen meist genötigt, auf die sogenannte naturgemäße Einstellung zu verzichten; der Fall Abbildung 46, S. 121 wird vorherrschend.

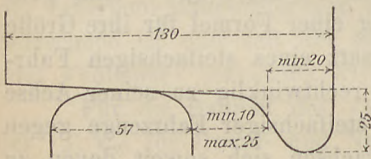


Abb. 89.

2) Fahrzeug mit mehr als zwei Achsen und mit steifem Radstande, ohne Spielraum vollständig zwischen den Schienen festgeklemmt (Abb. 90). Man erhält auf gleichem Wege wie in Fall (1) für jenen Wert von e , bei welchem das Fahrzeug eben festgeklemmt ist, die Gleichung:

$$e_0 = s_w - s = \frac{\left(\frac{l}{2} + b\right)^2}{2R + s} \tag{2}$$

oder annähernd

$$e_0 = \frac{l^2}{8R}. \tag{2A}$$

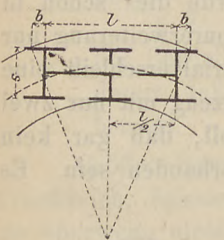


Abb. 90.

Damit das dreiachsige Fahrzeug sich im Bogen fortbewegen kann, ist jedoch erforderlich, daß für dasselbe ein Unterschied e zwischen dem Abstände der Schienenköpfe und dem Spurmaße des Wagens vorhanden ist, für den die Forderung bestehen muß:

$$e > e_0. \tag{2B}$$

Ein Vergleich der eben gefundenen Formeln mit (1) bzw. (1A) zeigt, daß der Anforderung $e > e_0$ leicht entsprochen werden kann; Formel (1) schließt eigentlich die Forderung (2B) in sich, weil der Radstand vierräderiger Wagen in der Regel größer ist, als der halbe Radstand sechsräderiger Wagen.

Dreiaxelige Wagen mit großem Radstande und nicht verstellbarer Mittelachse, auf deren Unzweckmäßigkeit schon Redtenbacher hingewiesen hat, sind allenthalben als fehlerhaft erkannt und kommen im Betriebe nicht mehr vor. Über die Größe der Verschiebbarkeit der Mittelachsen von Wagen, die mehr als zwei in einem gemeinschaftlichen Rahmen gelagerte Achsen haben, enthält § 129 der T. V. ausführliche Vorschriften, deren Feststellung der Krümmungshalbmesser von 180 m zugrunde gelegt ist.

Dagegen stehen Lokomotiven mit drei steifgekuppelten Achsen noch vielfach in Verwendung. Die vier- und fünfachsiges Lokomotiven deutscher und österreichischer Bahnen haben in der Regel eine bzw. zwei verstellbare Endachsen. Auf amerikanischen Bahnen verkehren Lokomotiven mit fünf gekuppelten Achsen und einem Laufwerke, deren fester Radstand 5,74 m beträgt. Allein auch hier ist für größere Beweglichkeit in Bögen dadurch vorgesorgt, daß beim zweiten und dritten Treibräderpaare die Spurkränze fehlen und beim fünften Paare der Spielraum um 9,5 mm vergrößert ist.

Achsen mit Rädern ohne Spurkranz, die auch in Europa immer mehr Anwendung finden, dürfen selbstverständlich nicht verschiebbar sein.

Aber wenn auch die eben besprochenen konstruktiven Anordnungen nicht angewandt würden und wenn die größte zulässige Spurerweiterung auf 4 cm festgesetzt wäre, könnte den durch die Gleichungen (2) ausgedrückten Bedingungen noch entsprochen werden, sobald $R > 103$ m ist.

Der Verkehr mehrachsiger steifgekuppelter Lokomotiven auf Strecken mit so kleinem Halbmesser erscheint jedoch vollständig ausgeschlossen. Der vorstehend besprochene Grenzfall (2) ist sohin überhaupt von geringer praktischer Bedeutung.

3) Zweiachsige Fahrzeuge mit festen Achsen, ohne Spielraum vollständig zwischen den Schienen festgeklemmt.

Dieser Grenzfall erscheint in Abb. 91 dargestellt; als Ergänzung dient Abb. 92. Bezeichnet wieder, wie oben, e_0 jenen Wert von e , bei dem das Fahrzeug eben festgeklemmt ist und R' den Halbmesser des äußeren Schienenstranges, so ist

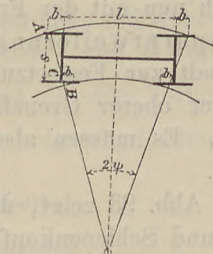


Abb. 91.

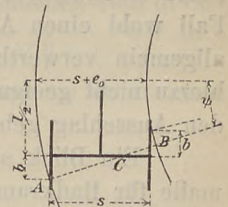


Abb. 92.

$$s_w + e_0 = AB = s_w \cos \psi + 2b \sin \psi$$

oder, da $\sin \psi = \frac{\frac{l}{2} + b}{R'}$ und ψ stets sehr klein ist, auch

$$s_w + e_0 = s_w + 2 \cdot \frac{\frac{l}{2} + b}{R'} \cdot b.$$

Da nun

$$R' = R + \frac{s_w + e_0}{2}$$

ist, so erhält man

$$e_0 = \frac{(l + 2b)b}{R + \frac{s_w + e_0}{2}}$$

und hieraus:

$$e_0 = \frac{2r + s_w}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{8(l + 2b)b}{(2R + s_w)^2}} \right)$$

oder annähernd

$$e_0 = \frac{2(l + 2b)b}{2R + s_w}. \quad (3)$$

Da es sich in diesem Grenzfalle nur um Fahrzeuge mit großem Radstande l handelt, so kann auch $2b$ vernachlässigt werden und wir erhalten für den Gebrauch hinreichend genau:

$$e_0 = \frac{lb}{R}. \quad (3A)$$

Nehmen wir z. B. $b = 18$ cm, $l = 6$ m, $R = 500$ m, so wird

$$e_0 = 2 \text{ mm},$$

also eine noch meßbare Größe trotz des flachen Bogens. Wenn somit bei einem Bogen von 500 m Halbmesser nicht ein Unterschied zwischen dem Spurmaß des Gleises und demjenigen des Wagens angebracht wird, der größer als 2 mm ist, so kann ein zweiachsiger Wagen mit einem festen Radstande von 6 m nur zwangweise durch den Bogen laufen, es müssen also unbedingt Räder und Schienen einen überaus starken Verschleiß erfahren.

Durch die Bestimmung, daß zwischen Spurkranz und Schienenkopf unter allen Umständen ein Gesamtspielraum von wenigstens 10 mm vorhanden sein muß, ist einer derartigen, man könnte sagen gewaltsamen Abnutzung vorgebeugt. Nach den T. V. § 72 darf dieser Spielraum auch bei der größten Abnutzung nicht über 25 mm betragen.

Wenn man sich nun mit der Frage befassen will, welches die untere und die obere Grenze der Spurerweiterung seien, so bietet der soeben behandelte dritte Fall wohl einen Anhalt zur Festsetzung der unteren Grenze — es fehlt aber ein allgemein verwertbarer oberer Grenzfall, denn der oben behandelte erste Fall ist hierzu nicht geeignet. Es müssen also in dieser Beziehung praktische Erwägungen den Ausschlag geben.

Ein Blick auf Abb. 93 zeigt, daß bei Anwendung der festgesetzten Mindestmaße für Radkranz und Schienenkopf und bei Annahme der zulässigen Bündigkeit der Außenseiten des Radkranzes und des Schienenkopfes für e ein Höchstwert von $130 - (57 + 20) = 53$ mm möglich wäre.

Nach den T. V. § 2² darf die Vergrößerung der Spurweite in Krümmungen mit Halbmessern unter 500 m das Maß von 30 mm niemals überschreiten.

In Berücksichtigung dieser bindenden Bestimmung erscheint sonach für neuen Zustand von Laufwerk und Bahn $e_{\max} = 40$ mm und für abgenutzten Zustand $e_{\max} = 55$ mm gegeben, wie aus den Ausmaßen für neue und abgenutzte Radreifen (Abb. 65 und 93) ohne weiteres hervorgeht.

§ 30. Spurerweiterung. Anwendung der gefundenen Formeln. — Alle theoretisch abgeleiteten Ausdrücke für die Spurerweiterung haben die Form

$$e = \frac{\text{funct}(l, b)}{\text{funct}(R, s_w)}.$$

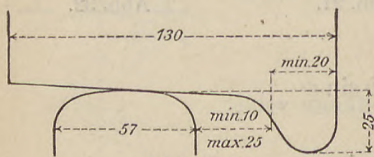


Abb. 93.

Ausdruck (1) ist aber nicht anwendbar; Ausdruck (2) besitzt nur nebensächliche Bedeutung — es bleibt sonach als Grundlage für eine Gebrauchsformel nur Ausdruck (3A) $\left[e_0 = \frac{l \cdot b}{R} \right]$ übrig, nebst der Bedingung, daß

$$e > e_0 \quad (4)$$

sein muß.

Für die Praxis ist es vorteilhafter, anstatt mit dem Spurmaß des Wagens s_0 mit der Spurweite s zu rechnen, wie sie für die Gerade angenommen wird, wobei natürlich $s > s_0$ ist; dem entsprechend soll nunmehr auch mit e die Erweiterung des Spurmaßes s , also die »Spurerweiterung« im praktisch gebräuchlichen Sinne des Wortes bezeichnet werden.

Der Höchstwert dieser Spurerweiterung $e_{\max} = e_1$ ergibt sich für einen praktischen Größtwert von l und b und für einen praktischen Kleinstwert R_1 des Bahnhalmessers; für jenen Wert R_2 , der eine nicht mehr gut meßbare, also auch nicht mehr berücksichtigungswerte Spurerweiterung ergibt, soll dieselbe gleich Null gesetzt werden. Hiernach müßte also die Spurerweiterung stetig von e_1 gegen Null gehen, indem der Bahnhalmesser von R_1 auf R_2 anwächst.

Dieser Forderung entspricht ein Ausdruck

$$e = \varrho \cdot \frac{b \cdot l}{R}, \quad (5)$$

worin ϱ eine Funktion von R darstellt, die eine solche Form besitzt, daß

$$\begin{aligned} \text{für } R = R_1 \dots e &= e_1 \\ \text{für } R = R_2 \dots e &= 0 \end{aligned}$$

wird; hierbei muß im Hinblick auf (4) unter allen Umständen die Forderung $\varrho > 1$ erfüllt sein. Wählen wir nun, wie es am nächsten liegt und wohl auch am natürlichsten ist, jene Kurve, welche die Beziehungen zwischen e und R versinnlichen soll, derart, daß sie eine Parallelprojektion jener Kurve wird, die dem Verlaufe von $e_0 = \frac{b \cdot l}{R}$ (3A) entspricht, so muß ϱ konstant und größer als 1 sein und Gleichung (5) erhält dann die Form

$$e \cdot R = \text{Konstante},$$

sie ist also die Asymptotengleichung einer Hyperbel.

Bei der Ausführung muß aber die Spurerweiterung noch bei einem endlichen Werte von R verschwinden; nach den T. V. ist für $R \leq 500$ m eine Vergrößerung der Spurweite nicht erforderlich. Der Einfachheit halber drücken wir ϱ durch eine Gleichung vom ersten Grade aus in der Form

$$\varrho = \mu \cdot R + \nu.$$

Die unveränderlichen Größen μ und ν werden bestimmt aus den Gleichungen

$$e_1 = (\mu R_1 + \nu) \cdot \frac{b \cdot l}{R_1}$$

und

$$0 = \mu \cdot R_2 + \nu,$$

woraus folgt:

$$\mu = - \frac{e_1}{b \cdot l} \cdot \frac{R_1}{R_2 - R_1}$$

und

$$\nu = \frac{e_1}{b \cdot l} \cdot \frac{R_1}{R_2 - R_1} \cdot R_2;$$

es ist daher

$$q = \frac{e_1}{b \cdot l} \cdot \frac{R_1}{R_2 - R_1} (R_2 - R)$$

und mithin die allgemeine Bestimmungsgleichung für die Spurerweiterung

$$e = e_1 \cdot \frac{R_1}{R} \cdot \frac{R_2 - R}{R_2 - R_1}. \quad (6)$$

Wir haben nun aber vorhin die Bedingung aufgestellt, daß die Kurven von e und e_0 Parallelprojektionen voneinander sein sollen; es müßte mithin $e_1 = q \cdot \frac{b \cdot l}{R_1}$ sein, woraus sich ergibt

$$q = \frac{e_1 \cdot R_1}{b \cdot l};$$

indem man nun diesen Wert in die allgemeine Kurvengleichung für die Spurerweiterung, d. i. in Gleichung (5) einsetzt, erhält man den Ausdruck

$$e = e_1 \cdot \frac{R_1}{R} \quad (7)$$

als die entschieden richtigere Bestimmungsgleichung für die Spurerweiterung beim Halbmesser R , wenn für den Bogenhalbmesser R_1 der Größtwert der Spurerweiterung e_1 gilt.

Die Annäherungsgleichung (6) ist für den Gebrauch scheinbar bequemer, weil die Annäherung mit einem willkürlich festzusetzenden Werte von R_2 abschließt; nun ist aber diese Gleichung (6) nichts anderes als Gleichung (7), multipliziert mit dem veränderlichen Verhältnisse $\frac{R_2 - R}{R_2 - R_1}$; sie wird also um so fehlerhafter, je kleiner R_2 gewählt wird und je mehr sich R diesem Werte nähert. Ein Beispiel zeigt diesen Umstand ohne weiteres klar und verständlich:

Nach den T. V. ist $R_1 = 180$ m der kleinste zulässige Halbmesser für Vollspurbahnen; es ist ferner — wie schon erwähnt — die größte Spurerweiterung $e_1 = 30$ mm und der Grenzhalmesser für die Erweiterung $R_2 = 500$ m.

Nach Gleichung (6) erhält man, entsprechend den geltenden Bestimmungen, für $R = 500$ m

$$e = 0;$$

nach Gleichung (7) sollte aber bei dem Halbmesser $R = 500$ m noch eine Spurerweiterung

$$e = 0,03 \cdot \frac{180}{500} = 10,8 = \text{rund } 11 \text{ mm}$$

vorhanden sein, was jedenfalls nicht einerlei ist.

Welche Grenze man für e_{\min} setzt, das heißt, ob man einen oder mehrere Millimeter nicht mehr berücksichtigen will oder welchen Halbmesser man als den kleinstzulässigen erklärt und welche größte Erweiterung man anzuwenden gedenkt — das ist theoretisch gleichgültig und, solange nur $R_1 \geq 180$ m und $e_1 \leq 30$ mm ist, auch vom praktischen Standpunkte aus statthaft; ebenso bleibt die Richtigkeit vorstehender Betrachtungen ungeändert.

Aus Gleichung (7) ergibt sich:

$$R_2 = \frac{e_{\max} R_{\min}}{e_{\min}}, \quad (8)$$

worin die Erweiterungen e_{\min} und e_{\max} in Millimetern, R_{\min} und R_2 in Metern ausgedrückt sein können.

Für

$$R_{\min} = 180 \text{ m, } e_{\max} = 30 \text{ mm}$$

wird

$$R_2 = \frac{5400}{e_{\min}} \text{ Meter}$$

und allgemein — nach Gleichung (7) —

$$e = \frac{5400}{R} \text{ Millimeter.} \quad (9)$$

Werden für R_{\min} und e_{\max} andere zusammenhängende Werte festgesetzt, so ändert sich in Gleichung (9) lediglich der Zähler des rechtsstehenden Bruches, aber das durch Gleichung (7) ausgedrückte Gesetz bleibt natürlich bestehen.

Es könnte nun zunächst eingewendet werden, daß in den Formeln (6) und (7) die Größen l und b nicht vorkommen. Dem gegenüber ist zu bemerken, daß e_1 (e_{\max}), R_1 (R_{\min}) und R_2 von vornherein im Hinblick auf gewisse praktische Größtwerte von l und von b festgesetzt worden sind und daß ja zunächst diesen Werten das aus Gleichung (5) sich ergebende $e = \varrho \cdot \frac{b \cdot l}{R}$ entsprechen muß. Diese Gleichung (5) und die aus ihr abgeleitete Gleichung (7) vereinigen jedoch in sich die Grundbedingungen (3) und (4), da $\varrho > 1$ ist.

Für Fahrzeuge mit kleinerem Radstand, als den der Berechnung zugrunde gelegt wird e allerdings verhältnismäßig groß, aber nichtsdestoweniger vorteilhaft, denn es nähert sich hier dem durch (1) ausgedrückten günstigen Werte um so mehr, je kleiner der tatsächlich vorhandene Radstand im Verhältnisse zu demjenigen ist, welchen die der Rechnung zugrunde gelegten Erfahrungszahlen stillschweigend in sich tragen.

Im Sinne des Ausdruckes (1) ist die nach (7) erhaltene Spurerweiterung noch richtig, wenn annähernd

$$\frac{l^2}{2R} = \frac{e_1 R_1}{R}$$

oder

$$l \leq \sqrt{2 e_1 R_1}. \quad (10)$$

Dies ergibt z. B. für Vollspurbahnen mit

$$e = e_{\max} = 30 \text{ mm} \quad \text{und} \quad R_1 = R_{\min} = 180 \text{ m}$$

$$l \leq 3,29 \text{ m.}$$

Wird $l > 3,29 \text{ m}$, so läßt sich mit $e_1 = 30 \text{ mm}$ und $R_1 = 180 \text{ m}$ der Anforderung (1) nicht mehr entsprechen und man kann dann nur das durch Gleichung (3) und (4) gegebene, in Gleichung (7) $\left[e = e_1 \cdot \frac{R_1}{R} \right]$ vereinigte Gesetz befolgen.

Nach den eben gemachten Erläuterungen wäre es folgerichtig geboten, die Spurerweiterung noch weit über die durch § 2 der T. V. festgesetzte Grenze $R \geq 500 \text{ m}$ hinaus anzuwenden, wie z. B. die Kaiser Ferdinands-Nordbahn für Bögen von 2000 m Halbmesser noch 2 mm Erweiterung vorschreibt, darüber hinaus aber $e = 0$ annimmt. Die Formel (7A) ergibt für $R = 500 \text{ m}$ noch eine Spurerweiterung von rund 11 mm; nachdem nun die T. V. für die Gerade einen Spielraum von mindestens 10 mm bestimmen, so könnte man immerhin unter Hinweis auf § 24 der T. V. annehmen, daß dieser Spielraum die Spurerweiterung für einen Bogen von 500 m Halbmesser zu ersetzen vermöchte. Dem ist aber nicht so; denn wenn zugegeben wird, daß schon

in der Geraden erfahrungsgemäß ein Spielraum von mindestens 10 mm notwendig ist, so darf man diesen ebensowenig für Bögen als noch ausreichend bezeichnen, als man anderseits einen geringeren Spielraum für die Gerade gestattet. Vom praktischen Standpunkte aus besteht aber wohl kein Anstand, die Anwendung der Spurerweiterung auch auf flachere Bögen auszudehnen, denn es ist füglich dieselbe Arbeit, ob man ein Bogengleis mit oder ohne Spurerweiterung verlegt; die Handhabung der verstellbaren Spurlehre ist genau die gleiche, wie die der festen und über die Mühe des Einstellens nach der ein für allemal gerechneten Spurerweiterungstabelle kann sich wohl niemand im Ernst beklagen.

Der technische Ausschuß des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« hat schon im Jahre 1884 auf Grund der Erfahrungen bei 47 Eisenbahnverwaltungen sich dahin geäußert, daß »die Spurerweiterungen sich bezüglich der Sicherheit des Betriebes und der möglichst geringen seitlichen Abnutzung der Schienen und Radreifen nur in den Fällen nicht bewährt haben, wo sie das kleinste Maß erreichten oder demselben nahe kamen«. Es wurde daher die nicht zu knappe Bemessung der Spurerweiterung als zweckmäßig bezeichnet. Das Fallenlassen der Spurerweiterung zwischen 500 und 1000 m Halbmesser erwies sich auch tatsächlich sehr bald als ein Fehler, der sich durch erhöhte Abnutzung der Schienenköpfe und Radreifen bemerkbar machte, wie aus dem Berichte des Technischen Ausschusses im Jahre 1892 hervorgeht. Man ist daher vielfach zu einer Grenze von 1000 m Halbmesser übergegangen. Auch die neuesten Versuche, über die J. Sandner im »Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.« 1899 ausführlich berichtet, sprechen zugunsten einer reichlichen Spurerweiterung.

§ 31. Ausführung der Spurerweiterung. — Die abgeleiteten theoretischen Formeln können wohl als Wegweiser dienen; sie bieten auch gewisse Aufschlüsse, die — wie gezeigt wurde — durch die Erfahrungen ihre Bekräftigung erhalten; sie können aber nicht unmittelbar für die Ausübung verwendet werden, weil sie nicht allen auftretenden Verhältnissen Rechnung tragen; ein stark hervortretender Mangel ist es jedenfalls, daß diese Formeln nur aus der Betrachtung eines einzigen Fahrzeuges abgeleitet worden sind und die gegenseitige Einwirkung der zu einem Zuge vereinigten Fahrzeuge auf ihre Stellung zueinander und auf ihre Stellung im Bogen nicht in ausdrückliche Erwägung ziehen. Die Art der Kuppelung, die Länge und Schwere des Zuges, der Lageplan des Gleises und viele andere Umstände bedingen die Stellung jedes einzelnen Fahrzeuges im Zuge¹⁾; aber sie lassen sich nicht genau in Rechnung setzen; man ist bezüglich ihrer ausschließlich auf Annahmen beschränkt, die möglicherweise ganz unzutreffend sein können. Hierauf eingehende Rechnungen werden daher nicht nur überaus verwickelt, sondern ihr praktischer Nutzen ist auch mindestens zweifelhaft. Nun läßt sich wohl nicht bestreiten, daß es zulässig ist, das Grundgesetz für die Bewegung eines einzelnen Fahrzeuges auch dem Gesetze für die Bewegung einer Gesamtheit voneinander abhängiger Fahrzeuge zugrunde zu legen, nachdem ja doch die Beweglichkeit eines Zuges sicherlich mit der Beweglichkeit des einzelnen Fahrzeuges im innigsten Zusammenhange steht und man behaupten darf, daß für die Bewegung ganzer Züge im Bogen all das angemessen und günstig ist, was für die Bewegung des einzelnen Fahrzeuges im Bogen angemessen und günstig erscheint.

¹⁾ Vgl. Bödecker, Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887.

Anders aber liegen die Verhältnisse, wenn es sich um die Feststellung von Zahlenwerten für die Ausführung handelt. Da kann doch füglich nur die Erfahrung das entscheidende Wort sprechen, sei es, daß man auf ihrer Grundlage die Spurerweiterungen direkt festsetzt, sei es, daß man aus diesen Erfahrungssätzen Formeln ableitet, die man dann wieder — allerdings ohne Berechtigung — in allen Fällen zur Anwendung bringt. Aber auch diese Formeln dürfen — im Sinne der oben gegebenen Darlegungen — nicht allzusehr von den durch die Theorie gegebenen Grundsätzen abweichen; so wäre unbedingt an der Tatsache, daß die Linie der Spurerweiterungen sich einer Hyperbel nähert, tunlich festzuhalten. In diesem Sinne müßten also auch alle jene Formeln, welche für den Verlauf der Spurerweiterungen eine Gerade ergeben, als für die Ausführung nicht empfehlenswert bezeichnet werden.

Solche aus der Erfahrung abgeleitete und in der Praxis benutzte Formeln sind:

$$e^{mm} = (0,02 \text{ bis } 0,03) (1000 - R^m);$$

$$e^m = \frac{6}{R^m} - 0,012;$$

$$e^{mm} = \frac{11339}{R^m};$$

$$e^{mm} = \frac{13302}{R^m} - 10.$$

In der Regel werden die Rechnungsergebnisse nicht genau eingehalten, sondern mehr oder weniger willkürliche Abänderungen vorgenommen.

Der Unterausschuß des Technischen Ausschusses des »Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen« hat die Formel aufgestellt:

$$e^{mm} = \frac{(1000 - R^m)^2}{30000},$$

mit der Bestimmung, auch bei der Spurerweiterung Abweichungen, als Folge des Betriebes, von + 10 mm und - 3 mm zuzulassen; als größte Spurerweiterungen sind 30 mm für Hauptbahnen und 35 mm für Nebenbahnen festgesetzt.

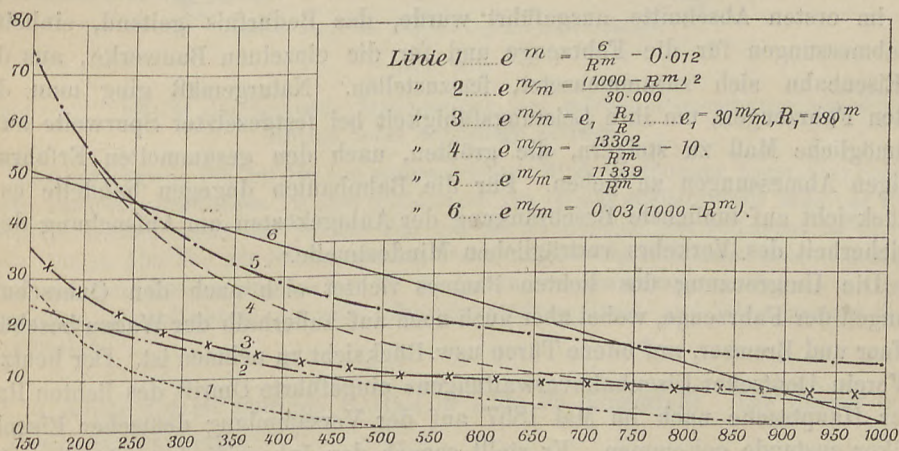


Abb. 94.

In Abb. 94 sind die Linien für den Verlauf der Spurerweiterungen nach den angegebenen Formeln dargestellt und ist zum Vergleiche auch die Linie (3) für Gleich.

(7) bei $e_1 = 30$ mm und $R_1 = 180$ m eingezeichnet; man erkennt daraus, wie sehr die gerade Linie von der theoretisch richtigen hyperbelähnlichen Kurve abweicht.

Jedenfalls sind weitere Untersuchungen und Versuche über den Wert der verschiedenen Formeln wünschenswert; man wird vielleicht durch sachgemäße Beobachtungen auch zu neuen, zweckmäßigeren Formeln gelangen. Hierbei erscheint allerdings Vorsicht geboten; streng sachliche, auf wissenschaftlicher Grundlage fußende Kritik der Ergebnisse, besonders wenn sie Widersprüche enthalten, ist unerlässlich; andererseits muß von zu weitgehender theoretischer Untersuchung abgesehen werden; sie verliert sich gerade auf diesem Gebiete in fruchtlose Spekulation, wenn sie kleinlich in die rechnungsmäßige Verfolgung von Nebenumständen sich verliert, bezüglich deren man mehr oder weniger auf Vermutungen angewiesen ist.

Die Spurerweiterung wird gewöhnlich stufenweise, von 3 zu 3 mm, auch 4 zu 4 mm ausgeführt, und zwar durch Verschiebung der inneren Schiene nach dem Krümmungsmittelpunkt, so daß die äußere Schiene — als Leitkante für die Außenräder der Vorderachsen — in ihrer genau der Krümmung entsprechenden Lage verbleibt.

In Frankreich weist schon das gerade Gleis gegenüber der Vollspur eine Erweiterung auf, so daß in den Krümmungen weitere Spurvergrößerungen in engen Grenzen gehalten werden können und überhaupt öfters entfallen. Ähnlich liegen die Verhältnisse in Nordamerika. Hier findet man trotz vielfach scharfer Bögen mit Spielräumen von $\frac{3}{8}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll (9,5 bis 19 mm) das Auslangen um so mehr, als fast ausschließlich Fahrzeuge mit Drehgestellen und daher sehr kurzem festen Radstand verkehren. Auf englischen Bahnen sind, dank dem günstigen Gelände, Bögen von weniger als 200 m Halbmesser sehr selten. Das Spiel zwischen Rad und Schiene beträgt bei der London and North Western-Bahn¹⁾ zwischen 15 und 32 mm. Der feste Radstand der Wagen ist gering und der Oberbau sehr widerstandsfähig.

§ 32. Umgrenzung des lichten Raumes. — Damit die Eisenbahnfahrzeuge nirgends anstoßen, muß längs der ganzen Strecke ein gewisser kleinster Raum ringsumher frei bleiben. Mit der Ausbreitung des Eisenbahnnetzes machte sich, wie schon im ersten Abschnitte ausgeführt wurde, das Bedürfnis geltend, einheitliche Hauptabmessungen für die Fahrzeuge und für die einzelnen Bauwerke, aus denen eine Eisenbahn sich zusammensetzt, festzustellen. Naturgemäß ging man davon aus, den Fahrzeugen, um ihre Leistungsfähigkeit bei festgesetzter Spurweite auf das höchstmögliche Maß zu steigern, die größten, nach den gesammelten Erfahrungen zulässigen Abmessungen zu geben. Für die Bahnbauten dagegen handelte es sich mit Rücksicht auf tunlichste Beschränkung der Anlagekosten um Aufsuchung der mit der Sicherheit des Verkehrs verträglichen Mindestmaße.

Die Umgrenzung des lichten Raumes richtet sich nach den Querschnittabmessungen der Fahrzeuge, wobei aber auch noch auf außerhalb der Wagen beschäftigte Schaffner und Bremser, auf offene Türen usw. Rücksicht zu nehmen ist. Der heutzutage im »Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen« eingeführte Umriß des lichten Raumes ist der Hauptsache nach im Mai 1857 auf der Versammlung deutscher Eisenbahntechniker zustande gekommen. Er stellt sonach den Inbegriff der zulässigen Höhen

¹⁾ Reitler, Über englischen und amerikanischen Oberbau, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895, Nr. 20.

und Breiten von Fahrzeugen und der gleichzeitigen, nach ersteren zu richtenden Mindestmaße für den Abstand über das Gleis sich erhebender Bauteile von den Schienen bildlich dar. Man nannte diesen Umriß, dessen größte Breite ungefähr der eines Personenwagens mit beiderseits geöffneten Türen entspricht, das »Normalprofil des lichten Raumes«. Dasselbe hat seither einige Veränderungen erlitten

Abb. 95 a.

Umgrenzung des lichten Raumes gültig für Haupt- und Nebeneisenbahnen.

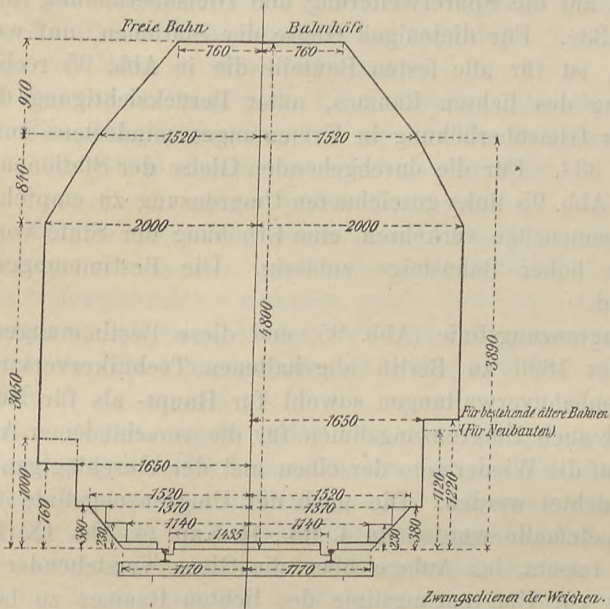


Abb. 95 b.

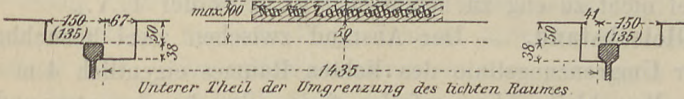


Abb. 95 d.

Abb. 95 e.

Die Stufe ----- ist für durchgehende Stationsgleise, auf welchen Personenzüge verkehren, bei Anlage hoher Bahnsteige zulässig.

Anmerkungen: Die mit 150 mm vorgeschriebene Mindestentfernung fester, über Schienenoberkante, außerhalb des Gleises bis zum Höchstmaße von 50 mm erhöhter Teile kann auf 135 mm eingeschränkt werden, wenn der erhöhte Teil mit der Fahrachse fest verbunden ist (Abb. 95 b und 95 d). Die in Abb. 95 e mit 500 mm größter Breite und 100 mm Höchstmaß über Schienenoberkante eingezeichnete Verengering hat nur für die Zahnradstrecken vollspuriger Bahnen mit ganzem oder teilweise Zahnradbetriebe, auf welche Betriebsmittel der Haupt- und Nebeneisenbahnen übergehen, Gültigkeit.

und ist in seiner derzeit gültigen Gestalt in Abb. 95 dargestellt. Die darauf bezüglichen Bestimmungen lauten:

§ 17¹. Die Lichtraumumgrenzung der Tunnel ist in solcher Weise anzuordnen, daß neben der im § 29 vorgeschriebenen Umgrenzung des lichten Raumes überall ein Spielraum von mindestens 400 mm bei eingeleisigen Tunneln verbleibt.

§ 17². In Krümmungen soll hierbei die etwa geänderte Lage der Umgrenzung des lichten Raumes berücksichtigt werden.

§ 17³. Die Herstellung geräumiger, in Entfernungen von etwa 50 m einander gegenübergestellter Nischen, welche zur leichteren Auffindung mit weißem Anstrich zu versehen sind, wird zur Sicherung der Arbeiter empfohlen.

§ 29. Die Umgrenzung des für die Strecke mindestens offen zu haltenen lichten Raumes ist die Abb. 95 links gezeichnete; dabei ist in Krümmungen auf die Spurerweiterung und Gleisüberhöhung Rücksicht zu nehmen.

§ 33¹. Für diejenigen Gleise der Stationen, auf welchen Züge bewegt werden, ist für alle festen Bauteile die in Abb. 95 rechts gezeichnete Umgrenzung des lichten Raumes, unter Berücksichtigung der Spurerweiterung und der Gleisüberhöhung in Krümmungen mindestens inne zu halten.

§ 33². Für die durchgehenden Gleise der Stationen ist die Innehaltung der in Abb. 95 links gezeichneten Umgrenzung zu empfehlen, jedoch ist dort, wo Personenzüge verkehren, eine Erhöhung der Stufe von 0,760 auf 1 m bei Anlage hoher Bahnsteige zulässig. Die Bestimmungen 29 und 33 sind bindend.

Die Umgrenzungslinie (Abb. 95) und diese Bestimmungen gelten, nach den Beschlüssen der 1896 zu Berlin abgehaltenen Technikerversammlung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen sowohl für Haupt- als für Nebeneisenbahnen. In den T. V. sind auch Umgrenzungslinien für die verschiedenen Arten von Fahrzeugen festgesetzt. Auf die Wiedergabe derselben und der einschlägigen Bestimmungen kann hier wohl verzichtet werden. Die nach der Umgrenzungslinie für Güterwagen festzusetzenden Lademaße werden im 4. Bd., II. Kap. (4. Abt. IX. Kap.) besprochen.

Es ist ratsam, bei Anlage über die Gleise vorstehender Bauteile noch einen Spielraum bis zur Umgrenzungslinie des lichten Raumes zu lassen und den Lichtraum der Tunnel nicht zu eng zu bemessen (vgl. § 17 der T. V.).

§ 33. Gleisabstand. — Der Abstand zwischen zwei benachbarten Gleisen müßte nach der Umgrenzungslinie des lichten Raumes eigentlich 4 m von Mitte zu Mitte betragen. Man bleibt aber auf der freien Strecke darunter und richtet sich mehr nach der durch die T. V. §§ 88, 117, 121, 122 festgesetzten größtzulässigen Breite der Fahrzeuge. Durch die Abrundung auf 3,5 m ist noch die Möglichkeit geschaffen, daß zwischen zwei sich begegnenden Zügen eine Tür zufällig offen stehe, ohne anzustreifen.

Die einschlägigen Bestimmungen der T. V. lauten betreffs der freien Strecke der Bahn für Haupt- und Nebenbahnen übereinstimmend wie folgt:

§ 30. Die Gleise auf der freien Strecke dürfen von Mitte zu Mitte nicht weniger als 3,500 m voneinander entfernt sein. Tritt zu einem Gleispaar noch ein Gleis hinzu, so ist dessen Entfernung von dem zunächst liegenden Gleise von Mitte zu Mitte mindestens mit 4 m vorzunehmen.

§ 30². Werden mehrere Gleispaare nebeneinander gelegt, so muß die Entfernung von Mitte zu Mitte der benachbarten Gleise je zweier Gleispaare mindestens 4 m betragen.

§ 30³. Bei Erbauung neuer Bahnen wird, um den vorgeschriebenen lichten Raum (vgl. § 29) wirklich herzustellen, zwischen allen Gleisen eine Entfernung von Mitte zu Mitte der Gleise von mindestens 4 m empfohlen.

Hinsichtlich der Bahnhöfe sagt § 38 der T. V. für Hauptbahnen:

§ 38¹. Die Parallelgleise der Stationen sollen wenigstens 4,500 m von Mitte zu Mitte entfernt sein.

§ 38². Hauptgleise, zwischen denen Bahnsteige liegen, sollen wenigstens 6 m von Mitte zu Mitte entfernt sein; nur auf kleinen Stationen kann dieser Abstand bis auf 4,700 eingeschränkt werden.

Für Nebenbahnen gilt:

§ 38¹. Als geringste Entfernung der Parallelgleise von Mitte zu Mitte wird 4,500 m als wünschenswert, 4 m als noch zulässig erkannt.

§ 38². Parallelgleise, zwischen denen Bahnsteige liegen, sollen wenigstens 4,500 m von Mitte zu Mitte entfernt sein.

Für Lokaleisenbahnen bestimmt § 26 der Grundzüge folgendes:

§ 26¹. Bei vollspurigen Bahnen, auf welche Hauptbahnwagen übergehen, sollen die Gleise mindestens 4,000 m von Mitte zu Mitte entfernt sein.

§ 26². Bei anderen vollspurigen sowie bei schmalspurigen Bahnen soll die Entfernung der Gleise so groß sein, daß der lichte Raum über jedem Gleise nach der festgesetzten Umgrenzungslinie freibleibt. Diese Entfernung so groß zu machen, daß zwischen den breitesten Fahrzeugen beziehungsweise Ladungen noch ein freier Raum von mindestens 500 mm Breite verbleibt, wird empfohlen.

Aus vorstehenden Bestimmungen ergibt sich bei mehrgleisigen Bahnen aus Gleisabstand und Umgrenzungslinie des lichten Raumes der mindest notwendige lichte Querschnitt für Bahnüberbrückungen und Tunnels. Bei Festsetzung der entsprechenden Bauformen kann man, wofern es sich um Überbrückungen handelt, ohne Anstand ziemlich nahe an die Grenze gehen. Nur wenn Umbauten oder Ausbesserungen zu gewärtigen sind, muß die Möglichkeit der Anbringung entsprechender Rüstungen berücksichtigt werden. Aus letzterem Grunde sollte man namentlich Tunnelquerschnitte nicht zu knapp bemessen. Für sehr lange Tunnels dürfte überdies schon im Hinblick auf die Schaffung eines beträchtlichen Luftraumes ein geräumiger Querschnitt angemessen sein. Der Zustand der Luft in langen verhältnismäßig engen Tunnels ist bei starkem Verkehre unstreitig ein schlechter.

§ 34. Ausrundung der Neigungswechsel. — Auch diese Aufgabe ist bereits durch Nördlinger wissenschaftlich behandelt und in Verbindung mit seiner Arbeit über Übergangskurven veröffentlicht worden.

Den Anlaß gab ein Eisenbahnunfall bei Fampoux, welchen man den Einflüssen der unvermittelten Aufeinanderfolge eines Gefälles und einer Steigung zuschreiben zu sollen glaubte. Infolge davon hatte man in Frankreich vorgeschrieben, daß zwischen zwei entgegengesetzten Steigungen eine wagrechte Strecke von mindestens 100 m Länge einzulegen sei.

Während man aber ehemals nur Steigungen von 10 bis 15‰ kannte, ist man später auf 25 und 30‰ übergegangen. Es ist leicht einzusehen, daß, wenn solche Gefälle an den Wechsellpunkten keine Milderung erführen und ausgesprochene Ecken im Aufrisse der Schienenwege hervorträten, daraus mancherlei Übelstände erwachsen könnten.

Dreiachsige Fahrzeuge würden z. B. eine nahezu völlige Entlastung der Mittelachse oder aber eine derartige Überlastung derselben erleiden, daß eine Entgleisung

des vorderen Radsatzes eintreten könnte. Folgten auf starke Gefälle wagrechte Strecken oder Gegensteigungen, so würden die Fahrzeuge daselbst förmlich aufprellen unter gewaltiger Beanspruchung sowohl der Radsätze als der Schienen. Endlich entstünden zwischen den Puffern der vorderen, in ihrer Bewegung verzögerten und der nachfolgenden Fahrwerke Stöße bedenklichster Art.

Viele Ingenieure haben zur Abrundung der Gefällsbrüche Kreisbögen angewendet, und auch die T. V. schreiben vor:

§ 27². Die Neigungswechsel sind nach einem Kreisbogen von mindestens 3000 m Halbmesser abzurunden, welches Maß nur für Strecken unmittelbar vor Stationen auf 2000 m herabgesetzt werden kann.

§ 27³. Zwischen Gegenneigungen von mehr als 5‰ (1:200) soll, sofern die Länge einer derselben 1000 m übersteigt, eine weniger als 5‰ (1:200) geneigte Strecke, wenn tunlich von der Länge eines Güterzuges, eingelegt werden, welche zur Abrundung mit benutzt werden kann.

Auf dem VI. Internationalen Eisenbahnkongreß in Paris im Jahre 1900 hat man sich in seinen Beratungen dahin geeinigt, daß bei Fahrgeschwindigkeiten bis zu 50 km in der Stunde ein Halbmesser von 2000 m für den Abrundungskreisbogen ausreichend sei und ein Halbmesser von 5000 m für alle Fälle auch auf Linien mit starken Neigungen genüge.

Nördlinger hat eine Parabel gewählt, dergestalt, daß auf je 1‰ Neigungsunterschied eine Länge von 10 m entfällt.

Wir wollen nun die Aufgabe zusammenfassen wie folgt (Abb. 96):

- 1) Die Abrundung soll mindestens mit einem Halbmesser von r Meter erfolgen.
- 2) Die Abrundungskurve soll eine Parabel sein. r sei daher der Krümmungshalbmesser für den Scheitel der Parabel.

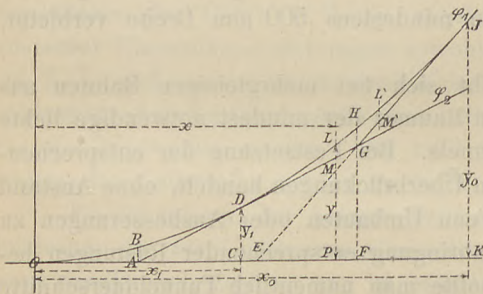


Abb. 96.

Die Achse der Parabel ist lotrecht; ihr Scheitel entspricht dem Übergangspunkte in die Wagrechte. Gefälle schließen sich berührend an die Parabel an. Zwei aufeinander folgende Gefällslinien umhüllen die Parabel von außen.

Bezeichnet p den Parameter, so ist bekanntlich $r = \frac{p}{2}$, daher die Gleichung der Parabel für den Scheitel O als Anfangspunkt

$$x^2 = py = 2ry \tag{1}$$

und das Gefällsverhältnis an irgend einem Punkte x, y der Parabel

$$\varphi = \frac{dy}{dx} = \frac{x}{r}, \tag{2}$$

folglich aus Gleichung (1)

$$y = \frac{x^2}{2r} = \varphi^2 \cdot \frac{r}{2}. \tag{3}$$

Hat man zwei Gefälle φ_1 und φ_2 und sind $x_0 y_0$ und $x_1 y_1$ die Koordinaten der Übergangspunkte, dann ist

$$\begin{aligned} y &= \varphi_1^2 \frac{r}{2}, \\ y &= \varphi_2^2 \frac{r}{2}, \end{aligned} \tag{3a}$$

somit der Höhenunterschied der Punkte

$$y_0 - y_1 = (\varphi_1^2 - \varphi_2^2) \frac{r}{2}. \quad (4)$$

Der Abstand der Punkte oder die Länge des Überganges ist

$$x_0 - x_1 = (\varphi_1 - \varphi_2) r; \quad (5)$$

für einen Zwischenpunkt L links vom Gefällsbruch G hat man die Pfeilhöhe

$$\begin{aligned} LM &= \frac{(x - x_1)^2}{2r} \\ L'M &= \frac{(x_0 - x)^2}{2r}. \end{aligned} \quad (6)$$

Die Pfeilhöhe wird am größten in der Mitte über dem Gefällsbruche G , nämlich

$$GH = \frac{(x_0 - x_1)^2}{8r} \quad (7)$$

oder wegen (5)

$$GH = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 r}{8}.$$

Für $r = 2000$ m und $\varphi_2 = 0$ z. B. erhält man folgende zusammengehörige Werte:

$\varphi_1 = 0,005$	0,010	0,015	0,020	0,025
$\overline{GH} = 0,00625$	0,025	0,056	0,100	0,156.

Es ergeben sich also, selbst wenn man das zulässige Mindestmaß für r wählt, Zahlen, die bei der Anlage offener Kunstbauten entschieden berücksichtigt werden müssen, sobald das Gefäll groß wird. Bei flacheren Ausrundungen, d. h. Zugrundelegung größerer Werte von r , wird die Sache natürlich noch auffallender, indem GH im selben Verhältnisse wie r wächst.

Vierter Abschnitt.

Widerstände von Eisenbahnfahrzeugen.

§ 35. Allgemeines. Auf einem in Krümmung und Neigung liegenden Gleise setzt ein Fahrzeug seiner Fortbewegung einen Widerstand W entgegen, der sich aus dreierlei Widerständen zusammensetzt, nämlich aus

- 1) dem Widerstande W_g auf gerader, wagrechter Bahn,
- 2) dem Widerstande W_r , welcher durch die Krümmung des Gleises verursacht wird und
- 3) dem Widerstande W_s , der durch die Schwerkraft auf der geneigten Bahn hervorgerufen wird.

Es ist also

$$W = W_g + W_r + W_s.$$

Gewöhnlich drückt man den Widerstand in Kilogramm für eine Tonne Gewicht des Fahrzeuges aus. Beträgt das Gewicht des Fahrzeuges Q^t und ist sinngemäß $w^{kg/t}$, $w_g^{kg/t}$, $w_r^{kg/t}$ und $w_s^{kg/t}$ der Widerstand für eine Tonne Fahrzeug, so erhalten wir

$$w^{kg/t} = w_g^{kg/t} + w_r^{kg/t} + w_s^{kg/t}.$$

Die Bestimmung der Widerstände w_g und w_r eines Fahrzeuges ist auf rechnerischem Wege nicht möglich, weil dabei Größen und Einflüsse mitspielen, die ziffermäßig nicht festgestellt werden können. Die Beantwortung der Fragen liegt nur in Versuchen, wie solche auch schon frühzeitig bei Beginn des Eisenbahnwesens und fortgesetzt bis in die Neuzeit unternommen wurden. Die Ergebnisse solcher Versuche gelten streng genommen nur für das Fahrzeug, das für die Studien Verwendung gefunden hat; jedes auch nur in irgend einem Einfluß nehmenden Konstruktionsteile abweichendes Fahrzeug wird auch einen anderen Widerstand äußern. Besonders deutlich muß dies naturgemäß bei der Lokomotive auftreten, wo die Widerstände zwischen Rad und Schiene noch durch die Widerstände der Maschinen bei der Bewegung der Lokomotive, d. i. durch die Reibung der bewegten Teile des Triebwerkes und der Steuerung vermehrt werden.

Der Widerstand, den ein Zug seiner Fortbewegung entgegensetzt, läßt sich nicht als die Summe der Widerstände jedes einzelnen Fahrzeuges auffassen, ganz abgesehen davon, daß diese Einzelwiderstände infolge der Verbindung der Fahrzeuge zu einem Zuge doch gegenüber dem Widerstande des einzeln laufenden Fahrzeuges verändert erscheinen werden. Die zwischen den einzelnen Fahrzeugen eines Zuges auftretenden, zumeist wirbelnden Luftbewegungen werden ihren Einfluß auf den Gesamtwiderstand des Zuges nicht minder äußern, wie z. B. der Umstand zur Geltung kommen muß, daß die Stirnflächen der Fahrzeuge teilweise durch die vorstehenden Wagen verdeckt, also dem direkten Luftwiderstande entzogen werden.

Bei der Anwendung einer der vielen im Laufe der Zeit aufgestellten Formeln ist Vorsicht geboten. Einerseits müssen die Verhältnisse bekannt sein, unter denen diese Formel gefunden wurde, andererseits ist auch der Zweck, dem die Widerstandsermittlung dienen soll, nicht ohne Bedeutung. Handelt es sich, wie vielfach der Fall ist, um die Bestimmung der größten Zugbelastungen auf gegebener Strecke, dann dürfte sich die unmittelbare Ermittlung der Zugwiderstände empfehlen, wozu sich vielleicht auch die Aufzeichnungen der Geschwindigkeitsmesser verwerten ließen¹⁾.

Wir wollen nun die Einzelwiderstände nachstehend erörtern.

§ 36. Widerstand auf gerader, wagrechter Bahn. — Er wird hervorgerufen durch die Reibung in den Achslagern, durch die rollende und gleitende Reibung auf den Schienen, durch die Schienenstöße und Unebenheiten des Gleises und der Räder, schließlich durch den Luftwiderstand, der von der Windrichtung und Windstärke mit abhängig erscheint.

Die Reibungswiderstände wachsen innerhalb der Geschwindigkeitsgrenze, die den Eisenbahnen gezogen erscheint, unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit; die Wirkung der Schienenstöße und der Unebenheiten des Gleises und der Räder wird mit wachsender Geschwindigkeit zunehmen, ob in erster oder zweiter Potenz, ist fraglich; man darf vielleicht am praktischesten damit rechnen, daß ein Teil mit der Geschwindigkeit geradlinig, ein Teil mit dem Quadrate derselben wächst. Der Luftwiderstand ist nach bekannten physikalischen Gesetzen von dem Quadrate der Geschwindigkeit und der Form und Größe der der Luft dargebotenen Fläche abhängig.

Der Widerstand eines Fahrzeuges vom Gewichte Q^t und mit der Stirnfläche F^{qm} wäre hiernach allgemein

$$W^{kg} = 1000 (a + b V^{km/St}) Q^t + \lambda \cdot F^{qm} (V^{kg/St})^2$$

oder

$$w^{kg/t} = 1000 (a + b V^{km/St}) + \lambda \cdot \frac{F^{qm}}{Q^t} \cdot (V^{km/St})^2.$$

Für die Lokomotive ist sinngemäß

$$w_1^{kg/t} = 1000 (a_1 + b_1 V^{km/St}) + \lambda \cdot \frac{F_1^{qm}}{Q_1^t} (V^{km/St})^2.$$

Bezeichnen wir mit Q_2^t das Gewicht des Wagenzuges, so ist der Widerstand des ganzen Zuges in Kilogrammen für eine Tonne Zuggewicht:

$$w_2^{kg/t} = 1000 (a + b V^{km/St}) + 1000 (a_1 + b_1 V^{km/St}) + \left[\frac{F_2^{qm}}{Q_2^t} + \frac{F_1^{qm}}{Q_1^t} \right] \cdot \lambda (V^{km/St})^2,$$

worin F_2^{qm} die Summe der der Luft dargebotenen Stirnflächenteile aller Wagen des Zuges bezeichnet.

Die ersten Versuche zur Ermittlung des Widerstandes einzelner Fahrzeuge hat Pambour im Jahre 1834 auf den französischen Bahnen durchgeführt. Später hat der Engländer Clark²⁾ auf den schottischen Eisenbahnen Versuche angestellt, indem er den Widerstand des beförderten Zuges aus den Diagrammen der Dampfarbeit in den Lokomotivzylindern ermittelte; aus den Ergebnissen berechnete er eine einfache Formel für die Zugwiderstände, die eigentlich grundlegend für die später aufgestellten

¹⁾ Ingenieur J. Wittenberg im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 3 u. 27.

²⁾ Rankine, Manual of Civil Engineering, 12. ed., S. 633.

Formeln geworden ist und vielfach Anwendung gefunden hat. Die Formel Clark's hat die Form:

$$w^{kg/t} = a + b (V^{km/St})^2,$$

und hierin ist

$$\begin{aligned} a &= 3,62, \\ b &= 0,001.^1) \end{aligned}$$

Wyndham Harding und Scott Russell²⁾ haben der Formel für den Zugwiderstand die Gestalt gegeben:

$$w_g = a + bv + cv^2.$$

Mittels dieser Formeln haben die Ingenieure L. Vuillemin, A. Guébard und C. Dieudonné die Ergebnisse der Versuche zum Ausdruck gebracht, die sie in den 1860er Jahren auf den Linien der französischen Ostbahn in großem Umfange vorgenommen haben³⁾. Die Züge sind je nach ihrer Fahrgeschwindigkeit in Gruppen geteilt; bei der letzten Gruppe: Güterzüge mit 12 bis 32 km stündlicher Fahrgeschwindigkeit, wird das dritte Glied mit v^2 weggelassen; die Erfahrungszahlen a , b , c haben in jeder Gruppe andere Werte, wobei noch ein Unterschied gemacht wird, je nachdem Öl- oder Fettschmiere zur Anwendung kommt.

Die Clark'schen Werte für a und b haben jedenfalls den damaligen Verhältnissen entsprochen; seit jener Zeit sind maßgebende Verbesserungen in der Bauart der Betriebsmittel und des Gleises durchgeführt worden, so daß die Werte $a = 3,62$ und $b = 0,001$ für die Gegenwart zu hoch gegriffen erscheinen.

Zu Beginn der 1880er Jahre hat A. Frank sehr eingehende, auf wissenschaftlicher Grundlage fußende Versuche über die Widerstände der Lokomotiven und Bahnzüge durchgeführt, welche überaus aufklärend gewirkt und die bestehende Unsicherheit in der Anwendung der verschiedenen Formeln zu beheben geeignet waren⁴⁾.

Frank ging bei den Versuchen nach folgenden Grundsätzen vor (vgl. auch »Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.« 1899, S. 146): Bewegt sich der Zug mit der Lokomotive vom Gewichte Q_1 und der Wagenreihe vom Gewichte Q_2 bei ruhiger Luft auf gerader Bahn in einem Gefälle mit dem unveränderlichen Neigungswinkel α , so sucht einerseits die Seitenkraft $(Q_1 + Q_2) \sin \alpha$ ihn abwärts zu ziehen, anderseits der Widerstand seine Geschwindigkeit zu verzögern. Ist die Seitenkraft der Schwere dem Widerstande gleich, so bewegt sich der Zug mit unveränderter Geschwindigkeit; sein Gesamtwiderstand ist dann durch $(Q_1 + Q_2) \sin \alpha$ ausgedrückt. Eine Beschleunigung oder Verzögerung kann nur Folge eines Unterschiedes zwischen $(Q_1 + Q_2) \sin \alpha$ und dem Widerstande sein, so daß auch aus der Beschleunigung oder aus der Verzögerung auf die Größe des Widerstandes bei irgend einer Geschwindigkeit geschlossen werden kann. Für die Versuche stand eine Strecke von 9 km Länge mit einer gleichmäßigen Steigung $\sin \alpha = 1:200$ zur Verfügung, die nur einmal durch eine 300 m lange wagrechte Strecke unterbrochen war.

1) Clark, Railway machinery, S. 297.

2) Rankine, Manual of Civil Engineering, 12. ed., S. 633.

3) De la résistance des trains et de la puissance des machines, par L. Vuillemin, A. Guébard et C. Dieudonné. Paris, 1867.

4) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1883 und in besonderer Auflage in C. W. Kreidel's Verlag in Wiesbaden 1886.

Frank stellt nun, von jenen Anschauungen ausgehend, die weiter oben dargelegt wurden, für den Widerstand eines durch äußere Kräfte bewegten Zuges aus Lokomotive und Tender nebst Wagen auf gerader, wagrechter Bahn folgende Formel auf:

$$W = \mu_1 Q_1 + \mu_2 Q_2 + \lambda (F_1 + F_2) v^2;$$

hierin ist

- Q_1 das Gewicht der Lokomotive nebst Tender,
 F_1 deren Stirnfläche,
 Q_2 das Gewicht und
 F_2 die der Luft dargebotene Fläche des Wagenzuges.

Frank ermittelte nun:

- für zweifach gekuppelte Personenzuglokomotiven $\mu_1 = 0,0032$,
 für dreifach gekuppelte Personenzuglokomotiven $\mu_1 = 0,0038$ bis $0,0039$,
 für Wagen $\mu_2 = 0,0025$.

Da mit hinreichender Sicherheit festgestellt ist, daß eine ebene, rechtwinkelig zu ihrer Bewegungsrichtung gestellte Platte bei einer Geschwindigkeit von 1 m/Sek. einen Luftwiderstand von 0,1225 kg/qm findet, so wird der Luftwiderstand der Fläche F bei der Geschwindigkeit v^m durch $0,1225 F^{qm} (v^m)^2$ gemessen, wonach also $\lambda = 0,1225$ ist.

Für die Größe F_1 hat Frank die Werte $F_1 = 7^{qm}$ bei Personenzug- und $F_2 = 8^{qm}$ bei Güterzuglokomotiven eingeführt. Der Wagenzug wird bezüglich des Luftwiderstandes durch die voranfahrende Lokomotive erheblich entlastet, so wie jeder Wagen den ihm nachfolgenden mehr oder weniger vor der Einwirkung der Luft schützt. Für die verschieden großen Stirnflächen der einzelnen Wagen nimmt Frank in guter Übereinstimmung mit seinen Versuchen an:

- für den Gepäckwagen 1,7 qm,
 für Personen- und gedeckte Güterwagen 0,5 qm,
 für offene, beladene Güterwagen 0,4 qm,
 für offene, leere Güterwagen 1 qm,
 für jeden Personen- oder bedeckten Güterwagen, der einem Güterwagen folgt 1 qm.

Hieraus läßt sich in jedem Falle für einen bestimmten Zug von bekannter Zusammensetzung die Fläche F_2 berechnen. Für allgemeine Fälle ist es bequemer, Durchschnittswerte anzunehmen, also für jeden Wagen eine Fläche f_2^{qm} ; für n Wagen von je q_2 Gewicht ist dann $Q_2 = n q_2$ und $F_2 = n f_2$ oder $F_2 = \frac{Q_2}{q_2} f_2$.

Wir erhalten dann die Formel

$$W^{kg} = 1000 \cdot \mu_1 Q_1^t + \frac{0,1225}{3,6^2} F_1^{qm} (V^{km/St})^2 + Q_2^t \left[1000 \mu_2 + \frac{0,1225}{3,6^2} \frac{f_2^{qm}}{q_2^t} (V^{km/St})^2 \right],$$

und den Widerstand des Wagenzuges allein für 1 t

$$w_1^{kg/t} = 1000 \mu_2 + 0,00945 \frac{f_2^{qm}}{q_2^t} (V^{km/St})^2.$$

Wenn man in dieser Gleichung setzt:

$$\frac{f_2}{q_2} = \frac{1}{9,45} = 0,1058 \text{ und } \mu_2 = 0,0025,$$

so erhält man die Formel

$$w_1^{kg/t} = 2,5 + 0,001 (V^{km/St})^2,$$

welche Rüppell bei seinen im Auftrage des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen zur Festsetzung der zu bremsenden Teile der Eisenbahnzüge angestellten Berechnungen benutzt hat. Das Verhältnis $\frac{f_2}{q_2}$ ist entschieden zu groß gewählt; für die von Rüppell zu lösende Aufgabe war dies ohne Einfluß; für die Berechnung der Zugwiderstände behufs Beurteilung der Leistungsfähigkeit vorhandener Lokomotiven muß aber diese Formel mit großer Vorsicht angewendet werden; Frank hält sie nur bei Güterzügen mit mäßigen Bruttolasten und mäßigen Geschwindigkeiten für zulässig.

Auf Grund von Mittelwerten für das Verhältnis $\frac{f_2^{qm}}{q_2^t}$ lassen sich nach Frank folgende Widerstandsformeln aufstellen:

- a) für Güterzüge mit mittlerer Zusammensetzung:

$$W^{kg} = 3,8 Q_1^t + 0,087 (V^{km/St})^2 + Q_2^t [2,5 + 0,00052 (V^{km/St})^2],$$

- b) für Güterzüge mit beladenen, offenen Güterwagen:

$$W^{kg} = 3,8 Q_1^t + 0,087 (V^{km/St})^2 + Q_2^t [2,5 + 0,000255 (V^{km/St})^2],$$

- c) für Personenzüge:

$$W^{kg} = 3,2 Q_1^t + 0,077 (V^{km/St})^2 + Q_2^t [2,5 + 0,0004 (V^{km/St})^2] \text{ und}$$

- d) für D-Züge:

$$W^{kg} = 3,2 Q_1^t + 0,077 (V^{km/St})^2 + Q_2^t [2,5 + 0,00014 (V^{km/St})^2].$$

In neuerer Zeit (vgl. »Ztschr. d. Ver. deutsch. Ing.« 1903, S. 469 und 1907, S. 94) hat Frank weitere Versuche vorgenommen, durch die es ihm gelang, die physikalische Gliederung der Formel noch mehr durchzuführen und den Einfluß der Stoßwirkung getrennt von dem Luftwiderstande zu bestimmen; auch trägt er hierbei den neueren Forschungen über Luftwiderstand Rechnung, indem er $\lambda = 0,07$ setzt. Als Grundwerte nimmt Frank, auf t und km/St bezogen und in kg ausgedrückt:

1) Reibungswiderstände, unabhängig von der Geschwindigkeit für Lokomotiven und Wagen 2,5;

2) durch Stoßwirkungen verursachte Widerstände für Lokomotiven und Wagen $0,0142 \left(\frac{V^{km/St}}{10} \right)^2$;

3) ideelle Flächen zur Berechnung des Luftwiderstandes:

a) für Lokomotiven $1,1 F_1^{qm}$ (wenn F_1 die Querprojektionsfläche der Lokomotive bezeichnet);

b) für jeden Personenwagen und bedeckten Güterwagen 0,56 qm;

c) für jeden beladenen Güterwagen 0,32 qm;

d) für jeden leeren offenen Güterwagen 1,62 qm;

e) außerdem für den ersten der Lokomotive folgenden Wagen bzw. für den Gepäckwagen 2 qm.

Setzt man für die gebräuchliche Bauart dieser Lokomotiven $\frac{F_1^{qm}}{Q_1^t} = 0,089$, so ergibt sich für Lokomotive nebst Tender

$$w^{kg/t} = 2,5 + 0,067 \left(\frac{V}{10} \right)^2,$$

für Personenzüge von n Wagen und f_2 qm ideelle Flächen bei q_2^t Gewicht des einzelnen Wagens:

$$w_1^{kg/t} = 2,5 + 0,0142 \left(\frac{V}{10} \right)^2 + 0,54 \left(\frac{2 + n f_2}{n q_2} \right) \left(\frac{V}{10} \right)^2;$$

es wäre also für Personenzüge mittlerer Stärke bei einem Gewichte der einzelnen Wagen $q_2 = 30$ t

$$w_1^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,03 \left(\frac{V}{10}\right)^2;$$

für Güterzüge aus 50 bedeckten Wagen bei $q_2 = 12$ t

$$w_1^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,041 \left(\frac{V}{10}\right)^2$$

und für Güterzüge aus 50 beladenen, offenen Wagen nebst Gepäckwagen bei $q_2 = 15$ t

$$w_1^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,032 \left(\frac{V}{10}\right)^2$$

und für Güterzüge allgemeiner Zusammensetzung bei $q_2 = 11$ t im Mittel

$$w_1^{\text{kg/t}} = 2,5 + 0,053 \left(\frac{V}{10}\right)^2.$$

In der »Revue générale des chemins de fer« 1897 berichtet Barbier über Versuche auf der französischen Nordbahn; die aus den Ergebnissen abgeleiteten Formeln sind nach der alten Harding-Formel aufgebaut und lauten:

$$W^{\text{kg}} = [3,8 + 0,023 V^{\text{km/St}} + 0,0009 (V^{\text{km/St}})^2] Q_1^{\text{t}} + [1,6 + 0,00456 V^{\text{km/St}} + 0,000456 (V^{\text{km/St}})^2] Q_2^{\text{t}}.$$

Barbier hat die Versuche mit Geschwindigkeiten zwischen 60 und 115 km/St an gestellt; die Formeln können daher auch nur innerhalb dieser Geschwindigkeitsgrenzen gelten.

Dieselbe Form der Gleichung benutzen Leitzmann und v. Borries, welche in den Eisenbahndirektionsbezirken Erfurt und Hannover Versuche durchgeführt haben¹⁾. v. Borries stellt für Lokomotiven die Formel auf:

$$W^{\text{kg}} = [4 + 0,045 V^{\text{km/St}} + 0,0004 (V^{\text{km/St}})^2] Q_1$$

und Leitzmann ermittelte den Bewegungswiderstand für Wagen bei einem aus zweiachsigen Wagen bestehenden Zuge von 40 Achsen zu je 6 t Belastung:

$$W^{\text{kg}} = [1,3 + 0,004 V^{\text{km/St}} + 0,00068 (V^{\text{km/St}})^2] Q_2^{\text{t}}$$

und bei einem Zuge aus vierachsigen Wagen mit Drehgestellen und je 7,5 t Achselbelastung:

$$W^{\text{kg}} = [1,2 + 0,0067 V^{\text{km/St}} + 0,00045 (V^{\text{km/St}})^2] Q_2^{\text{t}}.$$

Besonders wertvolle Versuche hat die Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen in Berlin durchgeführt, wertvoll deshalb, weil hohe Fahrgeschwindigkeiten zur Anwendung kamen und vorzügliche Meßinstrumente zur Verfügung standen. Indem wir für das Studium dieser Versuche auf die einschlägige Literatur verweisen²⁾, seien hier nur die Ergebnisse mitgeteilt.

Für den Luftdruck ergab sich aus den zahlreichen Aufnahmen als Mittellinie eine Kurve von der Formel

$$P^{\text{kg/qm}} = 0,0052 (V^{\text{km/St}})^2,$$

worin P den Luftdruck auf eine ebene, zur Fahrtrichtung senkrechte Fläche bezeichnet; ebenso konnte auf Grund der ebenso sorgfältigen als fachlich richtigen

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904.

2) Annalen f. Gew. u. Bauw. 1906, I, S. 225.

Erhebungen für die Widerstandslinien der Wagen folgende einfache Formel aufgestellt werden:

$$W^{kg} = (1,3 + 0,0067 V^{km/St}) Q_2^t + 0,0052 (V^{km/St})^2 \cdot F,$$

worin F die sogenannte Äquivalentfläche bedeutet, d. i. jene Fläche, die bei der Berechnung des auf den Wagen kommenden Luftwiderstandes einzustellen ist und von der Form der vorderen Wagenfläche abhängt; von Einfluß ist namentlich die Abrundung oder Zuspitzung der Fläche.

Für die Motorwagen lautet die Formel:

$$W^{kg} = (1,8 + 0,0067 V^{km/St}) Q_1^t + 0,0052 (V^{km/St})^2 \cdot F.$$

In den vorstehenden Formeln ist die für den Eigenwiderstand gefundene Linie, die eine schwache Krümmung zeigte, als Gerade angenommen. Die Formeln zeigen den großen Einfluß der Form der Fahrzeuge auf den Widerstand (durch das Glied $0,0052 (v^{km/St})^2 F$); für sehr hohe Fahrgeschwindigkeiten muß also, soll der Widerstand nicht zu bedeutend werden, eine Verkleinerung der Äquivalentfläche, etwa durch scharfkantig zulaufende Vorbauten angestrebt werden¹⁾.

In den Jahren 1899 und 1900 hat der Generaldirektor der Lancashire- und Yorkshire-Eisenbahn J. A. F. Aspinall Versuche²⁾ durchgeführt, deren Ergebnis in folgender Formel ausgesprochen erscheint:

$$W^{kg} = \left[1,116 + \frac{(V^{km/St})^{5/3}}{250 + 0,45 L^m} \right] Q_2^t;$$

in dieser Formel, welche den Widerstand eines Zuges aus Wagen mit Drehgestellen und mit Achsbüchsen für Ölschmierung angibt, bezeichnet L die Länge des Wagenzuges, Q_2 das Gewicht desselben; die Meßapparate und der ganze Vorgang der Beobachtungen sind am angegebenen Orte eingehend beschrieben; auch findet sich hier eine Erörterung anderer Versuche verschiedener Fachleute.

Bezüglich der Widerstände der Lokomotiven ist zu bemerken, daß dieselben natürlich auch in ganz besonderem Grade von der Bauart der Lokomotive abhängen und daher für jede einzelne Lokomotivgattung zu bestimmen sind. In diesem Sinne werden auch in neuerer Zeit vielfach Versuche durchgeführt. So hat v. Borries für die $\frac{2}{4}$ gekuppelte preußische Verbundschnellzuglokomotive mit dreiachsigem Tender die Formel

$$W^{kg} = [4 + 0,027 V^{km/St} + 0,0007 (V^{km/St})^2] Q_1^t$$

entwickelt. Die Generaldirektion der badischen Staatseisenbahnen hat im Winter 1902/3 ebenfalls Versuchsfahrten mit einer $\frac{2}{4}$ gekuppelten Zwillinglokomotive mit vierachsigem Tender durchgeführt³⁾ und aus den gewonnenen Schaulinien nach der Barbierschen Grundform die Gleichung ermittelt:

$$W^{kg} = [3,7 + 0,0225 V^{km/St} + 0,000875 (V^{km/St})^2] \cdot Q_1^t.$$

Diese Formel weicht nur wenig von der Formel Barbier's ab; der Unterschied ist dadurch begründet, daß die Reibung bei dem Triebwerke der Zwillinglokomotive geringer ist, als bei dem Triebwerke der vierzylindrigen Verbundlokomotive, die

¹⁾ Vgl. Annalen f. Gew. u. Bauw. 1906, I, S. 230.

²⁾ Bulletin de la commission internationale du Congrès des chemins de fer 1903, S. 188.

³⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1906, S. 49.

Barbier benutzte; die Abweichung gegenüber der Formel von v. Borries rührt davon her, daß bei der preußischen Lokomotive 34%, bei der badischen Lokomotive 41% auf den Tender entfallen. Man sieht, wie wichtig es ist, Widerstandsformeln tunlich wenig zu verallgemeinern, sondern sie immer auf die Sonderfälle zu beziehen, aus denen sie hervorgegangen sind. Das gilt freilich nur in voller Schärfe, wenn auch die aus den Formeln abgeleiteten Zahlen bestimmten und besonderen Zwecken dienen, z. B. für eine gegebene Bahnlinie und einen gegebenen Zug eine Lokomotive auf die erforderliche Leistungsfähigkeit hin zu prüfen. Für allgemeine Berechnungen kann die eine oder andere Formel, je nachdem sie dem vorliegenden Falle näher steht oder nicht, verwendet werden. (Abb. 97, 98.)

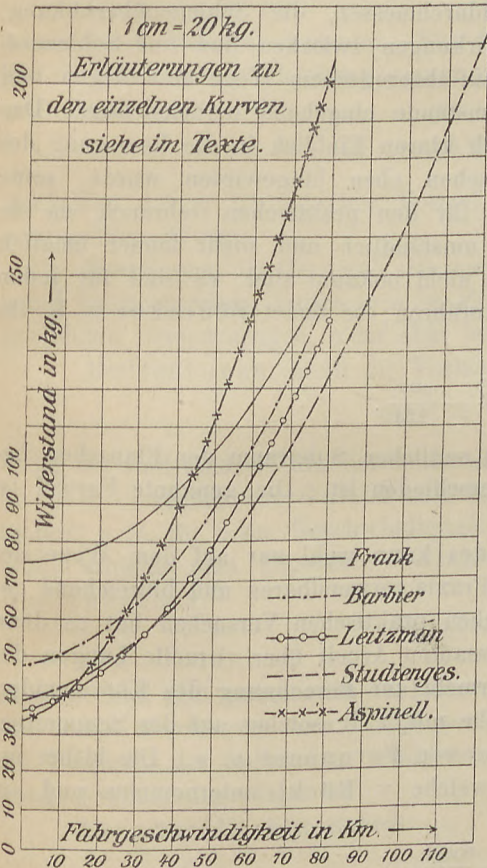


Abb. 97.

Widerstand eines Wagens;
 $Q_2 = 30 \text{ t.}$

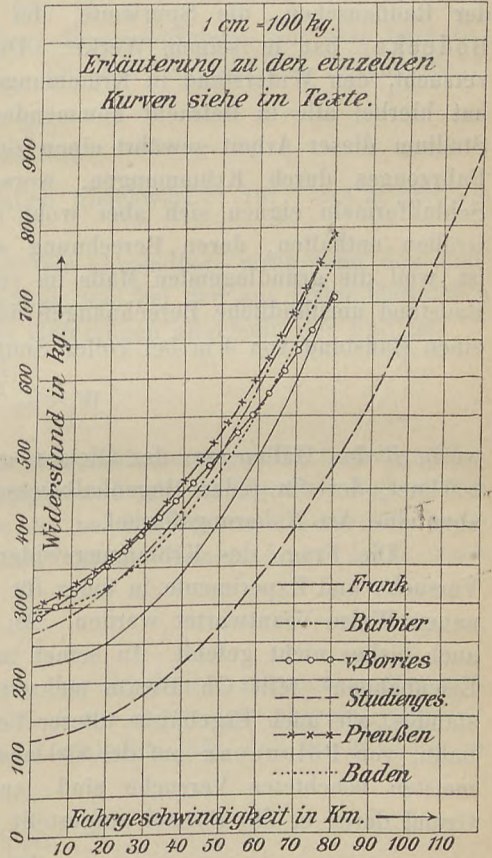


Abb. 98.

Widerstand einer Lokomotive (Triebwagen);
 $Q_1 = 70 \text{ t.}$; für Preußen $Q_1 = 75 \text{ t.}$; für Baden $Q_1 = 80 \text{ t.}$; Triebwagen $Q_1 = 70 \text{ t.}$, $F = 9,6 \text{ qm.}$

Für ungünstige Verhältnisse, wie sie bei Gebirgsbahnen zu gewärtigen sind, wird man vorteilhaft, weil für alle Umstände sicher, mit größeren Widerständen ($w \text{ kg/t}$) rechnen, während man z. B. bei geringen Fahrgeschwindigkeiten und bei Wagen mit Lenkachsen geringere Werte für die Widerstandseinheit annehmen kann;

es scheint nämlich nach Versuchen Hoffmann's¹⁾ der Widerstand der Lenkachsen in der Geraden bei geringster Geschwindigkeit etwa 20% geringer zu sein, als jener der Steifachsen.

§ 37. **Widerstand in Krümmungen.** — Durch das mehr oder minder starke Anpressen des äußeren Vorder- und des inneren Hinterrades an den Schienenstrang entsteht ein Widerstand, welcher den in gerader Bahn auftretenden Widerstand vermehrt. Diese Widerstandsvermehrung, die wir als Widerstand in Krümmungen bezeichnen, ist wesentlich abhängig von der Größe des Winkels, unter welchem das führende Vorderrad gegen den äußeren Schienenstrang anläuft, und weiter von der Form des Radreifens, namentlich der Gestaltung der Hohlkehle. Es werden also von Einfluß sein: der Halbmesser des Gleisbogens, der Radstand, der seitliche Spielraum der Radflanschen, die Spurweite, der Raddurchmesser, die Schienenüberhöhung. Bödecker hat in seinem Werke: »Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene«²⁾ versucht, den Widerstand in Krümmungen auf theoretischem Wege festzulegen und hat hierbei alle in Betracht kommenden Umstände eingehend berücksichtigt. Das Studium dieser Arbeit gewährt einen ziemlich klaren Einblick in die Bewegung des Fahrzeuges durch Krümmungen, worauf schon oben hingewiesen wurde; seine Schlußformeln eignen sich aber wohl nicht für den praktischen Gebrauch, da sie Größen enthalten, deren Berechnung sehr umständlich und nicht immer möglich ist, weil die grundlegenden Maße im voraus nicht bekannt sind; es sind für jeden Radstand umständliche Berechnungen durchzuführen; so findet Bödecker z. B. für einen Radstand von 4 m bei voller Spur

$$W_k^{\text{kg}} = \frac{859,38}{R^m} - \frac{\sigma^{\text{mm}}}{134},$$

worin R den Halbmesser des Gleises, σ den seitlichen Spielraum der Flanschen bezeichnet, der für jeden Bogenhalbmesser verschieden ist. Die genannte Formel ist aber eine Art Näherungsformel.

Die Frage des Krümmungswiderstandes kann wohl nur auf dem Wege der Versuche und Experimente in einer für die Praxis verwendbaren und hinreichend genauen Weise beantwortet werden. An solchen praktischen Versuchen hat es denn auch bisher nicht gefehlt. In seiner interessanten Arbeit über virtuelle Längen der Eisenbahnen³⁾ teilt Ch. Baum mehrere Formeln zur Berechnung des Kurvenwiderstandes, wie auch Ergebnisse älterer Versuche mit, z. B. solcher auf der Semmeringbahn, von Polonceau auf der Orléansbahn, von Forquenot u. a. Die bisher am meisten beachteten Versuche sind jene, welche v. Röckl unternommen und auf Grund deren er die Formel aufgestellt hat:

$$w_k^{\text{kg/t}} = \frac{650,4}{R^m - 55}.$$

In dieser viel angewandten Formel wird ausgesprochen, daß für einen Kleinstwert des Bogenhalbmessers, nämlich für $R = 55$ m, der Widerstand unendlich groß wird, also das Fahrzeug im Bogen nicht weiter bewegt werden kann. Das kann füglich doch nur für einen ganz bestimmten Radstand gelten, nicht aber allgemein; es ist auch wohl nicht zutreffend, daß der Widerstand bei $R = 56$ m noch eine endliche,

1) Hoffmann, Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1885, S. 207.

2) Hannover, 1887.

3) Annales d. ponts et chaussées 1880, S. 455.

wenn auch sehr hohe Größe ist, bei Verminderung des Halbmessers um 1 m aber sofort unendlich groß wird. Die Formel gilt nur für die Wagen, welche bei den Versuchen verwendet wurden; es ist eben auch hier eine Beschränkung auf bestimmte Verhältnisse geboten. Da aber bei den Wagen der vollspurigen Bahnen im allgemeinen keine so bedeutenden Konstruktionsunterschiede bestehen, die auf den Widerstand stärkeren Einfluß ausüben vermögen, so erscheint die Anwendung der Räckl'schen Formel für allgemeine Berechnungen um so mehr zulässig, als eine genaue Bestimmung des Kurvenwiderstandes ohnehin kaum möglich ist.

Aus Versuchen, welche auf den sächsischen Staatsbahnen stattfanden¹⁾, hat Hoffmann nachstehende Formeln für steifachsige Fahrzeuge abgeleitet:

$$w_k^{\text{kg/t}} = 21 \cdot \frac{4l^m + (l^m)^2}{R^m - 45},$$

worin l den Radstand bedeutet. Für die Form dieser Gleichung gilt, was bezüglich der v. Räckl'schen Gleichung gesagt wurde. Für $l = 4$ m geht die Formel Hoffmann's über in

$$w_k^{\text{kg/t}} = \frac{672}{R^m - 45},$$

wird also der v. Räckl'schen Formel ziemlich gleichwertig; für $l > 4$ m gibt sie weit größere Werte.

Die Formel Hoffmann's ist natürlich nur anwendbar, wenn man den Radstand jedes einzelnen Fahrzeuges im Zuge kennt, was bei den aus festen Garnituren gebildeten Personenzügen, nicht aber bei den Güterzügen allgemein der Fall ist.

Redtenbacher stellt die Formel auf:

$$w_k^{\text{kg/t}} = 1162 \mu \frac{l^m + s^m}{2R^m};$$

l^m ist der Radstand, s^m die Spurweite, R^m der Bogenhalbmesser, μ die Reibungsziffer, die nach Versuchen von Galton und Westinghouse mit der Geschwindigkeit sich ändert; z. B. für 5 km Geschwindigkeit, wie sie bei Hoffmann's Versuchen stattfand, erhielt man ungefähr $\mu = 0,13$, daher für $l = 4$ m und $s = 1,5$ m nach Redtenbacher

$$w_k^{\text{kg/t}} = \frac{415}{R^m};$$

diese Formel gibt entschieden zu kleine Werte; ihre Ergebnisse stimmen — wie man sich leicht überzeugen kann — mit den Versuchen um so weniger überein, je größer der Radstand des Fahrzeuges wird, woraus sich schließen läßt, daß dieser Größe zu wenig Einfluß eingeräumt ist.

Launhardt²⁾ setzt einfach:

$$w_k^{\text{kg/t}} = \frac{1000}{R^m}.$$

Diese Formel führt ebenfalls zu Ergebnissen, die wesentlich höher sind, als jene der v. Räckl'schen Formel, und die auch die theoretisch gewonnenen Widerstände Boedecker's ziemlich stark übertreffen. Nach den Studien Boedecker's dürfte sich für allgemeine Berechnungen als einfache, praktisch handsame Formel empfehlen:

$$w_k^{\text{kg/t}} = \frac{800}{R^m}.$$

1) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1885, S. 174.

2) Theorie des Trassierens II, S. 36.

Ein sehr beachtenswertes Ergebnis der Hoffmannschen Versuche ist die Feststellung der großen Verringerung des Widerstandes durch Anwendung von Lenkachsen. Nach den genannten Versuchen fällt der Bogenwiderstand bei geringer Geschwindigkeit bei Wagen mit 5 m Radstand auf $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$, und bei 7 m Radstand auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{6}$ des gleichnamigen Widerstandes der steifachsigen Wagen, wenn man ihn vom Bogen mit 800 m Halbmesser bis zu dem von 170 m Halbmesser verfolgt. Das Verhältnis des Bogenwiderstandes der Steifachsen zu dem der Lenkachsen steigt zu ungunsten der Steifachsen mit wachsender Bahnkrümmung und wachsendem Radstande, da der Lenkachsenbogenwiderstand nur wenig sich vermehrt, wenn Radstand und Bahnkrümmung zunehmen. Aus den Schaulinien zeigt sich, daß sich die fraglichen Lenkachsen wie steifachsige Wagen von 1,5 bis 3,2 m Radstand verhalten haben. Einen Annäherungswert für den Bogenwiderstand der Lenkachsen erhält man nach Hoffmann durch den Ausdruck

$$w_k^{\text{kg/t}} = 4 \left(\frac{10 \text{ m}}{R \text{ m}} + 0,1 \right).$$

Die Lokomotive wird bei Berechnung des Krümmungswiderstandes wie ein Wagen behandelt. Boedecker weist in seiner Studie, deren oben Erwähnung geschah, darauf hin, daß der Bogenwiderstand der Güterzuglokomotive in hohem Maße durch die ausgeübte Zugkraft beeinflusst wird. Bezeichnen wir mit Q_r das Reibungsgewicht der Lokomotive, mit f den Reibungskoeffizienten, so ergibt ein Vergleich mit den für die zweiachsigen Wagen von 4 m Radstand ermittelten Widerstand in kg/t, daß der in Hundertteilen ausgedrückte Bogenwiderstand der Güterzuglokomotive bei $Z=0$, wenn Z die Zugkraft ist, nahezu vollständig so groß, bei $Z=0,36 f Q_r$ aber kleiner und bei $Z=0,89 f Q_r$, etwa 40 v. H. größer ist, als der Bogenwiderstand dieser Wagen. Bei einer Zugkraft zwischen $0,80 f Q_r$ und $0,90 f Q_r$ würde es sich empfehlen, den Bogenwiderstand für die Lokomotive nach der Gleichung

$$w_{k1}^{\text{kg/t}} = \frac{1000}{R \text{ m}}$$

zu berechnen; für kleinere Zugkräfte kann die Lokomotive wie ein Wagen behandelt werden.

§ 38. Widerstand auf Steigungen. — Es sei φ der Neigungswinkel der Bahn gegen die Wagrechte, Q das Gewicht des Fahrzeuges; die Richtung der Zugkraft Z sei gleichlaufend mit der Ebene der Bahn und übereinstimmend mit der Bewegungsrichtung. Die auf der geneigten, geradlinigen Bahn zu überwindenden Reibungswiderstände werden die nämlichen sein, wie in der wagrechten Geraden. In der Steigung kommt dazu noch die der Richtung der Zugkraft entgegengesetzte Seitenkraft des Zuggewichtes, welche ausgedrückt wird durch

$$Q_1^t = Q^t \sin \varphi.$$

Auf den gewöhnlichen Reibungsbahnen ist φ so klein, daß man statt des Sinus die Tangente setzen, also auch schreiben kann

$$Q_1^t = Q^t \tan \varphi.$$

Es ist nun allgemein

$$\tan \varphi = \frac{h}{l},$$

wenn h die Höhe der schiefen Ebene für die Länge l bedeutet. Im Eisenbahnwesen gibt man die Neigung schiefer Ebenen durch die Höhe derselben für 1000 m Länge an, d. i. in Tausendeln (pro mille). Sei nun die Neigung der Bahn S v. T., so ist

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{S^m}{1000}$$

und sonach

$$Q_1^t = Q^t \frac{S}{1000}$$

und da Q_1 eben die Vermehrung des Widerstandes auf der Steigung darstellt, ist auch

$$w_s^{\text{kg/t}} = S,$$

wenn S die Steigung in Tausendeln ausdrückt.

Bei der Fahrt talab wirkt die Seitenkraft Q_1 vermindert auf den Widerstand ein und ist $w_s^{\text{kg/t}}$ dementsprechend nicht positiv, sondern negativ einzusetzen.

Demnach vermehrt oder vermindert sich bei den hier in Betracht kommenden geringen Neigungen der Zugwiderstand für jede Tonne Gewicht um so viele Kilogramm, als die Steigung oder das Gefälle der Bahn, in Meter auf 1000 m Länge, beträgt. Dieser zunächst aus theoretischen Erwägungen hervorgegangene Satz wird durch die Erfahrung vollkommen bestätigt.

Ob die Fahrzeuge Lenkachsen haben oder nicht, ob man es mit Wagen oder Lokomotiven zu tun hat, ist auf den lediglich aus der Neigung der Bahn erwachsenden Teil $w_s^{\text{kg/t}}$ des Gesamtwiderstandes natürlich ohne Einfluß, da nur das Gewicht, nicht aber die Bauart des Fahrzeuges in Betracht kommt.

§ 39. Beispiel. — Über eine Bahnstrecke mit 10 v. T. Steigung und mit Krümmungen von 200 m Halbmesser in dieser Steigung sollen Güterzüge geleitet werden, die annähernd je zur Hälfte aus gedeckten und offenen Güterwagen bestehen. Diese Wagen sind zweiachsig, haben 4 m Radstand und werden durchschnittlich mit 50 v. H. ausgenutzt; ein gedeckter Wagen wiegt 7,7 t, ein offener Güterwagen 6,4 t; die Ladefähigkeit beträgt bei ersten 12,5 t, bei letzteren 15 t. Der Gepäckwagen wiegt 15 t. Zur Förderung dieser Züge sollen $\frac{1}{4}$ gekuppelte Lokomotiven mit Schlepptendern verwendet werden; die Ausmaße dieser Lokomotiven sind folgende:

Zylinderdurchmesser	= 50 cm
Zylinderhub	= 57 cm
Raddurchmesser	= 113 cm
Dampfüberdruck	= 11 atm
Rostfläche	= 2,3 qm
Heizfläche	= 165 qm
Leergewicht	= 48,5 t
Volles Dienstgewicht	= 55 t
Achsdruck	= 13,7 t
Schlepptender	= 32 t

Zugkraft aus der Maschine abgeleitet = 8330 kg,

Zugkraft aus dem Reibungsgewichte abgeleitet = 8250 kg

Die Züge sollen mit 20 km Fahrgeschwindigkeit verkehren.

Bei 20 km Geschwindigkeit beträgt die Anzahl der Treibradumdrehungen in der Sekunde

$$n = \frac{20\,000}{3600 \cdot 1,13 \cdot 3,14} = 1,6;$$

da drei Umdrehungen zulässig sind, ist die Geschwindigkeit von 20 km = 5,56 m/Sek vom bautechnischen Standpunkte aus nicht zu hoch gegriffen. Maßgebend ist die kleinere Zugkraft $Z = 8250$ kg.

Es muß sein

$$Z^{\text{kg}} = W^{\text{kg}},$$

Zugkraft gleich Gesamtwiderstand.

Wir haben nun:

1) Widerstand in der Geraden nach Frank:

$$\begin{aligned} W_g &= 3,8 \cdot 87^t + 0,087 \cdot 20^2 + Q_2^t \cdot [2,5 + 0,00052 \cdot 20^2], \\ W_g^{\text{kg}} &= 365,4^{\text{kg}} + 2,71 Q_2^t. \end{aligned} \quad (\text{a})$$

2) Widerstand in Krümmungen:

$$\begin{aligned} W_r^{\text{kg}} &= \frac{800}{R^{\text{m}}} (87 + Q_2^t) = \frac{800}{200} (87 + Q_2^t), \\ W_r^{\text{kg}} &= 348^{\text{kg}} + 4 Q_2^t. \end{aligned} \quad (\text{b})$$

3) Widerstand auf der Steigung:

$$\begin{aligned} W_s^{\text{kg}} &= 10 \cdot (87 + Q_2^t), \\ W_s^{\text{kg}} &= 870 + 10 Q_2^t, \end{aligned} \quad (\text{c})$$

daher ergibt sich

$$W^{\text{kg}} = W_g^{\text{kg}} + W_r^{\text{kg}} + W_s^{\text{kg}} = 1583^{\text{kg}} + 16,71 Q_2^t = 8250 \text{ kg};$$

daraus folgt Gewicht des Wagenzuges:

$$Q_2^t = 398 \text{ t.}$$

Hiervon ab:

Gewicht des Gepäckwagens	15 t
verbleibt für die Wagen	383 t.

Es wiegt nun ein offener, halb beladener Güterwagen $6,4 + \frac{15}{2} = 13,9$ t

und ein bedeckter, halb beladener Güterwagen $7,7 + \frac{12,5}{2} = 13,95$ t.

Der Zug kann sonach bestehen aus 14 gedeckten Wagen $195,3$ t
und 13 offenen Wagen $180,7$ t

zusammen $376,0$ t,

wovon 185 t auf die Ladung entfallen.

Der für das Anfahren nötige Zugkraftüberschuß läßt sich durch Erhöhung des Füllungsgrades, der mit 60 v. H. angenommen wurde, gewinnen.

Hat man mit ungünstigen Verhältnissen zu rechnen, so wird es sich empfehlen, einen geringeren Reibungskoeffizienten zu wählen und nur mit einer Zugkraft von rund 7000 kg zu rechnen.

Die Leistung der Lokomotive bei $Z = 8250$ kg muß sein:

$$N = \frac{8250 \cdot 5,56}{75} = 610 \text{ PS.}$$

Hieraus ergibt sich das für die Leistungsfähigkeit des Kessels bestimmende Verhältnis

$$\frac{N}{H} = \frac{610}{165} = 3,7;$$

dies Verhältnis ist für Güterzuglokomotiven zu groß, d. h. die Lokomotivmaschine kann eine solche Leistung nicht bieten; man wird daher die Fahrgeschwindigkeit vermindern, um nicht die Belastung vermindern zu müssen.

Nehmen wir

$$\frac{N}{H} = 2,2,$$

so ist

$$N = 363 \text{ PS}$$

und mithin

$$v = \frac{75N}{2} = 3,18 \text{ m/Sek.},$$

bzw.

$$V = 11,5 \text{ km/St.}$$

Bei dieser Geschwindigkeit wird der Widerstand in der Geraden geringer sein, als früher; es wäre also die Rechnung zu wiederholen und zu prüfen, ob nicht eine Vermehrung der Belastung zulässig wird.

Der stündliche Dampfverbrauch wäre rund $D = 12,5 \times 363 = 4600 \text{ kg}$, der stündliche Wasserverbrauch $1,2 \cdot D = 5,52 \text{ cbm}$, der stündliche Verbrauch an Steinkohle $B = \text{rund } 2,2 \times 363 = 800 \text{ kg}$. Der Tender faßt 12 cbm Wasser und $6,4 \text{ t}$ Kohle; der Wasservorrat ist sonach alle zwei Stunden, der Kohlenvorrat spätestens alle $7,5$ Stunden zu erneuern. Die Entfernung der Wasserstationen darf mithin für die geplanten Güterzüge nicht mehr als 20 km , die Entfernung der Kohlenstationen höchstens 80 km betragen, um den anstandslosen Verkehr unter allen Umständen sicher zu stellen. Die Möglichkeit der Inbetriebsetzung der geplanten Züge wäre also auch von diesem Standpunkte aus zu erwägen; gegebenenfalls müßten Veränderungen in der Belastung vorgenommen werden.

Fünfter Abschnitt.

Einfluß der Neigungen und Krümmungen auf den Betrieb.

§ 40. Maßgebende, unschädliche, schädliche Steigungen. — Nach dem Vorhergehenden besteht zwischen der Zugkraft Z^{kg} und der Förderlast Q^{t} ganz allgemein das Verhältnis

$$Z^{\text{kg}} = w^{\text{kg/t}} \cdot Q^{\text{t}},$$

worin

$$w^{\text{kg/t}} = w_g^{\text{kg/t}} + w_r^{\text{kg/t}} + w_s^{\text{kg/t}};$$

sei es nun, daß für eine gegebene Last Q^{t} die erforderliche Zugkraft Z^{kg} oder für eine bestimmte Zugkraft die förderbare Last zu ermitteln ist — in jedem Falle ist $w^{\text{kg/t}}$ das maßgebende Widerstandsverhältnis, das wir mit $w_m^{\text{kg/t}}$ bezeichnen wollen.

Der Betrieb einer Bahnstrecke ist wirtschaftlich günstig, wenn für die Förderung derselben Last durchaus die gleiche Zugkraft aufgewendet werden muß, wenn also Z^{kg} für ein unveränderliches Q^{t} unveränderlich bleibt, mithin auch für die ganze Strecke

$$w_m^{\text{kg/t}} = \frac{Z^{\text{kg}}}{Q^{\text{t}}} = \text{Konstante}$$

ist. Eine solche Linie nennen wir eine Linie gleichen Widerstandes. Sei σ v. T. die größte Steigung, welche in dem Bogen mit kleinstem Halbmesser ρ vorkommt und S v. T. die größte in gerader Linie vorhandene Steigung, so muß die Gleichung gelten:

$$w_g + w_\rho + \sigma = w_g + S = w_m. \quad (1)$$

Hieraus ergibt sich zunächst:

$$\begin{aligned} w_\rho + \sigma &= S \\ \sigma &< S. \end{aligned} \quad (1a)$$

Die in der Geraden vorkommende größte Steigung ist also überhaupt die größte auf der Bahnlinie zulässige Steigung und da

$$w_m = w_g + S$$

ist, so ist diese Steigung S auch entscheidend für das Verhältnis $\frac{Z}{Q}$ und wir nennen sie die maßgebende Steigung und bezeichnen sie mit S_m v. T. Sie ist auch dann maßgebend, wenn sie nur innerhalb einer einzigen Strecke vorkommt, sobald diese Strecke zu lang ist, um mit Unterstützung der dem Zuge innewohnenden lebendigen Kraft überwunden zu werden.

Aus Gleichung (1) erhält man weiter:

$$\sigma = S - w_\rho, \quad (1b)$$

d. h. das Steigungsverhältnis in der Krümmung darf nicht größer sein, als der Unterschied zwischen dem maßgebenden Steigungsverhältnisse und dem jeweiligen Krümmungsverhältnisse. In Krümmungen sind also die Steigungen um so mehr zu ermäßigen, je kleiner der Bogenhalbmesser wird.

Da

$$S = w_q + \sigma, \tag{1}$$

so kann man auch $\max(w_q + \sigma)$ als maßgebendes Steigungsverhältnis bezeichnen, und versteht dann darunter das dem größten aus Krümmung und Steigung erwachsenden Widerstandsverhältnisse gleichwertige Steigungsverhältnis; durch dieses letztere ist auch die größtmögliche Steigung in der Geraden bestimmt.

Die maßgebende Steigung ist nicht nur in Bögen, sondern auch in Tunnels zu vermindern, weil infolge der in jedem längeren Tunnel herrschenden Feuchtigkeit die Lauffläche der Schienen sich in einem Zustande befindet, bei dem die Reibungsziffer zwischen Rad und Schiene gegenüber dem Zustande in offener Bahn vermindert erscheint.

Bezeichnen μ die Reibungsziffer für die offene Bahn unter mittleren Verhältnissen, μ_t die Reibungsziffer für den Tunnel, M das Lokomotivgewicht, αM das auf den Treibrädern ruhende Gewicht, T das Gewicht des Wagenzuges samt Tender, $\max(w_q + \sigma)$ das maßgebende Steigungsverhältnis auf offener Bahn, $w_{qt} + \sigma_t$ das entsprechend ermäßigte im Tunnel, so ist bei unveränderlicher Belastung und voller Ausnutzung der Zugkraft der Lokomotive bzw. ihres Reibungsgewichtes:

$$\alpha M \cdot \mu = [w_g + \max(w_q + \sigma)] (M + T),$$

$$\alpha M \cdot \mu_t = [w_g + (w_{qt} + \sigma_t)] (M + T),$$

und daher

$$\frac{\mu_t}{\mu} = \frac{w_g + (w_{qt} + \sigma_t)}{w_g + \max(w_q + \sigma)}.$$

Wegen der verminderten Reibung zwischen Rad und Schiene im Tunnel wird $w_{qt} < w_q$ sein, so daß man sehr sicher geht, wenn man $w_{qt} = w_q$ setzt und annimmt

$$\sigma_t = \frac{\mu_t}{\mu} [w_g + \max(w_q + \sigma)] - (w_g + w_q). \tag{5}$$

μ_t kann nach Beobachtungen bis auf $\frac{1}{10}$ herabgehen.

Beispiel: Es sei

$$\mu = \frac{1}{6}, \quad \mu_t = \frac{1}{10}, \quad w_g = 0,005$$

und das maßgebende Steigungsverhältnis

$$\max(w_q + \sigma) = 25 \text{ v. T.},$$

wie dies auf Gebirgsbahnen nicht selten vorkommt.

Wir erhalten dann für einen Tunnel im Bogen:

$$\sigma_t = 0,6 [0,005 + 0,025] - (0,005 + w_q)$$

$$\sigma_t = 0,013 - w_q = 13 \text{ v. T.} - w_q,$$

und für einen Tunnel in der Geraden

$$\sigma_t = 0,013 = 13 \text{ v. T.}$$

Eine Herabminderung der Reibungsziffer auf $\frac{1}{10}$ wird wohl nur unter sehr ungünstigen Verhältnissen stattfinden; auch ist dem Lokomotivführer durch den Sandstreuapparat die Möglichkeit geboten, eine Erhöhung der Reibung zwischen Rad und

Schiene zu bewirken, man wird daher selten mit einem so bedeutenden Steigungsunterschied zwischen offener Bahn und Tunnel zu rechnen haben.

Diese Betrachtungen gelten für die Bergfahrt. Allein wir haben auch die Talfahrt zu berücksichtigen. Diese wird wirtschaftlich günstig sein, wenn an keiner Stelle infolge der Notwendigkeit des Bremsens mechanisches Wirkungsvermögen vernichtet werden muß. Es sollte also die bei der Talfahrt im gleichen Sinne wie die Zugkraft wirkende Seitenkraft der Schwere höchstens zur Überwindung der Bewegungswiderstände dienen, weil in diesem Falle ein Aufwand an Zugkraft nicht erforderlich wird. Wächst aber die fragliche Seitenkraft über diese günstige Grenze hinaus, so tritt eine konstant wirkende Kraft auf, die eine Beschleunigung des Zuges zur Folge haben müßte und daher durch Bremskraft zu überwinden ist. Bleibt die Seitenkraft unter der oben bezeichneten günstigen Grenze, so genügt sie nicht mehr zur Überwindung der Widerstände und es muß noch eine ergänzende Zugkraft angewandt werden, um den Zug talwärts zu bewegen.

Diese Verhältnisse stellen sich in Formeln folgendermaßen dar:

Ganz allgemein steht die Gleichung

$$Z + s Q = (w_g + w_\varrho) Q. \quad (2)$$

Ist nun

$$s = w_g + w_\varrho, \quad (2a)$$

so wird

$$Z = 0;$$

es ist keine Zugkraft notwendig; der Zug rollt mit gleich bleibender Geschwindigkeit durch den Bogen vom Halbmesser ϱ abwärts.

Ist

$$s > w_g + w_\varrho, \quad (2b)$$

so wird für $Z = 0$ eine abwärts gerichtete Zugkraft vorhanden sein:

$$Z_1 = [s - (w_g + w_\varrho)] Q,$$

welche aber zur Verhütung einer Beschleunigung des talwärts laufenden Zuges durch die Anwendung der Bremsen zu vernichten ist.

Haben wir schließlich

$$s < w_g + w_\varrho, \quad (2c)$$

so ist noch eine Zugkraft aufzuwenden:

$$Z = (w_g + w_\varrho - s) Q. \quad (2d)$$

Das Bremsen der Züge verursacht eine Vermehrung des Materialverschleißes bei Schienen und Rädern; auch birgt die Talfahrt mit angezogenen Bremsen ein gewisses Gefahrmoment in sich, da die Bremsen unter Umständen versagen können. Wir haben also vollen Grund, ein Gefälle, das unter dauerndem Bremsdruck durchfahren werden muß, als schädliche Neigung zu bezeichnen, während wir Neigungen, die eine Anwendung der Bremsen nicht notwendig machen, unschädlich nennen.

Für unschädliche Neigungen gilt nach (2a)

für Krümmungen

$$s_{t\varrho} \equiv w_g + w_\varrho,$$

für Gerade

$$s_{tg} \equiv w_g;$$

es ist also

$$s_{tq} \leq s_{tg} + w_q,$$

und mithin

$$s_{tq} > s_{tg};$$

d. h. faßt man die Talfahrt allein ins Auge, so zeigt sich, daß die Grenze für die unschädliche Neigung in Krümmungen höher liegt, als in der Geraden und zwar um den Betrag des Krümmungswiderstandes, daß also die Steigung um so größer sein könnte, je schärfer gekrümmt das Gleis ist.

Betrachten wir nun Berg- und Talfahrt in gemeinsamer Wirkung bezüglich des Aufwandes an Zugkraft für die Förderung der gleichen Last Q_1 bergan und talab. Für die gekrümmte Strecke gilt allgemein

$$Z = Z_{\text{bergan}} + Z_{\text{talab}} = (w_g + w_q + \sigma) Q_1 + (w_g + w_q - \sigma) Q_1;$$

für die Grenze der unschädlichen Neigung, also für

$$\sigma = s_{tq} = w_g + w_q$$

ergibt sich dann

$$Z = 2(w_g + w_q) Q_1. \tag{3a}$$

Für die gerade Strecke gilt:

$$Z = (w_g + \sigma) Q_1 + (w_g - \sigma) Q_1;$$

also für die unschädliche Neigung

$$\sigma = s_{tg} = w_g,$$

weiter:

$$Z = 2w_g Q_1. \tag{3b}$$

Der Einfluß einer unschädlichen Neigung ist sonach unter den gemachten Voraussetzungen bezüglich der Geraden wie der Krümmungen gleich Null; die Zugkraft ist dieselbe, als ob keine Neigungen vorhanden wären; der Begriff der unschädlichen Neigungen tritt hier besonders klar zutage.

Wie groß wird nun für eine solche Linie die maßgebende Steigung sein dürfen?

Es ist (Abb. 99) $\sigma_{tg} = S_m$; da nun $\sigma_{tg} = w_g$ ist, so kann also auf einer solchen Linie die maßgebende Steigung niemals größer sein, als der Widerstand in gerader Bahn; sie wird sich also in verhältnismäßig bescheidenen Grenzen halten müssen. Für die Krümmung ergibt sich

$$\sigma = \sigma_{tq} = w_g - w_q$$

und mithin der Aufwand an Zugkraft für die Talfahrt:

$$Z_{tq} = [w_g + w_q - (w_g - w_q)] Q_1,$$

$$Z_{tq} = 2w_q Q_1;$$

d. h. es ist nicht nur bei der Bergfahrt, sondern auch bei der Talfahrt in diesem Falle ein Aufwand von Zugkraft erforderlich. Bahnlinien, bei denen die maßgebende Steigung zugleich eine unschädliche Neigung ist, lassen sich nur im Flachlande ausführen; scharfe Krümmungen verursachen bei der Berg- und Talfahrt einen Verbrauch an Zugkraft.

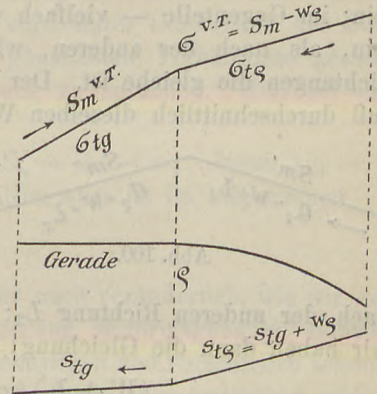


Abb. 99.

Untersuchen wir den Fall, daß — gleiche Belastung Q_1 in beiden Richtungen vorausgesetzt — S_m v. T. $> s_{tg}$, d. h. die maßgebende Steigung größer ist als die unschädliche Neigung, dann ist für die Krümmung

$$Z_{tQ} = (w_g + w_Q - \sigma) Q_1$$

und da $\sigma = S_m - w_Q$

$$Z'_{tQ} = (w_g + w_Q - S_m + w_Q) Q_1;$$

ist nun gemäß der Voraussetzung

$$S_m = s_{tg} + s,$$

d. h. s_m v. T. größer als die unschädliche Neigung, so ergibt sich

$$Z'_{tQ} = (w_g + w_Q - s_{tg} - s + w_Q) Q_1$$

und — weil $s_{tg} = w_g$ ist — weiter

$$Z'_{tQ} = (w_g + w_Q - w_g - s + w_Q) Q_1$$

oder

$$Z'_{tQ} = (2w_Q - s) Q_1.$$

Für die Talfahrt durch eine Krümmung mit unschädlicher Steigung erhielten wir

$$Z_{tQ} = 2 w_g Q_1;$$

es ist also

$$Z'_{tQ} = Z_{tQ} - sQ.$$

Diese Gleichung besagt, daß das talabgerichtete Durchfahren von Krümmungen auf schädlichen Neigungen weniger Zugkraftaufwand erfordert, als auf unschädlichen Neigungen; es sind daher bei Gebirgsbahnen, bei denen die maßgebenden Steigungen über die Grenze der unschädlichen Neigungen hinausgehen müssen, Krümmungen weniger zu scheuen als bei Flachlandbahnen.

Nicht in allen Fällen wird der Verkehr nach beiden Richtungen gleich schwer sein; im Gegenteil — vielfach wird der Verkehr nach der einen Richtung schwerer sein, als nach der anderen, während die Zugkraft der Lokomotiven nach beiden Richtungen die gleiche ist. Der Verkehr vollzieht sich im allgemeinen in der Weise, daß durchschnittlich dieselben Wagen nach beiden Richtungen gehen, nur mit verschiedener Ladung; es bleibt also die tote Last dieselbe.

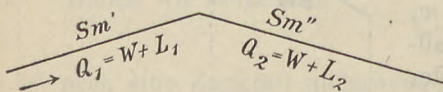


Abb. 100.

Es sei nun (Abb. 100):

die tote Last W ,

die Nutzlast nach der einen Richtung L_1 ,

nach der anderen Richtung L_2 ; die maßgebende Steigung S_m' beziehungsweise S_m'' ;
wir haben dann die Gleichung:

$$(W + L_1) (w_g + S_m') = (W + L_2) (w_g + S_m'');$$

für $L_1 > L_2$ muß dann sein:

$$w_g + S_m' < w_g + S_m''$$

oder auch

$$S_m' < S_m''.$$

Ist

$$W + L_1 = Q_1 \quad \text{und} \quad W + L_2 = Q_2$$

und weiter

$$\frac{Q_1}{Q_2} = E,$$

so ist nach obigem auch

$$\frac{w_g + S_m''}{w_g + S'} = E$$

und daher

$$w_g (1 - E) = E \cdot S_m' - S_m'' \quad (4)$$

woraus man die maßgebende Steigung für die eine Richtung berechnen kann, wenn die andere gegeben ist.

Beispiel: Nach einer Richtung gehen nur leere Wagen, in der anderen nur beladene; in beiden Richtungen fördert dieselbe Lokomotive.

Das Gewicht des leeren Zuges sei	$W = Q_1 = 240 \text{ t,}$
das Gewicht der Ladung	$L_1 = 136 \text{ t,}$
	<hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/>
dann ist das Gewicht des beladenen Zuges	$Q_2 = 376 \text{ t;}$

daher ist

$$E = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{240}{376} = 0,64;$$

nehmen wir an, daß $w_g = 0,0054$ ist, so ergibt Gleichung (4) für $S_m' = 0,010$

$$S_m'' = 0,0045;$$

wäre $S_m'' = 0,010$, so würde $S_m' = 0,017$ sein.

Das heißt: Wenn die leeren Züge über die maßgebende Steigung von 10 v. T. gehen sollen, so dürfen Gegensteigungen nur bis zu 4,5 v. T. vorkommen; soll aber in der Hauptrichtung des Verkehrs die maßgebende Steigung 10 v. T. sein, so könnte man in der Richtung des Leerverkehrs mit der maßgebenden Steigung bis zu 17 v. T. gehen.

Je geringer man die maßgebende Steigung festsetzt, desto leistungsfähiger wird die Bahn; aber um so schwieriger wird es, größeren Unebenheiten des Geländes mit der Linie zu folgen, und um so kostspieliger wird unter Umständen der Bau. Der Betrieb kann also nicht immer vor die ihm günstigsten Verhältnisse gestellt werden. Darüber ist im Abschnitte über Linienführung zu sprechen. Hier sei nur auf einen Umstand noch hingewiesen.

Bekanntlich ist die maßgebende Steigung $S_m = w_m - w_g$, wenn $w_m = \frac{Z}{Q}$ das maßgebende Widerstandsverhältnis bezeichnet. Nun aber ist im allgemeinen

$$w_g = a + bv^2,$$

also mit der Geschwindigkeit veränderlich; w_g ist aber auch veränderlich, wie wir gesehen haben, mit der Art des Zuges (Güterzug, Personenzug, Motorwagenzug). Sonach ist die maßgebende Steigung S_m selbst für die verschiedenartigen und verschieden schnell fahrenden Züge verschieden. Da w_g für sehr schnell laufende Züge bedeutend größer ist, als für die langsam fahrenden Güterzüge, so liegt für die ersteren die maßgebende Steigung weniger niedriger, als für letztere. Auf Hauptbahnen, auf denen verschiedene Züge laufen, wird sich die maßgebende Steigung nach jener Zuggattung zu richten haben, deren Gewicht im Vergleiche der verschiedenen Züge überwiegend ist. Bei der Mehrzahl der Bahnen dürfte dies zweifellos der Güterzugverkehr sein.

Bezüglich der unschädlichen Steigung sind ähnliche Betrachtungen maßgebend; nur ist zu erwägen, daß die Grenze für dieselbe gleich dem Widerstand in der Geraden ist, daß sie also für Schnellzüge höher liegen wird, als für Güterzüge; dabei

darf aber wohl nicht übersehen werden, daß aus Sicherheitsrücksichten die Fahrgeschwindigkeit talab an gewisse Grenzen gebunden ist, die namentlich durch die Forderung nicht zu langer Bremswege gegeben erscheinen.

§ 41. Unmerkliche Krümmungen. — Es ist unter Umständen zweckmäßig, festzustellen, wie groß der Halbmesser eines Bogens mindestens sein müßte, damit der durch den Bogen verursachte Widerstand vernachlässigt und somit der Bogen einer Geraden gleich geachtet werden dürfe. Dies wird dann der Fall sein, wenn der Bogenwiderstand sich nicht mehr scharf genug ermitteln läßt, um noch bei der Berechnung des Gesamtwiderstandes eine Berücksichtigung zu verdienen. Eine Richtschnur gewinnt man durch Vergleichung der den gebräuchlichen Formeln zugrunde liegenden Versuchsergebnisse mit den Rechnungsergebnissen.

Hoffmann's Formel für den Widerstand in Krümmungen liefert im Durchschnitt um etwa 10 v. H. zu große oder zu kleine Werte gegenüber den Versuchsergebnissen. Man wird also wohl zufrieden sein dürfen, wenn auch der z. B. nach der Clark'schen Formel berechnete Widerstand w_g für die wagrechte Gerade auf 10 v. H. mit der Wirklichkeit übereinstimmt; und wenn der rechnermäßige Betrag von w_r nur mehr 10 v. H. vom Werte w_g beträgt, so ist es statthaft zu vermuten, daß jener Wert nicht mehr ganz sicher sei und ebensogut vernachlässigt werden dürfe. Bezeichnen wir daher mit R_0 den gesuchten Grenzwert des Bogenhalbmessers, so wird die eben erörterte Beziehung ausgedrückt durch

$$w_r \leq \frac{1}{10} w_g$$

oder mit Benutzung der früher angegebenen Ausdrücke

$$3 \cdot 62 + 0,001 v^2 = 210 \frac{4l + l^2}{R_0 - 45},$$

woraus genau genug

$$R_0 = 210 \frac{4l + l^2}{3 \cdot 62 + 0,001 v^2} + 45. \quad (1)$$

Nach diesem Ausdrucke nimmt R_0 mit wachsender Fahrgeschwindigkeit rasch ab; das ist erklärlich, weil nach Hoffmann's Versuchen eine Abhängigkeit des Bogenwiderstandes von der Fahrgeschwindigkeit, welche andere Fachmänner in hohem Maße wahrgenommen zu haben behaupteten, nicht festgestellt werden konnte und weil daher der Bogenwiderstand gegen den Widerstand in der Geraden um so mehr zurücktreten muß, je mehr die Fahrgeschwindigkeit wächst.

Wäre z. B. im Mittel $l = 4$ m, $v = 10$ m, dann ergäbe sich nach Gleichung (1)

$$R = \text{rund } 1900^m.$$

Es wären also Bögen von 1900 m Halbmesser und darüber in diesem Falle der Geraden gleich zu achten.

Rechnen wir den Bogenwiderstand nach der Formel $\frac{800}{R}$, so liegt die fragliche Grenze bei $R_0 = 2100$ m.

Nach Gleichung II (S. 135) ist die entsprechende Überhöhung im ersteren Falle $h = 8$ mm, im zweiten Falle $h = 7$ mm, also in beiden Fällen eine Größe, an deren Vernachlässigung nicht viel gelegen wäre.

§ 42. Verbindung von Steigungen und Krümmungen. Länge ununterbrochener Steigungen. — Nach den vorhergehenden Erörterungen kann die

Steigung in geraden Strecken und in flachen, der Geraden nahezu gleichwertigen Krümmungen den vollen Betrag

$$S_m = \max(s + w_Q)$$

erreichen; in Bögen ist aber S_m um die Größe w_Q zu vermindern, damit die Züge nicht Gefahr laufen, bei der Bergfahrt im Bogen »stecken zu bleiben«.

Es sei die Höhe h^m der schiefen Ebene von der Basislänge L^m mit der Durchschnittssteigung s v. T. zu erklimmen. Es ist dann

$$s \cdot L = h.$$

In der Strecke AB (Abb. 101) kommen Bögen mit verschiedenen Halbmessern vor, und zwar sei die Gesamtlänge aller Bögen mit $w_Q = 1, \dots, l_1$, jener mit $w_Q = 2, \dots, l_2$, jener mit $w_Q = 3, \dots, l_3$ usw., so wird bei Verminderung der Steigung s um $w_Q = 1, 2, \dots$ die erstiegene Höhe nicht $BE = h$, sondern $B_1E = h - [1l_1 + 2l_2 + 3l_3 + \dots]$ sein. In der Abb. 101 haben wir uns alle Krümmungen in der Strecke CD vereint gedacht. Soll nun aber auf der Länge L die Höhe h erreicht werden, so muß anstatt s eine größere Steigung $S > s$ angewandt werden, damit der Punkt B_0 gewonnen wird. Für diese Steigung S gilt die Gleichung:

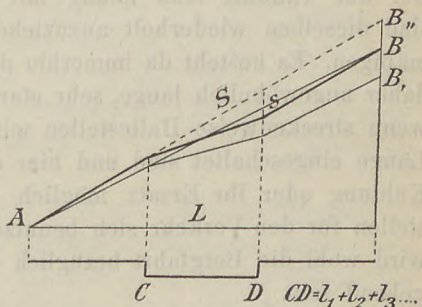


Abb. 101.

$$SL = sL + (1l_1 + 2l_2 + 3l_3 + \dots),$$

woraus folgt

$$S = s + \frac{l_1 + 2l_2 + 3l_3 + \dots}{L}.$$

Natürlich darf S nicht größer als die maßgebende Steigung S_m werden. Legt man der Berechnung die Formel

$$w_Q = \frac{650}{R - 55}$$

zugrunde, so kann man setzen

für Halbmesser von	150 bis	170 m	$w_Q = 6$
»	»	171 »	200 m $w_Q = 5$
»	»	201 »	250 m $w_Q = 4$
»	»	251 »	350 m $w_Q = 3$
»	»	351 »	600 m $w_Q = 2$
»	»	601 »	1300 m $w_Q = 1$
»	»	über 1300 m	$w_Q = 0$.

Auch in nassen Tunnels empfiehlt es sich die Steigung zu ermäßigen, und zwar um 2 v. T., wenn die Länge mehr als 40 m beträgt. Es ist natürlich ganz unzulässig, am Ende jedes Bogens und jeder Geraden einen Gefällsbruch anzuordnen, um die maßgebende Steigung möglichst grundsatzgetreu durchzuführen. Dies hätte nur einen Sinn, wenn lange Bögen und lange Gerade abwechseln würden, keineswegs aber wenn Bogen auf Bogen mit kleinem Halbmesser folgt, nur getrennt durch kurze Zwischengerade, wie es bei der Ersteigung schwer zugänglicher Höhen der Fall ist. In einer solchen Bahnlinie wird die um den größten Bogenwiderstand verminderte maßgebende Steigung auf längere Strecken ununterbrochen in Anwendung gebracht,

auch wenn ab und zu flache Bögen mit unterlaufen; man hält eben ein und dasselbe Neigungsverhältnis auf möglichst lange Strecken fest, und zwar sollen die Entfernungen der Gefällsbrüche um so größer sein, je größer die Fahrgeschwindigkeit ist; denn bei raschem Wechsel der Neigungsverhältnisse gestaltet sich die Talfahrt zu einer sehr ungleichförmigen, ruckweisen und verliert der Lokomotivführer sehr leicht die ruhige Beurteilung der Verhältnisse, was zur Beeinträchtigung der Betriebssicherheit beitragen kann.

Was die Länge ununterbrochener Steigungen anbelangt, so ist ihr, sowohl rücksichtlich der Bergfahrt als der Talfahrt, eine obere Grenze gezogen. Der bergwärts mit voller Zugkraft arbeitenden Lokomotive darf weder der Brennstoff noch der Wasservorrat ausgehen; im allgemeinen wird letzterer den Ausschlag geben. Bei der Talfahrt muß häufig mit angezogenen Bremsen gefahren werden oder es sind dieselben wiederholt anzuziehen, um die zunehmende Fahrgeschwindigkeit zu mäßigen. Es besteht da immerhin die Gefahr der Erhitzung der Bremsklötze; kommen daher ungewöhnlich lange, sehr starke Gefälle vor, so ist es für den Betrieb vorteilhaft, wenn streckenweise Haltestellen mit nahezu wagrechter Gleislage von hinreichender Länge eingeschaltet sind und hier die Untersuchung der Bremsklötze, eventuell ihre Kühlung oder ihr Ersatz möglich ist. Wenn diese Raststellen zugleich als Haltestellen für den Verkehr sich benutzen lassen, so ist dies um so besser. In der Regel wird wohl die Bergfahrt bezüglich der Länge der ununterbrochenen Steigungen maßgebend sein.

§ 43. Wahl der Krümmungs- und Neigungsverhältnisse. — Wie unsere bisherigen Betrachtungen zeigen, wird man in erster Linie zu trachten haben, nur unschädliche Steigungen und unmerkliche Krümmungen anzuwenden. Der Betrieb einer solchen Linie wäre wirtschaftlich am günstigsten. Der Ingenieur kann aber dieser Forderung nur in sehr günstigem Gelände entsprechen. Zumeist wird man schärfere Bögen und größere Steigungen ausführen müssen; es stellt sich dann die Frage: welche größte Steigung und welcher kleinste Halbmesser im gegebenen Falle sich am besten empfiehlt; die Beantwortung dieser Frage verlangt ein näheres Studium der Verhältnisse.

a) Größtes Steigungsverhältnis. Die T. V. empfehlen für Haupt- und Nebenbahnen im § 27, die Neigung nicht steiler als 25 v. T., beziehungsweise 30 v. T. zu wählen. Für Lokaleisenbahnen wird im § 23 der »Grundzüge« von der Anlage einer Steigung von mehr als 45 v. T. abgeraten. In dem § 40 dieses Kapitels ist gezeigt worden, wie man im gegebenen Falle die vom Standpunkte des Betriebes noch zweckmäßige maßgebende Steigung bestimmen, oder eine durch die Geländeverhältnisse bedingte Steigung auf ihre Zweckmäßigkeit vom betriebstechnischen Standpunkte prüfen kann. Wo mehrere Linien in Betracht kommen können, führen nur vergleichende Entwürfe und Kostenberechnungen zum Ziele und zwar um so sicherer, je eingehender man sie behandelt.

Bei Hauptgebirgsbahnen finden sich folgende Steigungen:

Semmeringbahn	25	v. T.
Brennerbahn	25	v. T.
Mont-Cenis-Bahn	30,2	v. T.
Gotthardbahn	27	v. T.
Arlbergbahn	33	v. T.
Simplonbahn	25	v. T.

Die bei den österreichischen Alpenbahnen gemachten Erfahrungen scheinen dafür zu sprechen, daß auf Bahnen mit starkem Verkehre die Neigung von 25 v. T. nicht überschritten werden sollte. Stärkere Neigungen haben sich bei längerem Betriebe als unwirtschaftlich erwiesen; bei den neuen Alpenbahnen in Österreich, der sogen. zweiten Verbindung nach Triest, von Salzburg über die hohen Tauern nach Villach und von hier über Rosenbach, Assling, Görz, die Karawanken durchbrechend, war man auch bestrebt, die Steigungen unter der Grenze von 25 v. T. zu halten.

Auf Nebenbahnen sind mit Erfolg bedeutend größere Steigungen angewendet worden, als auf Hauptbahnen und zwar ist man hierzu in Gebirgsländern, wie z. B. in der Schweiz, durch die Geländebeziehungen am meisten gedrängt worden und ist hierin auch am weitesten gegangen. Die größte Steigung — 70 v. T. — besitzt die Reibungsbahn von Zürich auf den Ütliberg, welche allerdings nur als Touristenbahn dient; sonst finden sich in der Schweiz noch kleine Bahnen mit 40 bis 50 v. T. Die Bahn von Reichenhall nach Berchtesgaden in Bayern hat 40 v. T. Bei Anwendung des elektrischen Betriebes mit Motorwagen sind stärkere Neigungen zulässig, als bei Dampfbahnen; hier finden sich auch Steigungen bis zu 90 v. T., besonders auf Straßenbahnen.

Bei der Wahl der Neigung kommt eben nicht bloß die Leistungsfähigkeit für die Bergfahrt, sondern auch die Sicherheit bei der Talfahrt in Betracht, welche von der Wirksamkeit der Bremsen abhängig erscheint. Es darf unter keinen Umständen eine Beschleunigung der Fahrgeschwindigkeit eintreten. Über die Wirkung der Bremsen wird am Schlusse dieses Kapitels näheres mitgeteilt werden.

b) Kleinster Bogenhalbmesser. Man könnte die Aufgabe stellen, bei festgesetztem maßgebenden Gesamtwiderstandsverhältnisse w und gegebenem Steigungsverhältnisse s aus der Gleichung

$$w_0 = w - (w_g + s)$$

den kleinstzulässigen Bogenhalbmesser zu berechnen. In solcher Form wird sich indessen selten ein Fall darbieten. Man wird sich vielmehr von praktischen Erwägungen leiten lassen.

In den T. V. heißt es bezüglich der Hauptbahnen:

»§ 28¹. Die Halbmesser der Krümmungen sollen möglichst groß und in der Regel nicht kleiner als 300 m gewählt werden.

§ 28². Krümmungen von weniger als 180 m Halbmesser sind unzulässig.«

Die letztere Bestimmung ist bindend. Sie wird auch für Nebeneisenbahnen empfohlen.

Die Grundzüge für den Bau und die Betriebseinrichtungen der Lokaleisenbahnen enthalten im § 24^{1a} und 24^{1b} die Bestimmung:

»Der Halbmesser der Krümmungen soll bei Vollspurbahnen, auf welche Wagen der Hauptbahnen übergehen, in der Regel nicht kleiner als 150 m, bei vollspurigen Anschlußgleisen nicht kleiner als 60 m sein.«

Es muß als Grundsatz gelten, die Bogenhalbmesser so groß als möglich zu wählen und scharfe Bögen, namentlich solche vom kleinsten zulässigen Halbmesser nur dort zu verwenden, wo sie das einzige Mittel bleiben, um ernstlichen Bau-schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, also in seltenen Ausnahmefällen.

Das bedarf wohl nach allem, was in diesem Kapitel über Krümmungen bereits gesagt wurde, keiner besonderen Begründung mehr.

§ 44. **Verlorene Steigung**¹⁾. — Besteht zwischen zwei Punkten A und B der Längenabstand l und der Höhenunterschied h , so könnte die Verbindung zwischen beiden Punkten mit der einheitlichen Steigung $s = \frac{h}{l}$ bewirkt werden. Eine solche einheitliche Steigung läßt sich aber selten auf die ganze Entfernung AB durchführen; die Bahn ist vielmehr mit wechselnden Steigungen herzustellen. Jede Abweichung von der einheitlichen Steigung, welche gegenüber dieser eine Erhöhung der Zugkraftleistung verursacht, bezeichnen wir als »verlorene Steigung«. Eisenbahnstrecken mit gebrochenen Steigungen oder selbst mit Gegengefällen haben keine verlorene Steigung, wenn auf ihnen die Zugkraftleistung nicht größer wird, als auf der einheitlichen Steigung. Wir wollen nun untersuchen, unter welchen Bedingungen dies möglich ist.

Zunächst sei betont, daß zwischen zwei Punkten von gegebenem Höhenunterschiede die einheitliche Steigung nur dann unter allen Umständen für den Verkehr am günstigsten ist, wenn diese Steigung zugleich die maßgebende Steigung ist; denn es ist

$$Z^{\text{kg}} = (w_g + S_m) Q^t,$$

worin S_m v. T. die maßgebende Steigung. Ist nun die einheitliche Steigung $s < S_m$, so wird die erforderliche Zugkraft $Z_1^{\text{kg}} = (w_g + s) Q^t < Z^{\text{kg}}$, d. h. die Zugkraft der Lokomotive wird nicht ausgenützt; ist $s > S_m$, so ist die erforderliche Zugkraft $Z_2^{\text{kg}} = (w_g + s) Q^t > Z^{\text{kg}}$, d. h. es muß eine Verminderung der Zugbelastung Q eintreten, wenn leistungsfähigere Lokomotiven nicht zur Verfügung stehen. Daher am günstigsten: $s = S_m$.

Wir wissen nun, daß die Neigung einer Bahn — da ja auch die Talfahrt von Einfluß auf die Betriebskosten ist — eine unschädliche oder eine schädliche sein kann; dieser Unterschied ist von wesentlicher Bedeutung für die Beurteilung des Falles, den wir daher auch von diesen beiden Standpunkten aus beurteilen müssen.

1. Es sei die einheitliche Steigung eine unschädliche:

$$s = \frac{h}{l} < w_g.$$

Die Strecke sei geradlinig; diese Annahme vereinfacht das Studium. Die Arbeitsleistung der Lokomotive bei der Bergfahrt ist auf der einheitlichen Steigung:

$$\begin{aligned} A_B &= (M + T) (w_g + s) l = \\ &= (M + T) (w_g l + h). \end{aligned} \quad (1)$$

Nun sei aber (Abb. 102) von dem einen Endpunkte A bis zu dem Zwischenpunkte C , im Abstände l_1 die Bahn fallend angeordnet, mit der Neigung

$$s_t = w_g \text{ (unschädliche Neigung),}$$

und von C bis zum anderen Endpunkte B bestehe die maßgebende Steigung $S_m = \frac{Z}{Q} - w_g$;

dann erhalten wir für die Fahrt von A nach B :

$$\begin{aligned} A'_B &= [(w_g - s_t) l_1 + (w_g + S_m) (l - l_1)] (M + T), \\ A''_B &= (w_g + S_m) (l - l_1) (M + T). \end{aligned}$$

¹⁾ Vgl. Launhardt, Theorie des Trassierens II.

Nun ist aber

$$h = S_m (l - l_1) - w_g \cdot l_1$$

und daher

$$A_B = (w_g l + S_m (l - l_1) - w_g l_1) (M + T) = (w_g l + h) (M + T).$$

Die Leistung der Lokomotive ist also in diesem Falle — $s < w_g$ — bei der Bergfahrt auf gebrochener Steigung genau so groß, wie auf der einheitlichen Steigung.

Für die Talfahrt finden wir folgendes:

Auf einheitlichem Gefälle $s < w_g$ ist die Leistung der Lokomotive:

$$A_T = (M + T) (w_g - s) l = (M + T) (w_g l - h). \quad (2)$$

Auf dem gebrochenen Gefälle ist

$$A'_T = (M + T) [(w_g - S_m) (l - l_1) + (w_g + s_t) l_1];$$

nun ist $S_m > s$ (vgl. Abb.), daher auch $S_m \geq w_g$, so daß auf der Fahrt BC die Lokomotive in keinem Falle eine Arbeit zu leisten hat, weshalb wir für die Arbeitsleistung bei der Talfahrt auf gebrochenem Gefälle erhalten:

$$A'_T = (M + T) \cdot 2 w_g \cdot l_1.$$

Soll nun keine verlorene Steigung vorkommen, so muß

$$A_T = A'_T,$$

also

$$w_g l - h = 2 w_g l_1$$

sein; setzen wir

$$h = S_m (l - l_1) - w_g l_1,$$

so erhalten wir dann als Bedingung

$$S_m = w_g,$$

d. h. es darf keine schädliche Steigung vorkommen.

2. Es sei $s = \frac{h}{l} > w_g$, also schädliche Steigung (Abb. 103). Für die Bergfahrt ergibt sich dasselbe wie im ersten Falle.

Bei der Talfahrt ist auf einheitlicher Steigung $A = (w_g - s) l$, und da $s > w_g$, so ist $A = 0$, denn der Zug fährt ohne Dampfkraft; es muß vielmehr gebremst werden. Auf der gebrochenen Strecke kann A_T aber nur dann auch Null werden, wenn in der Richtung BCA keine Steigung vorkommt, denn jede Steigung erfordert Zugkraftleistung; es dürfen also von B über C nach A nur Gefälle bestehen und zwar nur solche, für welche $s_t > w_g$ ist, andernfalls ist zur Förderung des Zuges Kraftaufwand notwendig.

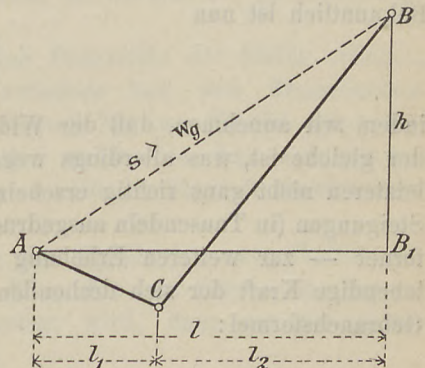


Abb. 103.

Aus diesen Erörterungen ergibt sich als Folgerung:

Eine Eisenbahnstrecke hat keine verlorene Steigung, wenn die in ihr vorkommenden Steigungen entweder

- a) ohne Ausnahme unschädlich sind, gleichgültig in welcher Richtung sie verlaufen
- oder
- b) alle schädlich sind und in derselben Richtung ansteigen.

Es ist dabei einerlei, ob der Verkehr in beiden Richtungen gleich oder ungleich groß ist.

Bei dem im § 40 auf Seite 197 gerechneten Beispiele haben wir es nach obigem mit verlorenen Steigungen zu tun, trotz dem Einklang, der zwischen den Gegensteigungen hergestellt wurde.

§ 45. Anlaufsteigung. — Steile Rampen von geringer Länge, für deren Überwindung die Zugkraft der Lokomotive nicht ausreicht, können unter teilweiser Ausnutzung der lebendigen Kraft des Zuges durch »Anlauf« erstiegen werden. Kommt der Zug am Fuße der steilen Rampe mit der Geschwindigkeit $v^{\text{m|Sek}}$ an, und soll der Zug am oberen Ende der Rampe noch die Geschwindigkeit $v_0^{\text{m|Sek}}$ besitzen, so ist die lebendige Kraft, welche beim Ersteigen der Rampe zur Unterstützung der Zugkraft der Lokomotive sich ausnutzen läßt:

$$K = \frac{M+T}{2g} (v^2 - v_0^2) \eta, \quad (1)$$

worin $\eta > 1$ eine Zahl ist, durch die dem Zuwachse Rechnung getragen wird, welchen die der fortschreitenden Bewegung des Zuges entsprechende lebendige Kraft erfährt durch die in Drehung befindlichen Massen der Räder und Achsen; im Mittel kann man etwa annehmen $\eta = 1,08$. Ist nun w_1 das Gesamtwiderstandsverhältnis für die Strecke von der mit Anlauf zu ersteigenden Rampe, und w_2 das Gesamtwiderstandsverhältnis für diese Rampe von der Länge l , so muß die Lokomotive die Zugkraft $Z = w_1(M+T)$ besitzen und es muß die für die Ersteigung der Rampe erforderliche Mehrleistung an Zugkraft

$$dZ = (w_2 - w_1)(M+T)$$

durch die lebendige Kraft des Zuges geleistet werden, es muß also sein:

$$(M+T)(w_2 - w_1)l = (M+T) \frac{v^2 - v_0^2}{2g} \cdot \eta.$$

Bekanntlich ist nun

$$\begin{aligned} w_1 &= w_g + s_1 \\ w_2 &= w_g + s_2, \end{aligned}$$

indem wir annehmen, daß der Widerstand in der Geraden vor und auf der Rampe der gleiche ist, was allerdings wegen der Abnahme der Fahrgeschwindigkeit auf der letzteren nicht ganz richtig erscheint, und indem wir mit s_1 und s_2 die maßgebenden Steigungen (in Tausendeln ausgedrückt) vor und auf der Rampe bezeichnen; wir setzen ferner — zur weiteren Erhöhung der Sicherheit — $\eta = 1$, nehmen also auf die lebendige Kraft der sich drehenden Massen keine Rücksicht; wir erhalten dann die Gebrauchsformel:

$$l = \frac{v^2 - v_0^2}{2g(s_2 - s_1)}. \quad (2)$$

Für die Entscheidung der Frage sind natürlich die Verhältnisse der langsam fahrenden Güterzüge entscheidend, denn wenn die Rampe von diesen mit Anlauf genommen werden kann, so ist dies für die mit größerer Fahrgeschwindigkeit laufenden Personenzüge unbedingt sicher.

Beispiel: Es sei $v = 10$ m, $v_0 = 5$ m, $s_2 = 5$ v. T., $s_1 = 2,5$ v. T.; dann ergibt Gleichung (2)

$$l = \frac{100 - 25}{19,6(5 - 2,5)} \cdot 1000 = 1500 \text{ m.}$$

Wenn also auf einer Bahn mit der maßgebenden Steigung von 2,5 v. T. Strecken von 5 v. T. unterlaufen, die nicht länger als 1500 m und so gelegen sind, daß die Züge mit etwa 10 m Geschwindigkeit anfahren können, so haben sie auf die Belastung der Züge keinen Einfluß; diese können wie für 2,5 v. T. zusammengestellt werden.

Anlauframpen sind jedoch stets unsichere Strecken, da bei geringem Versehen seitens des Lokomotivführers oder bei nicht günstiger Witterung ein Steckenbleiben nicht ausgeschlossen ist. Sie sollten daher nur mit großer Vorsicht und Überlegung angewandt werden; kurze und steile Anlauframpen sind jedenfalls zu vermeiden.

§ 46. Wirkung der Bremsen. — Die Bremsen haben die Aufgabe, die Geschwindigkeit der Fahrzeuge zu vermindern oder die Fahrzeuge zum Stillstand zu bringen oder auch in der Ruhelage zu erhalten. Mit ihrer Anwendung ist stets Vernichtung lebendiger Kraft verbunden, weil die Bremsung durch Erzeugung eines Reibungswiderstandes bewirkt wird. Da die Reibung mit dem Drucke eines ruhenden Körpers gegen einen bewegten Körper zu- oder abnimmt, so ist der Erfolg des Bremsens von dem ausgeübten Drucke abhängig. Der Reibungswiderstand wird durch das Anpressen hölzerner oder eiserner Bremsklötze (Bremsbacken) gegen die Laufflächen der Radreifen erzeugt. Die Bewegung dieser Bremsklötze wird entweder durch die Hand des Bremsers oder durch mechanische Vorrichtung mittels des Bremsgestänges bewirkt; bei letzterem dient die Schwerkraft oder der Luftdruck, der Dampfdruck oder die Elektrizität als Antriebskraft.

Bei den Handbremsen wird jeder einzelne Bremswagen oder werden höchstens zwei Wagen durch einen Bremser bedient; die mechanischen Bremsen wirken zumeist auf eine größere Anzahl der Wagen ein; sie können auch gewöhnlich von der Lokomotive und von jedem Wagen des Zuges aus zur Wirkung gebracht werden; darnach unterscheidet man: Einzelbremsen, Zweiwagenbremsen, Gruppenbremsen, durchgehende (kontinuierliche) Bremsen. Sind letztere so eingerichtet, daß das Bremsen bei Beschädigung der Bremsvorrichtung selbsttätig eintritt, so werden sie als selbsttätige (automatische) Bremsen bezeichnet.

Die Bremsung eines Zuges darf nicht durch Feststellen der Räder erfolgen, sondern nur durch den Reibungswiderstand zwischen Rad und Bremsbacken. Zwischen dem Ertönen oder Sichtbarwerden des Signals bis zum Eintritt der vollen Bremswirkung verstreicht eine gewisse Zeit, während welcher der Zug noch mit unverminderter Geschwindigkeit weiterläuft; von da ab rollt der Zug mit abnehmender Geschwindigkeit bis zum vollen Stillstande.

Es sei nun s_1^m der Weg, der vom Ertönen des Signals bis zum Eintritt der vollen Bremswirkung zurückgelegt wird; s_2^m der Weg, der vom Beginn der Bremswirkung bis zum Stillstand des Zuges zurückgelegt wird, dann ist der ganze Bremsweg

$$S^m = s_1^m + s_2^m. \quad (1)$$

Annähernd, aber mit hinreichender Genauigkeit kann man

$$s_1^m = 1,5 V_{\text{km/St}} \quad (2)$$

setzen; es würde dies einer Zeit von 5 bis 6 Sekunden entsprechen, die auch bei Handbremsen ausreichend bemessen erscheint; bei durchgehenden Bremsen und nicht zu langen Zügen wird die volle Bremswirkung vielleicht noch in kürzerer Zeit eintreten. Für die Berechnung der Strecke s_2^m schlagen wir folgenden Weg ein. Wenn

$v_0^{\text{m/Sek}}$ die Geschwindigkeit des Zuges und M die Masse desselben ist, so ergibt sich seine lebendige Kraft aus

$$\frac{M (v_0^{\text{m/Sek}})^2}{2};$$

diese muß durch die Arbeit des Zugwiderstandes und des Bremswiderstandes verrichtet werden, während die Schwerkraft im Gefälle der lebendigen Kraft des Zuges zu Hilfe kommt. Bezeichnen wir mit W^{kg} den Zugwiderstand, der sich mit abnehmender Geschwindigkeit verändert, mit B^{kg} den Bremsdruck, mit f die Reibungsgröße für die Reibung zwischen Bremsklötzen und Rad, die — wie wir hören werden — ebenfalls mit der Geschwindigkeit veränderlich ist, mit g^{m} die Beschleunigung der Schwere und mit α^0 den Neigungswinkel der Bahn, so ist allgemein:

$$\frac{M [v_0^{\text{m/Sek}}]^2}{2} + Mg^{\text{m}} \sin \alpha \cdot s_2^{\text{m}} = \int_0^{s_2} W^{\text{kg}} ds + \int_0^{s_2} B^{\text{kg}} f ds. \quad (3)$$

Da man annehmen darf, daß die Lokomotive unter den verschiedenen vorkommenden Verhältnissen rasch genug gebremst werden kann, ohne die Bremskraft des Zuges mit in Anspruch zu nehmen, so braucht man nur den Wagenzug in Betracht zu ziehen.

Ist Q^{t} das Gewicht des Wagenzuges, $V_0^{\text{km/St}}$ die Anfangsgeschwindigkeit, so ist

$$\frac{Mg^{\text{m}}}{1000} = Q^{\text{t}} \quad \text{und} \quad v_0^{\text{m/Sek}} = \frac{V_0^{\text{km/St}}}{3,6},$$

also

$$\frac{M (v_0^{\text{m/Sek}})^2}{2} = \frac{Q^{\text{t}} \cdot (V_0^{\text{km/St}})^2 \cdot 1000}{254 \cdot 28}.$$

Die lebendige Kraft einer Tonne ist daher:

$$3,94 [V_0^{\text{km/St}}]^2;$$

dieser Wert erhöht sich wegen der sich drehenden Massen der Räder auf $4,2 [V_0^{\text{km/St}}]^2$ und wir erhalten demnach, auf eine Tonne Zuggewicht bezogen:

$$\frac{M \cdot [v_0^{\text{m/Sek}}]^2}{2} = 4,2 [V_0^{\text{km/St}}]^2.$$

Bedeutet a die Steigung in Millimetern auf 1 m, so stellt dieser Wert zugleich die von 1 t herrührende, in der Richtung der Bahn fallende Seitenkraft der Schwere in Kilogrammen dar; es ist mithin für eine Tonne Zuggewicht:

$$Mg^{\text{m}} \sin \alpha \cdot s_2 = \frac{Mg^{\text{m}}}{Q^{\text{t}}} 0,001 \cdot a s_2 = a s_2.$$

Für den Zugwiderstand genügt die Verwendung eines bequemen Näherungsausdruckes, wie ihn die aus A. Frank's Versuchen abgeleitete Formel¹⁾ darstellt:

$$W^{\text{kg}} = 2,5 + 0,001 [V_0^{\text{km/St}}]^2.$$

Da der Zugwiderstand im Vergleich zum Bremswiderstande nur eine kleine Arbeit verrichtet, so kann man ohne wesentlichen Fehler für die Arbeitsberechnung desselben einen Mittelwert

$$W_m^{\text{kg}} = 2,5 + 0,0006 [V_0^{\text{km/St}}]^2$$

eingeführen, indem man setzt:

$$\int_0^{s_2} W ds = W_m^{\text{kg}} \cdot s_2^{\text{m}}.$$

1) Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1889, S. 72.

Ist Q_b^t das Gewicht des gebremsten Zugteiles und $b = \frac{100 \cdot Q_b^t}{Q^t}$, so kommt auf eine Tonne Zuggewicht eine Bremskraft von $10 \cdot b \cdot f$; die Reibungsziffer f ändert sich mit der Geschwindigkeit und zwar nach Versuchen Wichert's angenähert nach der Formel

$$f_m = \frac{12,5}{50 + V_0^{\text{km}}}$$

Es ergibt sich mithin die für jede Tonne Zuggewicht verrichtete Bremsarbeit

$$\int_0^{s_2} \frac{B}{Q} f ds = 10 \cdot b \cdot f_m s_2^{\text{m} \cdot \text{kg}}.$$

Hiernach stellt sich Formel (3) folgendermaßen:

$$4,2 [V_0^{\text{km/St}}]^2 + a s_2^{\text{m}} = (W_m^{\text{kg}} + 10 b \cdot f_m) s_2^{\text{m}};$$

hieraus erhält man:

$$s_2^{\text{m}} = \frac{0,42 [V_0^{\text{km/St}}]^2}{b \cdot f_m + 0,1 W_m^{\text{kg}} - 0,1 a}$$

und den Bremsweg

$$S^{\text{m}} = 1,5 V_0^{\text{km/St}} + \frac{0,42 [V_0^{\text{km/St}}]^2}{b \cdot f_m + 0,1 W_m^{\text{kg}} - 0,1 a},$$

worin für f_m und W_m die vorstehend angegebenen Werte einzuführen sind. Als Neigung ist die stärkste auf der fraglichen Strecke vorkommende anzunehmen, die sich ununterbrochen 1000 m oder darüber erstreckt; erreicht die stärkste vorkommende Neigung an keiner Stelle die Länge von 1000 m, so ist die gerade Verbindungslinie zwischen denjenigen zwei Punkten des Längenschnittes, die bei 1000 m Entfernung den größten Höhenunterschied zeigen, als stärksten geneigte Strecke anzusehen. Als maßgebende Fahrgeschwindigkeit gilt jene, die der Zug auf der betreffenden Strecke höchstens erreichen darf. b bezeichnet man mit dem Ausdrucke: Bremsprozente. Der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen hat dieselben für Haupt- und Nebenbahnen festgelegt, indem er $s_2 = 650$ m setzte und den dabei sich ergebenden Wert von b um eine von Zuggeschwindigkeit und Steigung abhängige Größe $0,012av$ vermehrte; dabei darf jedoch b in keinem Falle kleiner als 6 werden.



Literatur.

Es sind hier nur selbständige Werke aufgeführt. Hinweise auf benutzte Aufsätze in Zeitschriften finden sich im Texte.

- J. Romuald Božek, Das falsche und gefährliche System der gegenwärtigen Eisenbahnwagen und ihre Verbesserung. Leipzig 1846.
- L. Vuillemin, A. Guébbard et C. Dieudonné, De la résistance des trains et de la puissance des machines. Paris 1867.
- Josef Stummer v. Traunfels, Praktische Anleitung zum Trassieren. Weimar 1867.
- H. Scheffler, Die Wirkung zwischen Schiene und Rad. Braunschweig 1868.
- Emil Winkler, Vorträge über Eisenbahnbau. Prag 1871.
- Helmert, Die Übergangskurven für Eisenbahngleise. Aachen 1872.
- Viktor Kramer, Der Maschinendienst der Brennerbahn.
- A. v. Kaven, Vorträge über Eisenbahnbau. Heft III, IV, VI. Aachen 1875—1878.
- C. E. Spooner, Narrow Gauge Railways, II. London 1879.
- Rankine, Handbuch der Bauingenieurkunst. Deutsch von F. Kreuter. Wien 1880.
- Albert Frank, Die Widerstände der Lokomotiven und Bahnzüge usw. Wiesbaden 1886.
- Boedecker, Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887.
- Launhardt, Theorie des Trassierens. Hannover 1887 und 1888.
- Ausstellung der österreichischen Eisenbahnen. Wien 1888.
- Freie Lenkachsen für Zuggeschwindigkeiten bis 90 km in der Stunde und für Wagen mit und ohne Bremsen. Ausgegeben von der geschäftsführenden Verwaltung des V. D. E.-V. Berlin 1891.
- Die Vereins-Lenkachsen. Sonderabdruck aus dem Org. f. d. Fortsch. d. Eisenbahnw. Wiesbaden 1891.
- Die Vereins-Lenkachsen. Ausgeg. von der geschäftsführenden Verwaltg. d. V. D. E.-V. Berlin 1891.
- W. Volkmar, Neuere Versuche der Reichseisenbahnen in Elsaß-Lothringen über das Verhalten freier Lenkachsen. Wiesbaden 1892.
- W. Ast, Relation entre la voie et le matériel roulant (Congrès international des chemins de fer. St. Pétersbourg 1892, question VA).
- A. M. Wellington, The economic theory of the location of railways, 5th ed. New York 1893.
- Encyklopädie des gesamten Eisenbahnwesens, herausgeg. von Dr. Viktor Röhl. Wien 1890 bis 1895.
- H. v. Littrow, Das Eisenbahnwesen auf der Weltausstellung in Chicago. (Offizieller Bericht der k. k. österr. Zentralkommission für die Weltausstellung in Chicago 1893, Heft VIII.) Wien 1895.
- Ernst Reitler, Über Anlage und Einrichtungen nordamerikanischer Bahnhöfe. Wien 1895.
- Ders. Über englische Güterbahnhöfe. Wien 1895.
- Ders. Über englischen und nordamerikanischen Oberbau. Wien 1895.
- Vorschriften für die Herstellung und Unterhaltung des Querschwellenoberbaues auf den kgl. bayerischen Staatsbahnen. 1895.
- W. Ast, Über die Entwicklung des Eisenbahnbaues. 1848—1898. Wien 1899.
- Franz Kreuter, Linienführung der Eisenbahnen und sonstiger Verkehrswege. Wiesbaden 1900.
- A. Haarmann, Das Eisenbahngleis. Leipzig 1902.
- Bericht über die Versuchsfahrten auf der Militäreisenbahn. Berlin 1904.
- M. Buhle, Das Eisenbahn- und Verkehrswesen auf der Industrie- und Gewerbeausstellung zu Düsseldorf 1902. Berlin 1903.
- Heinrich Übelacker, Untersuchungen über die Bewegung von Lokomotiven mit Drehgestellen in Bahnkrümmungen. Wiesbaden 1903.
- R. v. Lichtenfels, Der Korbboogen und die Übergangskurve im Eisenbahngleis.
- Dr. Robert Grimshaw, Der Bau einer modernen Lokomotive.
- Zum Entwurf einer Schwebebahn in Berlin. 1905.

Namen- und Sachverzeichnis.

- A**bt 52.
 Abteilwagen 92.
 Adams, Laufachse von 128.
 Adam, Übergangsbogen —'s 145.
 Allen Horatio 26.
 Alpenbahnen 50.
 Arlbergbahn 33.
 Aspinall's Widerstandsformel 184.
- B**aader 27.
 Bahndienstwagen 96.
 Bahnhöfe 73.
 Bahmeisterwagen 98.
 Baldwin 26.
 Barbier's Widerstandsformel 183, 184.
 »Bavaria« 31.
 Belpaire 27.
 Benzinkraftwagen 105.
 Bergbahnen 51.
 Bergbau 13.
 Bergkabelbahnen 53.
 Berkinshaw, John 22.
 Bern 56.
 Betriebseinrichtungen 73.
 Betriebskoeffizient 71.
 Betriebskosten 70.
 Betriebsstellen 73.
 Betriebsüberschuß 67, 72.
 Bisselgestell 110, 129.
 Blackett 23.
 Blasrohr 23, 78.
 Boedecker 186.
 Boedecker 123.
 Booth 24.
 Borsig 26.
 Bräuning 139.
 Breitfußschiene 30.
 Bremsweg 205.
 Brennerbahn 32.
 Brückschiene 29.
 Brunel 55.
 Brunelschiene 30.
- C**ardiff 21.
 Chavès 142.
 Clark 179.
 Compoundlokomotive 80.
 Considère 69.
 Crampton 25, 26, 27.
 Curr, J. 21.
 Cyklop 24.
- D**aimlerwagen 65, 105.
 Dampfkessel 78.
 Dampfmaschine 78.
 Dampfstraßenbahnen 58.
 Dampfverbrauch bei Lokomotiven 83.
 Doppelkopfschienen 29.
 Doppellokomotive 131.
 Drahtluftbahnen 61.
 Draisinen 96.
 Drehgestell 79, 130.
 Durchgangswagen 92.
- E**inpufferbauart 91.
 Einschienige Bahnen 60.
 Eisenbahn 1.
 Eisenbahnverkehr 11.
 Elektrischer Betrieb 62.
 Engerth, Kuppelung von 31.
 Exhaustor 78.
- F**ahrgeschwindigkeit 7, 8.
 Feldabahn 36.
 Fell 52.
 Festiniogbahn 56.
 Feuerbüchse 78.
 Feuerlose Lokomotiven 64.
 Fink, Pius 131.
 Fischbauchschiene 22, 29.
 Fischer von Rößlerstamm 112.
 Flachlandbahnen 49.
 Frank, Formeln für Widerstände 181.
 Freie Bahn 74.
- G**asmotorwagen 65.
 Gebirgsbahnen 49.
 Gegengewichte 79.
 Gelenkkuppelung 113.
 Gemeinwirtschaftlicher Nutzen 19.
 Geographie 17.
 Gepäckwagen 95.
 Gerstner, Fr. A. Ritter von 55.
 — Fr. J. Ritter von 27.
 Gesetzgebung 17.
 Gesundheit 16.
 Ghega, Carl Ritter von 31.
 Gleim 1.
 Gleisanzahl 58.
 Gotthardbahn 33.
 Güte des Eisenbahnverkehrs 11.
- H**ackworth 23, 24, 25.
 Haltepunkte 74.
 Hängebahnen 61.
 Harkort 27.
 Haushofer 2, 47.
 Hawthorn 25.
 Helmholtz, Richard 125.
 Hendley 23.
 Heusinger von Waldegg 33, 40.
 — Durchgangswagen 92.
 Heyne 71.
 Hochbahnen 59.
 Hochbau 73.
 Hoffmann's Widerstandsformel 186.
 Hohlkehle 77.
 Homfray, Hill u. Co. 21.
 Honigmann 64.
 Hügelanbahn 49.
- J**anneykuppelung 113.
 Jessop 21.
 Industrie 13.
- K**abelbahnen 63.
 Kanäle 4.
 Karmarsch & Heeren 48.
 Kaven 47.
 Kirchweger 131.
 Kleinbahnen 44.
 Koch, R. 4.
 Komarekwagen (Dampfmotorwagen) 104.
 Krauss-Drehgestell 79, 110, 129.
 Kreuter 137.
 Kuppelachsen 79.
 —, lenkbare 139.
 Kuppelung der Fahrzeuge 110.
 Kunstbauten 73.
 Künste 16.
 Kunz, Theodor 30.
 Kurvenbeweglichkeit 79.
- L**amm-Francq 64.
 Landstraßenverkehr 3, 7.
 Landwirtschaft 13.
 Langen 60.
 Langkessel 78.
 Laufachse, um einen Drehpunkt schwingende 128.
 Lauffläche 77.
 Launhardt 19, 68, 69, 72.

- Launhardt's Widerstandsformel 187.
 Leber, Max Edler von 142, 152.
 Leitzmann und v. Borries, Widerstandsformel 183.
 Lenkachsen, freie und gekuppelte 107, 132.
 Lentz 64.
 Leuchtgaswagen 65.
 Leyen, v. d. 2.
 Lightrailways 45.
 List, Friedrich 28, 39.
 Liverpool-Manchester 24.
 Lokalbahnwesen 37.
 Lüthrig 65.
- M**affe 131.
 Mallet-Rimrott 132.
 Mekarski 64.
 Merthyr-Tydfil 21.
 Michel 67.
 Militärische Bedeutung der Eisenbahnen 14.
 Millerkuppelung 113.
 Mont Cenis-Bahn 32.
 Motorwagen 62.
- N**achschieben der Züge 114.
 Neigung, schädliche 194.
 —, unschädliche 198.
 Nixon 22.
 Nördlinger 142, 175.
 Norris, William 26.
 »Novelty« 24.
- O**berbau 73.
 Outram, Benjamin 22.
- P**almer, Robinson 60.
 Pambour 179.
 Parabel, kubische, für Übergangsbögen 144.
 Pearse, Eduard 23.
 Pernt 150, 151.
 »Perseverance« 24.
 Petrlik's Überhöhungsformel 139.
 Pferdebahnen 61.
 Pichler 71.
 Pilzschiene 29.
 Planum 58.
 Plessner 68.
 Polarkoordinaten, Absteckung mit 151.
 Popp-Conti 65.
- Postverkehr 10.
 Postwagen 95.
 Postwesen 13.
 Preisausschreiben 43.
 Pressel 141.
 Preßluftbetrieb 64.
 Privatanschlußbahnen 44.
 Puffer der Fahrzeuge 111.
 Pustertalbahn 32.
- R**adialachsen von Klose 110.
 Radioiden für Übergangsbögen 143.
 Radsatz 116.
 Radstand, begrifflicher oder ideeller 126.
 Rahmen 79.
 Rechtslehre 17.
 Redtenbacher 163, 165.
 Regelmäßigkeit des Eisenbahnverkehrs 9.
 Regler 78.
 Regulator 78.
 Rettig, H. und W. 61.
 Ridder, De 27.
 Riepl 27.
 Riggenbach 52.
 »Rocket« 24.
 Rollböcke 96.
 Röckl's Widerstandsformel 186.
 Rush 160.
- S**andner 138.
 »Sanspareil« 24.
 Sarrazin und Oberbeck 151.
 Sax 1, 46.
 Schleppbahnen 45.
 Schlingern der Lokomotiven 118.
 Schmalspur 56.
 Schneepflug 100.
 Schwebebahn 60.
 Séguin 27.
 Seilkuppelung 112.
 Semmeringbahn 30, 32.
 »Seraing« 31.
 Sicherheit des Eisenbahnverkehrs 9, 10.
 Sicherheitskuppelung 111.
 Speichenräder 79.
 Spurbahnen 20.
 Spurbahnkranz 76.
 Spurweite 54.
 Stahlkopfschienen 34.
 Statistik 17.
- Steigung, maßgebende 192.
 Steilbahnen 51.
 Stephenson, Georg 23, 54.
 —, R. 25.
 Stevens 30.
 Stockton-Darlington 22.
 Strecke 74.
 Stufenbahn 61.
 Sympher 4.
- T**enderlokomotive 89.
 Tiefbahnen 59.
 Trambahnen 45.
 Trevithik 23.
 Trichterkuppelung 113.
 Truckgestell 79.
- U**ebelacker 120, 127.
 Überhöhung, Ausführung der 140.
 Ulrich 1, 46, 47.
 Unterbau 73.
 Untergrundbahnen 59.
- V**autherinschwelle 34.
 Velocipede 96.
 Verbundlokomotive 80.
 Verein Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen 39.
 Vereinslenkachsen 109.
 Vermittlungsspur 56.
 Verschiebung des Verkehrs 18.
 »Vindobona« 31.
 Volkswirtschaft 17.
 Volkswohlstand 19.
 Vuillemin, Guébard und Dieu-donné, Formeln von 180.
- W**asserstraßenverkehr 4.
 Weber, M. M. v. 46.
 Weitbrecht 151.
 Wellington 120.
 Werkzeug- und Hilfswagen 98.
 Wetli 53.
 Widerstandsverhältnis, maßgebendes 192.
 »Wiener Neustadt« 31.
 Wissenschaften 16.
 Wöhler 77, 120, 123.
 Woolf-Vauclain 80.
- Z**ahnstangenbahnen 52.
 Ziffer 47.
 Zugkraft der Lokomotive 81.
 Zweipufferarbeit 91.