Bibliothek des Eisenbahnwesens. VIII.

Der Schienenweg der Eisenbahnen

A. HARTLEBEN'S VERLAG

Bibliothek des Eisenbahnwesens.

In zwanglosen Bänden. Jeder Band einzeln käuflich.

Wer gegenwärtig im sechzigsten Lebensjahre steht, ist so alt wie die erste Locomotiv-Eisenbahn der Welt, und kann sagen, dass das Eisenbahnwesen wenigstens eine Zeit lang als Zeitgenosse mit ihm gewachsen ist. Des Sechzigjährigen Wachsthum ist freilich längst vorüber, war auf eine kurze Reihe von Jahren durch die Natur begrenzt. Das Eisenbahnwesen hatte dagegen bis jetzt keine zeitliche Grenze im Wachsthume, blieb nicht stille stehen, sondern wuchs und wuchs und entwickelte sich auf eigene Faust in einer Weise, wie es wohl von keiner Seite geahnt wurde.

Heute beherrscht die Eisenbahn das gesammte moderne Leben, tief eingreifend in die wirthschaftlichen Verhältnisse des Staates, der Handels- und Verkehrswelt, der Familie und des Einzelnen. Ein Segenspender für alle Kreise, hat die Eisenbahn den Unterschied zwischen hoch und niedrig, vornehm und gering, reich und arm, ausgeglichen; wer sich der Eisenbahn bedient, fährt in demselben Zuge gleich weit, gleich schnell, ob er nun ein Fürst ist oder dem Arbeiterstande angehört; das aufgegebene Gut wird ebenso gut gefahren, ob es die Arbeit fleissiger Menschenhände oder titanenhafter Dampfkraft, oder ob es Frucht des Erdbodens oder menschlicher Gedankenarbeit ist.

Aber nicht nur die frühere Gestaltung der Dinge auf unwiderstehliche Weise verändernd, hat die Eisenbahn sich Bahn gebrochen; sie hat vielmehr sich selbst ein eigenes individuelles Dasein geschaffen, das von dem Fachmann mit Bewusstsein erkannt, von dem Laien gefühlt wird, und das mit dem Massstabe, der an andere gewöhnliche Dinge gelegt werden kann, gar nicht messbar ist. So hat sie gegenwärtig ihre eigene Technik, ihr eigenes Recht, ihren eigenen Verkehr, ihre eigenen commerciellen Beziehungen, ihre eigene Verwaltung, ihre eigene Buchführung u. s. w.

Der complicirte Mechanismus einer Eisenbahn erheischt zu dessen Verständniss ein eingehendes Studium der einzelnen Functionen des Apparates, wenn man den ganzen Mechanismus würdigen und richtig beurtheilen will.

Man begreift daher auch, dass der Ruf nach der Möglichkeit, aus der Kenntniss und der Erfahrung Anderer sein eigenes Wissen ergänzen zu können, bei der immer wachsenden Theilung der Arbeit und Individualisirung der Dienstzweige in Eisenbahnfachkreisen immer dringender wird; und man findet es ferner sehr begreiflich, dass jeder, der mit der Eisenbahn irgendwie in Berührung kommt, nicht vor Räthseln stehen, sondern das Fühlen in Erkennen verwandeln und mit eigenen Augen sehen will, wie die Dinge gestaltet sind, um den grossen Verkehrsfactor auch zu verstehen, wenn es sich um die eigensten Interessen handelt.

Wir sehen uns demnach veranlasst, diesem wahrhaft grossen und in der Natur der Sache begründeten Bedürfnisse Rechnung zu tragen, und haben uns entschlossen, dem Eisenbahnwesen und der Publicistik auf diesem Gebiete eine eigene Stätte zu gründen. Wir beabsichtigen in der »Bibliothek des Eisenbahnwesens« dem Fachmanne, sowie allen, die an dem Leben und Treiben der Eisenbahnen ein Interesse haben, die Mittel zu bieten, Rath und Belehrung zu holen, sobald und wo sie gebraucht werden.

Die verschiedensten Gebiete des Eisenbahnwesens, seien es ökonomische oder politische Fragen, oder Probleme der Wissenschaft und Technik, sollen aus der Feder berufener Fachmänner Erläuterung finden, welche für Jedermann, der mit dem Eisenbahnwesen in Verbindung steht, Nützliches wie Lehrreiches bringen soll. Die Ausgabe der

Bibliothek des Eisenbahnwesens

wird in zwanglosen, selbständigen Bänden übereinstimmender Ausstattung erfolgen. Möge das Unternehmen jene Aufnahme finden, die seiner Absicht entspricht.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

A. Hartleben's

BIBLIOTHEK DES EISENBAHNWESENS.

Band I.

Geschichte des Eisenbahnwesens

von **Dr. Theodor Haberer.**

10 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 1 fl. 10 kr. = 2 M. = 2 Fr. 70 Cts. = 1 R. 20 Kop.

Band II.

Das Tarifwesen der Eisenbahnen,

dessen betriebsökonomische Aufgaben und Stellung im wirthschaftlichen und socialen Staatsleben der Gegenwart

von **J. F. Schreiber**

Eisenbahn-Centralinspector.

17 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 2 fl. 20 kr. = 4 M. = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

Band III.

Handbuch des Telegraphendienstes der Eisenbahnen

von **A. Prasch,** Ingenieur.

Mit 117 Abbildungen.

11 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 1 fl. 65 kr. = 3 M. = 4 Fr. = 1 R. 80 Kop.

Band IV.

Repetitorium der Mathematik und Elektricitätslehre.

Für die Bedürfnisse der Eisenbahn-Praxis elementar behandelt von

J. Krämer

Ingenieur, Docent für Elektrotechnik am höheren Curse der Fortbildungsschule für Eisenbahn-Beamte.

Mit 127 Abbildungen.

12 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 1 fl. 65 kr. = 3 M. = 4 Fr. = 1 R. 80 Kop.

Band V.

Der Transportdienst der Eisenbahnen

von **Sigismund Weill**

Bureauchef der Oesterreichischen Nordwestbahn.

19 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 2 fl. 20 kr. = 4 M. = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

Band VI.

Das österreichische Eisenbahnrecht.

Systematisch dargestellt von **Dr. Theodor Haberer.**

38 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 4 fl. 40 kr. = 8 M. = 10 Fr. 70 Cts. = 4 R. 80 Kop.

Band VII.

Der Einnahmen-Verrechnungs- und Revisionsdienst der Eisenbahnen

von **M. A. Reitler**

Betriebsdirector-Stellvertreter der k. k. priv. Oesterreichischen Nordwestbahn und der Südnorddeutschen Verbindungsbahn.

19 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 2 fl. 20 kr. = 4 M. = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.

Band VIII.

Der Schienenweg der Eisenbahnen

von **Ferdinand Loewe**

Professor der Ingenieur-Wissenschaften an der k. bayer. Technischen Hochschule zu München.

Mit 142 Abbildungen.

25 Bogen. Octav. Eleg. gebdn. 3 fl. 30 kr. = 6 M. = 8 Fr. = 3 R. 60 Kop.

Zwischen Donau und Kaukasus.

Land- und Seefahrten im Bereiche des Schwarzen Meeres. Von A. Frh. v. Schweiger-Lerchenfeld. Mit 215 Illustrationen in Holzschnitt und 11 colorirten Karten, hiervon 2 grosse Uebersichtskarten. 50 Bogen. Gr. 8. Eleg. geh. 7 fl. 50 kr. = 13 M. 50 Pf. In elegantem Original-Prachtband 9 fl. = 16 M. 20 Pf.

AFRIKA.

Der dunkle Erdtheil im Lichte unserer Zeit. Von A. Freiherr von Schweiger-Lerchenfeld. Mit 300 Illustrationen und 18 Tafeln, enthaltend 50 Karten. 60 Bog. Gr. 8. Eleg. geh. 9 fl. = 16 M. 20 Pf. In Original-Prachtband 10 fl. 50 kr. = 18 M. 90 Pf.

Adrian Balbi's

Allgemeine Erdbeschreibung.

Ein Hausbuch des geographischen Wissens für die Bedürfnisse aller Gebildeten. Siebente Auflage. Neu bearbeitet u. erweitert von Dr. **Josef Chavanne.** Mit 400 Illustrationen und 150 Textkarten. Drei Bände. Lex. 8. Elegant geheftet 18 fl. = 33 M. 75 Pf. In drei eleganten Original-Halbfranzbänden 21 fl. 60 kr. = 39 M. 60 Pf.

Von Ocean zu Ocean

Eine Schilderung des Weltmeeres und seines Lebens. Von **A. Freih. v. Schweiger-Lerchenfeld.** Mit 12 Farbendruckbildern, 215 Illustrationen in Holzschnitt, 16 colorirten Karten und 30 Plänen im Text. 60 Bog. gr. 8. Preis geh. 9 fl. = 16 M. 20 Pf. In Original-Prachtband 10 fl. 50 kr. = 18 M. 90 Pf.

VIERTAUSEND MEILEN UNTER STURMSEGELN

auf Sr. Königl. Hoh. des Prinzen Heinrich v. Bourbon, Grafen v. Bardi Yacht „Aldegonda" Von **Detlev v. Heydebrand und der Lasa.** Mit einem Portr., 106 Textillustr. u. einer Karte. 19 Bog. Gr. 8 In eleg. Orig.-Prachtb. mit reicher Farbenpressung. 3 fl. 30 kr. = 6 Mark.

Die österreichisch-ungarische Monarchie.

Geographisch-statistisches Handbuch mit besonderer Rücksicht auf die politische und Culturgeschichte für Leser aller Stände. Von Prof. Dr. **Friedrich Umlauft.** Zweite, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 160 Illustrationen. 52 Bog. Lex.-Oct. In einem Bande geh. 6 fl. = 10 M. 80 Pf. In einem Prachtband 7 fl. 50 kr. = 13 M. 50 Pf.

DIE ADRIA.

Geschildert von **Amand Freiherr von Schweiger-Lerchenfeld.** Mit 200 Illustrationen, 6 Plänen und einer grossen Karte des Adriatischen Meeres. 50 Bog. gr. 8. Eleg. geh. 7 fl. 50 kr. = 13 M. 50 Pf. In Orig.-Prachtband 9 fl. = 16 M. 20 Pf.

DER ORIENT.

Geschildert von **Amand Freiherr von Schweiger-Lerchenfeld.** Mit 215 Illustrationen in Holzschnitt, vielen Karten und Plänen. 60 Bogen. Gr. 8. Eleg. geh. 9 fl. = 16 M. 20 Pf. In Orig.-Prachtb 10 fl. 50 kr. = 18 M. 90 Pf.

Die Elektricität im Dienste der Menschheit.

Eine populäre Darstellung der magnetischen und elektrischen Naturkräfte und deren praktischen Anwendungen. Nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft bearbeitet von Dr. **A. Ritter von Urbanitzky.** Mit 830 Illustrationen. 70 Bogen. gr. 8. Geh. 6 fl. = 10 M. 80 Pf. In Original-Prachtband gebunden 7 fl. 20 kr. = 13 Mark.

Das eiserne Jahrhundert.

Von **Amand Freiherr von Schweiger-Lerchenfeld.** Mit 200 Illustrationen hervorragender Künstler, Karten und Plänen etc. 50 Bogen. Gross-Octav. Prächtigste Ausstattung. Preis geheftet 7 fl. 50 kr. = 13 M. 50 Pf. In effectvollem Orig.-Prachtb. 9 fl. = 16 M. 20 Pf.

DEUTSCHE RUNDSCHAU FÜR GEOGRAPHIE UND STATISTIK.

I. Jahrgang 1878/79. Mit zahlreichen Illustrationen und 13 Karten. 42 Bogen. Lex. 8. Geh. 4 fl. 25 kr. = 8 Mark. Eleg. geb. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.
II. Jahrgang 1879/80. Mit zahlreichen Illustrationen und 13 Karten. 40 Bogen. Lex. 8. Geh. 4 fl. 25 kr. = 8 Mark. Eleg geb. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.
III. Jahrgang 1880/81. Mit zahlreichen Illustrationen und 12 Karten. 41 Bogen. Lex. 8. Geh. 4 fl. 25 kr. = 8 Mark. Eleg. geb. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.
IV. Jahrgang 1881/82. Mit zahlreichen Illustrationen und 12 Karten. 40 Bogen. Lex. 8. Geh. 4 fl. 25 kr. = 8 Mark. Eleg. geb. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.
V. Jahrgang 1882/83. Mit zahlreichen Illustrationen und 14 Karten. 40 Bogen. Lex. 8. Geh. 4 fl. 25 kr. = 8 Mark. Eleg. geb. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.
VI. Jahrgang 1883/84. Mit zahlreichen Illustrationen und 15 Karten. 40 Bogen. Lex. 8. Geh. 4 fl. 25 kr. = 8 Mark. Eleg. geb. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.
VII. Jahrgang 1884/85. Mit zahlreichen Illustrationen und Karten. 40 Bogen. Lex. 8. Geh. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark. Eleg. geb. 6 fl. 75 kr. = 12 Mark.
VIII. Jahrgang 1885/86. Mit zahlreichen Illustrationen und Karten. 40 Bogen. Lex. 8. Geh. 5 fl. 50 kr. = 10 Mark. Eleg. geb. 6 fl. 75 kr. = 12 Mark.
IX. Jahrgang 1886/87. Mit zahlreichen Illustrationen und Karten. 12 Hefte. Pränumer.-Preis 5 fl. 50 kr. = 10 Mark.

Der

SCHIENENWEG DER EISENBAHNEN.

BIBLIOTHEK

des

EISENBAHNWESENS.

ACHTER BAND.

DER SCHIENENWEG DER EISENBAHNEN.

WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1887.

Der

SCHIENENWEG

der

EISENBAHNEN.

Von

FERDINAND LOEWE,

Professor der Ingenieurwissenschaften an der Kgl. bayer. Technischen Hochschule zu München.

Mit 142 Abbildungen.

WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1887.

K. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

VORWORT.

Das vorliegende Buch wendet sich einerseits an die Studirenden technischer Hochschulen und die im praktischen Leben stehenden gereiften Fachleute, andererseits an einen weiteren Kreis von Gebildeten, welche aus irgend einer Veranlassung sich über eisenbahntechnische Angelegenheiten zu unterrichten wünschen.

Der Stoff ist demgemäss streng wissenschaftlich behandelt, gleichzeitig aber dem Doppelzwecke entsprechend gruppirt. Vor Allem wurden jene Entwickelungen, deren Verständniss ein höheres Mass mathematischer Vorkenntnisse erfordert, in einem besonderen Anhang übersichtlich zusammengestellt und nur ihre Endergebnisse und, wenn thunlich, auch der ihnen zu Grunde liegende Gedankengang zur Wahrung des Zusammenhanges in die beiden Haupttheile des Buches aufgenommen. Ein Literaturverzeichniss fehlt; dafür sind zahlreiche Hinweise auf umfassendere Lehr- und Handbücher, Veröffentlichungen in besonderen Druckschriften und Fachzeitungen gelegentlich eingestreut, da Mittheilungen solcher Art den Fachleuten erwünscht und für Diejenigen, welche keinen Gebrauch davon machen wollen, nicht störend sind. Die Zahl der in den Text aufgenommenen Figuren endlich

ist dem verfügbaren Raume entsprechend bemessen, wird jedoch zur erstrebten Klarlegung hinreichend sein.

So möge denn das hiermit in die Oeffentlichkeit tretende Buch allen berechtigten Ansprüchen genügen und auch in seiner Weise zur gebührenden Werthschätzung der Technik überhaupt beitragen.

Der Verfasser.

INHALT.

B. Gleisverbindung.

I. Gewöhnliche Ausweichungen.

Der Wechsel.

Die einfache Kreuzung.

Der Weichenbogen.

Gesammtanordnung der gewöhnlichen Ausweichung.

II. Andere Formen von Ausweichungen.

III. Verbindung der Gleise mittelst Ausweichungen.

IV. Drehscheiben.

V. Schiebebühnen.

ANHANG.

ERSTER THEIL.

Unterbau.

ZWEITER THEIL.

A. Oberbau.

B. Gleisverbindung.

EINLEITUNG.

Die gewöhnliche, mit Steinschlag oder Pflasterung hergestellte Landstrasse bietet dem Fuhrwerk eine feste, verhältnissmässig glatte Fläche dar, welche von diesem an allen Stellen befahren werden kann, bei horizontaler Erstreckung mit einem Kraftaufwand von ungefähr $^1/_{20}$ bis $^1/_{50}$ des Wagengewichtes; es liegt der Widerstandscoëfficient, wie man sich auszudrücken pflegt, bei den Landstrassen je nach der Art ihrer Ausführung und den Witterungsverhältnissen zwischen den Grenzen $^1/_{20}$ und $^1/_{50}$.

Anders bei den Eisenbahnen. Hier zieht sich die Fahrbahn gleichsam auf zwei Linien, die Spuren oder Gleisestränge, zusammen, längs welchen die Bewegung der Fahrzeuge allein möglich ist und von welchen dieselben nicht ohneweiters abgehen können. In dieser Beschränkung und verschiedenen, damit zusammenhängenden Verhältnissen liegt sicherlich ein gewisser Nachtheil der Eisenbahnen; andererseits aber vermindert sich eben dadurch der Widerstandscoëfficient auf Werthe zwischen $^1/_{200}$ bis $^1/_{350}$ und die Anwendbarkeit von Elementarkräften, namentlich der Dampfkraft, ermöglicht eine fast beliebig zu steigernde Leistungsfähigkeit, so dass die Eisenbahnen im Hinblick auf ihre Bedeutung im Culturleben der Völker zur Zeit als das wichtigste Verkehrsmittel bezeichnet werden können.

Spurstrassen einfachster Art entstehen unter dem Drange der Umstände dort, wo ein lebhafter Verkehr auf schmalem Wege stattfindet, theils zur Sicherung dieses Verkehres, haupt-

sächlich aber zur Befestigung und Verstärkung jener Fahrbahnstreifen, welche den Angriffen der Räder beständig ausgesetzt sind, deshalb viel Nacharbeit verlangen und trotzdem fortwährend grosse Bewegungshindernisse veranlassen. Derartige Verhältnisse bestanden seit undenklichen Zeiten in den engen Stollen der Bergwerke und es bildeten sich auch dort schon längst eine Art von Spurbahnen aus, welche, wahrscheinlich durch deutsche Bergleute in England eingeführt, dortselbst ungefähr um die Mitte des 17. Jahrhunderts von den Gruben nach aussen hin fortgesetzt wurden, um Kohlen oder andere Materialien von den Gewinnungsplätzen nach den Seehäfen ohne Umladung befördern zu können.

Es liegt nahe anzunehmen, dass sich der geschilderte Entwickelungsvorgang bei anderen Gelegenheiten wiederholt vollzogen habe, und in der That sind geschichtliche Nachweise hiefür wirklich vorhanden, wonach ebenfalls in England vor etwa zwei Jahrhunderten sehr einfach angelegte Spurbahnen ohne Verbindung mit Bergwerken unter freiem Himmel entstanden, als zu jener Zeit eine sehr gesteigerte Kohlenausfuhr von den Gruben zum Meer auf meist schlecht angelegten und noch schlechter unterhaltenen Wegen bewerkstelligt werden musste. Bald wurden solche Anlagen in grösserer Ausdehnung hergestellt; man bildete einen Rost, indem man Querhölzer in mässigen Abständen von einander verlegte, darauf Langhölzer befestigte und den Raum zwischen denselben mit passenden Stoffen, wie Schlacken, Kies u. dergl. ausfüllte, so dass die obere Seite der Langhölzer in die Oberfläche der Strasse zu liegen kam, und die Räder der gewöhnlichen Landstrassenfuhrwerke nach Belieben auf diese Holzschienen gelangen oder von ihnen abgehen konnten. Derartige Bahnen können als erstes Glied einer zusammenhängenden Reihe von Entwickelungsstufen angesehen werden, welche in der heutigen Eisenbahn, diesem wunderbaren Verkehrsmittel unserer Zeit, ihren Abschluss findet.

Reichlich 100 Jahre hindurch blieben dieselben, abgesehen von geringfügigen Abänderungen und unwesentlichen Verbesserungen, in der beschriebenen Anordnung im Gebrauche; erst das Jahr 1767 brachte einen bedeutsamen Fortschritt mit

dem gelungenen Versuch, Gusseisen als Schienenmaterial zu verwerthen. Zwar hatte man schon lange vorher die geringe Dauerhaftigkeit der den Angriffen der Räder unmittelbar ausgesetzten Langschwellen, oder auch der darauf befestigten besonderen Spurhölzer, unangenehm genug empfunden, allein die nicht unbedeutenden Kosten gusseiserner Theile hatte wohl von der Anwendung solcher abgeschreckt, wenn sie überhaupt damals schon in's Auge gefasst worden waren. Da ereignete sich, dass, als im genannten Jahre der Preis des Eisens sehr tief gesunken war und die Hochofenbesitzer sich in Folge dessen veranlasst sahen, Roheisen in grossen Mengen bis zu einem geeigneteren Zeitpunkte der Verwerthung aufzuspeichern, einer derselben, Mr. Reynolds in Colebrook Dale, auf den Gedanken kam, einen Theil seines Erzeugnisses dadurch nutzbar zu machen, dass er dasselbe in Platten von 5' Länge, $4^1/_2$'' Breite und $1^1/_4$'' Dicke goss und dieselben mittelst Nägeln auf die Langhölzer der Spurbahn befestigte, so dass nun deren schwach muldenförmige Oberfläche bündig mit der Strasse zu liegen kam und, wie vorher die der Hölzer, von den Rädern befahren wurde.

Das Ergebniss dieses Versuches war ein so ausserordentlich günstiges, indem nun mit der gleichen Kraft eine viel grössere Last als früher fortbewegt werden konnte und auch die Unterhaltungskosten sich bedeutend niedriger als vorher stellten, dass nicht nur Mr. Reynolds an der neuen Construction festhielt und sie weiter ausdehnte, sondern dass auch Andere seinem Beispiele folgten. Und so war durch ein glückliches Zusammenwirken mehrerer zufälliger Umstände mit Einem Schlage eine Erkenntniss zum Durchbruche gelangt, welche ausserdem wohl nicht so bald gewonnen worden wäre. Aus der damit eingeleiteten Periode der gusseisernen Flachschienen ist dann nur noch hervorzuheben, dass neben den ersten Schienen mit in der Hauptsache rechteckigem Querschnitt bald auch andere mit einem nach oben rechtwinkelig aufgebogenen Seitenrand aufkamen. Letzterer hatte in erster Linie den Zweck, besondere, eigens für die Spur gebaute Fahrzeuge auch auf derselben festzuhalten, daneben aber gewannen die Schienen durch ihn an Steifigkeit, so dass die bis

dahin ausnahmslos übliche durchlaufende Unterstützung derselben mit Hilfe von Langhölzern schon damals zuweilen verlassen und die Schiene nur mit ihren Enden auf Querhölzer oder Steinquader gelagert wurde.

Ein anderer, sehr entschiedener Schritt vorwärts geschah gerade zu Ende des 18. Jahrhunderts durch Einführung der sogenannten hochkantigen Schienen aus Gusseisen, welche vermöge ihrer hervorragenden Höhenabmessung eine bedeutend grössere Tragfähigkeit als die bisherigen Flachschienen besassen und besonders geformte Radkränze zum Festhalten der Fahrzeuge auf den Schienen nöthig machten. Bald wurde ihr Querschnitt auch im Einzelnen weiter ausgebildet; man stellte einen rundlichen Kopf mit Berücksichtigung der Radreifenform her, mit dünnem, aber entsprechend hohem Halsansatz (Pilzform), auch kam man darauf, den Querschnitt der etwa 3′ langen Schiene in der Mitte am stärksten zu wählen, gegen die beiden Enden aber allmählich abnehmen zu lassen und damit sogenannte Fischbauchschienen zu erfinden. Die vorher fast ausschliesslich üblichen Langholzunterstützungen kamen bei dem neuen Oberbau ganz ausser Gebrauch und es traten an ihre Stelle prismatische oder würfelförmige Steinquader, auf welchen die mit einander verblatteten Enden der aufeinanderfolgenden Schienen mittelst kleiner gusseiserner Zwischentheile (Stühle) befestigt wurden.

Es ist schon wiederholt betont worden, dass sich die Bewegungswiderstände bei den Schienen aus Eisen bedeutend niedriger stellten. Je grösser nun in Folge dessen das Wagengewicht angenommen wurde und die Fahrgeschwindigkeit sich steigerte, desto unangenehmer machte sich die Sprödigkeit des Gusseisens fühlbar und um so entschiedener trat der Wunsch hervor, an seine Stelle das viel zähere und gegen Stösse widerstandsfähigere schweissbare Eisen zu setzen. So lange man jedoch noch nicht gelernt hatte, demselben in Walzwerken eine passende Gestalt zu geben, war man auf die unverhältnissmässig schweren geschmiedeten Eisenstangen von nahezu rechteckigem Querschnitt angewiesen, deren nicht entsprechend abgerundeten oberen Kanten auch eine baldige Abnützung der Radkränze herbeiführten. Erst nachdem die

Kunst des Walzens erfunden und im zweiten Jahrzehnt des laufenden Jahrhunderts genügend ausgebildet worden war, stand der Verwendung dieser Eisensorte nichts mehr im Wege. Allerdings dauerte es immer noch längere Zeit, bis die gewalzten Schienen das Uebergewicht über die gegossenen errangen, besonders weil man aus Missverständniss glaubte, an der Veränderlichkeit des Querschnittes auch jetzt noch festhalten zu sollen, wodurch die Herstellung wesentlich erschwert und die Kosten vergrössert wurden. Als endlich die von R. Stephenson eingeführte sogenannte Parallelschiene mit gleichem Querschnitte auf ihre ganze Länge Ende der Dreissiger Jahre allgemeine Anerkennung gefunden hatte, war eine Form der Gleisconstruction erreicht, welche mit der auch heute noch auf vielen Bahnen üblichen im Wesentlichen übereinstimmte.

Auf den ersten Spurstrassen, auch noch auf solchen mit plattenartigen Gussschienen von rechteckigem Querschnitt, verkehrten ursprünglich nur die gewöhnlichen Landstrassenfuhrwerke, indem sie nach Belieben auf die Schienen über- oder von denselben abgehen konnten. Nur in besonderen Fällen, wenn z. B. der durch die Spurbahn zu bewältigende Verkehr auch besonders gebaute Fahrzeuge verlangte, oder wenn man, um die Gleise zu schonen, Wägen von kleinerem Ladevermögen als sonst üblich, verwendete, sah man sich zuweilen veranlasst, dieselben auf den Schienen festzuhalten, entweder durch sogenannte Spurkränze der Räder oder mittelst vorstehender Ränder an den Schienen. Das Festhalten der Fahrzeuge auf den Gleissträngen wurde zur Nothwendigkeit, sobald hochkantige Schienen in Aufnahme kamen und geschah damals, wie heute noch, durch entsprechende Vorsprünge an den Rädern.

Alle bis zum Jahre 1825 gebauten Gleisstrassen dienten ausschliesslich zur Beförderung von Rohmaterialien, besonders von den Steinbrüchen und Gruben aus nach den Verladeplätzen an der See, oder als Werkbahnen für Bauzwecke u. dgl. Zur Fortbewegung der Transportgeräthe kamen Menschen- und Thierkräfte in Anwendung, zuweilen auch die Schwerkraft, wenn man die beladenen Wagen thalwärts auf schwach ge-

neigten Gleisen sich selbst überliess und nur zur Rückfahrt thierische Kräfte zur Ausnützung brachte. In vereinzelten Fällen war es möglich, die Schwere nach beiden Richtungen in der Art nutzbar zu machen, dass man auf einer schiefen Ebene ein Doppelgleis ausführte und zwei Wagenzüge durch ein, am oberen Ende über eine liegende Rolle geführtes Seil verband, so dass der eine beladene Zug, indem er zu Thal ging, den anderen leeren bergauf beförderte. Zuweilen kamen feststehende Dampfmaschinen, manchmal wohl auch Wasserkraftmaschinen zur Benützung.

Die erste bewegliche Dampfmaschine zum Ziehen beladener Wägen auf Spurbahnen brachte 1804 Trevithik in England zur Anwendung, nachdem wiederholt Versuche mit sogenannten Dampfomnibussen oder eigentlichen Strassenlocomotiven zur Beförderung von Personen auf gewöhnlichen Steinstrassen angestellt worden waren. Merkwürdigerweise nahm man damals, und noch während eines Jahrzehnts hernach allgemein als selbstverständlich an, die Reibung der auf den Schienensträngen sich abwälzenden Triebräder der Locomotive sei nicht genügend, eine grössere Zugkraft auszuüben, und bemühte sich, eine vermehrte Reibung durch besondere, oft sehr umständliche Vorkehrungen zu erzielen, bis endlich der unmittelbare Versuch die Unrichtigkeit der vorgefassten Meinung darthat. Es ist wohl begreiflich, dass eine in jeder Hinsicht entsprechende Locomotive erst nach jahrelangen, trotz aller Enttäuschungen mit zäher Ausdauer fortgesetzten Bemühungen nicht gewöhnlicher Geister zu Stande kommen konnte; in der That gelang es erst am 27. September 1825 auf der auch für den Personenverkehr bestimmten Kohlenbahn zwischen Stockton und Darlington, einen Zug von 34, darunter 22 von Personen besetzten Wagen mit der bis dahin bei Locomotivenbetrieb unerhörten Geschwindigkeit von 6 bis 8 englischen Meilen in der Stunde, oder ungefähr 2·5 bis 3·5 Meter in der Secunde zu bewegen. Damit war nun zwar die Schnelligkeit noch nicht erreicht, welche die vorzüglich eingerichteten englischen Postanstalten gewährten, aber eine unerwartet hohe Leistungsfähigkeit der Locomotiven war erwiesen und die beste Aussicht auf weitere Fortschritte eröffnet. So kam es auch, dass die Unternehmer

der in den Jahren 1826 bis 1830 erbauten Bahnlinie zwischen Liverpool und Manchester, einer für die damalige Zeit wahrhaft bewunderungswürdigen Ingenieurleistung, von der Verwendung thierischer Kraft zum Betriebe derselben ganz absahen und nur feststehende und bewegliche Dampfmaschinen in's Auge fassten. Zur endgiltigen Entscheidung der lebhaft erörterten Angelegenheit schrieb endlich das Directorium einen Preis von 500 Livres für eine Locomotive aus, welche neben anderen Anforderungen auch die erfüllen sollte, dass sie auf wagrechter Bahn mindestens eine Last gleich dem Dreifachen ihres eigenen Gewichtes mit einer Geschwindigkeit von 10 englischen Meilen in der Stunde (16 Kilometer in der Stunde oder 4·4 Meter in der Secunde) ziehen sollte. Von den drei Locomotiven, welche sich an der weltberühmten Wettfahrt bei Rainhill am 8. October 1829 betheiligten, siegte bekanntlich die von Stephenson gelieferte, indem sie die gestellten Anforderungen noch übertraf.

Damit war die Frage nach dem Motor, nicht nur der Liverpool-Manchester Bahn, sondern der neuen Verkehrswege überhaupt endgiltig entschieden. Die Verbindung aber einer so leistungsfähigen Maschine mit der, ebenfalls schon zu einem hohen Grade ausgebildeten Spurbahn brachte in der Folge eine gänzliche Umgestaltung aller Verkehrsverhältnisse zu Stande, so dass man den 8. October 1829, oder aber den 15. September 1830, an welchem die Eröffnung der Liverpool-Manchester Bahn stattfand, als den Geburtstag des modernen Eisenbahnwesens zu bezeichnen pflegt.

Als Beispiel, wie rasch sich von da ab die Eisenbahnen verbreiteten, mögen zunächst die folgenden Angaben aus dem Geburtslande derselben dienen: In England bestanden im Jahre 1801 76 englische Meilen Kohlenbahn mit Pferdebetrieb, 1804, 1810, 1812 und 1815 beziehungsweise 127, 184, 222, 236 englische Meilen. Seit 1819 wurden solche theilweise auch mit Locomotiven einfachster Construction betrieben, und werden für dieses Jahr 292 Meilen, 1825 450 Meilen und für das Jahr 1828 517 Meilen angegeben. Mit Eröffnung der Liverpool-Manchester Bahn treten die gleichzeitig für Personen- und Gütertransport bestimmten Bahnen neben den reinen Materialbahnen

auf und auch bald in den Vordergrund. Beide zusammengerechnet, besass England im Jahre

1830	602	engl. M.,	theils m. Locom.	theils m. Pferden betr.
1834	868	„	„	„
1840	1.556	„	„	„
1845	2.343	„	„	„
1850	6.308	„	„	„
1855	8.116	„	„	„
1860	10.433	„	„	„

Auf diesen Bahnen liefen im Jahre 1853 schon 3942 Locomotiven, welche bis zum Jahre 1860 die Zahl 5801 erreichten.

Eine weitere Uebersicht über die Entwickelung der Eisenbahnen in den verschiedenen Ländern Europas, sowie des Bahnnetzes der ganzen Erde gewähren die folgenden Tabellen I und II, welche sammt der Tabelle III aus der interessanten Veröffentlichung: „Altes und Neues aus der Eisenbahnstatistik", von Hermann Streng, Ingenieur, Statistiker des schweizerischen Handels- und Landwirthschafts-Departements, Sonderabdruck aus der „Zeitschrift für Schweizerische Statistik" 1884, entnommen wurden; dieselben enthalten in der Regel nur die dem Personen- und Güterverkehr dienenden öffentlichen Bahnanlagen des betreffenden Landes, doch sind zuweilen ohne weitere Angabe auch Industriebahnen u. dgl. mit eingeschlossen, so dass eine volle Gleichwerthigkeit der Zahlen zur Zeit nicht vorhanden ist.

Da sich auch die Angaben der Tabelle II nur bis zum Jahre 1875 erstrecken, mag hier noch die Bemerkung Platz finden, dass zu Anfang des Jahres 1883 die Gesammtlänge der Bahnen auf der ganzen Erde zu 411.667 *km* angenommen wurden, wovon

180.137	*km*	auf	Europa,
200.316	„	„	ganz Amerika,
17.282	„	„	Asien,
5.149	„	„	Afrika
und 8.783	„	„	Australien trafen,

und dass ein einziges aus diesen Bahnen gebildetes Gleis die Erde am Aequator reichlich zehnmal umspannen würde.

Mittheilungen über die ersten eigentlichen Eisenbahnen (mit Ausschluss der reinen Materialbahnen) in den verschiedenen Ländern der Erde sind endlich in Tabelle III enthalten.

Die überwältigende Mehrzahl aller bestehenden Eisenbahnen sind sogenannte Adhäsionsbahnen, bei welchen nämlich die Zugkraft der Locomotiven vermöge der Reibung ihrer glatten Triebradumfänge auf den Schienenköpfen ausgeübt wird. Es liegt in der Natur der Sache, dass hierbei immer nur mässige Steigungen bewältigt werden können. Selbst bei den die Alpen übersetzenden internationalen Bahnlinien gehen die grössten Steigungen in der Regel nicht über 25 auf 1000 (1 : 40) und niemals über 35 auf 1000. Nur in vereinzelten Fällen, wenn die Art des Verkehrs ganz leichte Züge zu bilden gestattete, hat man schon stärkere Steigungen zur Ausführung gebracht, so z. B. bei der nur dem Personenverkehr dienenden Bahn zwischen Enghien bei Paris und Montmorency 45 auf 1000 (1 : 22·2) und in der Bahnlinie von der Stadt Zürich nach dem Uetliberg im Maximum 70 auf 1000 (1 : 14). Aber selbst mit so bedeutenden Steigungen ist nicht immer durchzukommen, besonders wenn es sich darum handelt, zwei Stadttheile von sehr verschiedener Höhenlage mit einander in Verbindung zu setzen, oder hochgelegene Aussichtspunkte dem Touristenverkehr zu erschliessen, und wenn auch die Anlage einer gewöhnlichen Eisenbahn hierbei nicht geradezu unmöglich sein sollte, so stellen sich doch in der Regel ihre Kosten wegen der bedeutenden Längenentwickelung, welche sie erhalten muss, unverhältnissmässig hoch.

Man hat deshalb für solche Fälle besondere Formen von Steilbahnen (Bergbahnsysteme) ausgebildet, welche der Uebersicht halber hier kurz besprochen werden müssen.

Bei einem Theil derselben kommen ebenfalls Locomotiven zur Verwendung, deren Adhäsion jedoch nicht (oder nur zum Theil) durch gewöhnliche Triebräder, sondern mit Hilfe besonderer künstlicher Vorkehrungen erzeugt wird. Vor Allem gehören die **Zahnradbahnen** hierher, welche schon im Jahre 1812 in England aufkamen, und auch einige Zeit im Betriebe standen, bis man sich überzeugt hatte, dass bei den schwachen

Tabelle I.

Entwickelung des Bahnnetzes in Europa 1825—1875.

Jahrfünft	England	Frankreich	Belgien	Deutschland	Oesterreich	Russland	Italien	Holland	Dänemark	Ungarn	Schweiz	Spanien	Portugal	Schweden	Norwegen	Türkei	Rumänien	Griechenland	Luxemburg
	40																		
1825	40																		
	51	**30**																	
1830	91	30																	
	162	**111**	**19**	**6**	**13**														
1835	253	141	19	6	13														
	1095	**285**	**314**	**462**	**130**	**27**		**17**											
1840	1348	426	333	468	143	27		17											
	2732	**449**	**243**	**1659**	**755**	**116**	**127**	**139**	**31**	**34**	**2**								
1845	4080	875	576	2127	898	143	127	156	31	34	2								
	6573	**2125**	**278**	**3728**	**392**	**457**	**298**	**23**	**0**	**185**	**23**	**27**							
1850	10653	3000	854	5855	1290	500	425	179	31	219	25	27							
	2669	**2526**	**478**	**1969**	**153**	**544**	**484**	**135**	**0**	**331**	**185**	**417**	**35**	**41**	**68**				
1855	13322	5526	1332	7824	1443	1044	909	314	31	550	210	444	35	41	68				
	3465	**3918**	**374**	**3263**	**1433**	**546**	**1091**	**74**	**80**	**1049**	**843**	**1205**	**33**	**489**	**0**	**66**			
1860	16787	9444	1706	11087	2876	1590	2000	388	111	1599	1053	1649	68	530	68	66			
	4595	**4146**	**543**	**2812**	**706**	**2336**	**2034**	**474**	**307**	**515**	**269**	**3110**	**632**	**772**	**210**	**0**	**37**		
1865	21382	13590	2249	13899	3582	3026	4034	862	418	2114	1322	4759	700	1302	278	66	37		
	2125	**4172**	**747**	**4765**	**2410**	**7314**	**2139**	**454**	**346**	**1347**	**98**	**534**	**19**	**431**	**90**	**568**	**399**	**10**	**272**
1870	23507	17762	2996	18664	5992	11240	6173	1316	764	3461	1420	5293	719	1733	368	634	436	10	272
	3683	**2151**	**623**	**9287**	**4242**	**8187**	**1529**	**393**	**506**	**2923**	**487**	**850**	**315**	**2254**	**155**	**970**	**814**	**0**	**0**
1875	27190	19913	3619	27951	10234	19427	7702	1709	1270	6384	1907	6143	1034	3987	523	1604	1250	10	272

Die Zahlen bedeuten Kilometer; fett gedruckt sind die Zunahmen im Jahrfünft, die anderen Zahlen geben den Bestand an eröffneten Linien am Ende der Zeitabschnitte.

Tabelle II.

Entwickelung des Bahnnetzes der Erde 1825—1875

Jahrfünft	Europa	Nordamerika	Central- und Südamerika	Asien	Afrika	Australien	Erde
	km	*km*	*km*	*km*	*km*	*km*	*km*
1825	40						40
	81						**147**
1830	121	66					187
	311	**1701**					**2012**
1835	432	1767					2199
	2330	**2767**	**211**				**5408**
1840	2762	4534	211				7507
	6290	**2921**	**207**				**9418**
1845	9052	7455	418				16925
	14008	**7132**	**—**				**21140**
1850	23060	14587	418				38065
	10037	**16952**	**473**	**251**	**146**	**55**	**27914**
1855	33097	31539	891	251	146	55	65979
	17969	**21281**	**261**	**1118**	**299**	**308**	**51263**
1860	51066	52820	1152	1369	445	363	117242
	17472	**7364**	**1154**	**4256**	**391**	**484**	**27094**
1865	74538	60184	2306	5625	836	847	144336
	28266	**29520**	**2161**	**2666**	**946**	**1035**	**64594**
1870	102804	89704	4467	8291	1782	1882	208930
	39186	**38910**	**3306**	**3719**	**693**	**1555**	**87369**
1875	141990	128614	7773	12010	2475	3437	296299

Die fett gedruckten Kilometerzahlen sind die Zunahmen im Jahrfünft, die übrigen geben den Bestand an eröffneten Linien am Ende der betreffenden Zeitabschnitte.

Tabelle III.

Die ersten Eisenbahnen in verschiedenen Ländern und Staaten.

Staat oder Land	Eröffnungstag	Strecke	Länge *km*	Bemerkungen
England	27. September 1825	Stockton—Darlington	41	Locomotivbahn
Oesterreich	— September 1828	Budweis—Kerschbaum	64·5	Pferdeb., umgeb. 1871
Frankreich	1. October 1828	St. Etienne—Andrézieux	18	Pferdebahn
Amerika, Ver. Staaten	28. December 1829	Baltimore—Ellicots-mills	24	
Belgien	5. Mai 1835	Brüssel—Mecheln	20	
Deutschland	7. December 1835	Nürnberg—Fürth	6	Locomotivbahn
Frankreich	26. August 1837	Faris—St. Germain	19	Erste Locomotivbahn
Oesterreich	17. od. 23. Nov. 1837	Floridsdorf—Deutsch-Wagram	13·1	K. Ferdinands-Nordb.
Cuba	— 1837	Habana—Guines	50	
Russland	4. April 1838	Petersburg—Zarskoye-Selo	27	
Niederlande	— September 1839	Amsterdam—Harlem	17	
Italien	3. October 1839	Neapel—Portici	8	
Schweiz	15. Juni 1844	Basel—St. Louis	1·9	Erste Linie a. Schweiz. Gebiet
Dänemark	19. od. 18. Sept. 1844	Altona—Kiel	374	
Jamaica	21. November 1845	Kingston—Spanish-Town—St. Angil	25	
Schweiz	9. August 1847	Zürich—Baden	23·3	
Spanien	30. October 1848	Barcelona—Mataro	28	
Canada	— Mai 1850	Strecke d. St. Lawrence u. Industrial R. R.	19	
Mexico	— 1850	Veracruz—Medellin	?	
Schweden	— 1851	Christinehamn—Sjoeaeudan	12	
Peru	— 1851	Lima—Callao	13	
Chili	— Januar 1852	Caldera—Copiapo	89	
Ostindien	18. od. 19. April 1853	Bombay—Tannah	35	
Norwegen	— Juli 1853	Christiania—Stroemmen	18	
Portugal	— 1854	Lissabon—Carregado	36	
Brasilien	29. od. 30. April 1854	Porta de Mana—Reiz da Serra	18	
Victoria	14. September 1854	Melbourne und Hobsons Bay	10	Erste Bahn in Australien
Columbia	27. od. 28. Jan. 1855	Aspinwall—Panama	76	
New-South-Wales	25. September 1855	Sydney—Parramatta	23	
Aegypten	— Januar 1856	Alexandria—Kairo	211	
Südaustralien	21. April 1856	Adelaide—Port Adelaide	12	
Natal	26. Juni 1860	D'Urban—Landungsplatz	3	
Türkei	5. od. 4. Oct. 1860	Küstendje—Cernavoda	66	
Kleinasien	24. December 1860	Smyrna—Trianda	43	Von Engländern erbaut
Cap	13. Februar 1862	Capstadt—Eerste River	34	Theil d. Linie Capstadt—Wellington 93 *km*
Algier	15. August 1862	Algier—Blidah	51	
Argentinien	1. December 1862	Buenos-Ayres—Belgrano	8	
Paraguay	1. October 1863	Asuncion—Itangua	40	
New-Zealand	1. December 1863	Christchurch—Lyttelton	2	
British-Guiana	1. September 1864	Georgetown—Mahaica	32	Theil von Georgetown—Neuamsterdam 96 *km*
Queensland	30. Juli 1865.	Ipswich—Dalby	64	
Mauritius	— 1865	Northern R. w.	50	
Venezuela	— Februar 1866	Puerto Caballo—Palito	?	
Java	9. od. 10. Aug. 1867	Samarang—Tangveng	79	
Tahiti	— 1868	Punaunja—Terapena Bay	4	
Uruguay	1. Januar 1869	Montevideo—las Pedras	18	
Griechenland	18. Februar 1869	Athen—Pyräus (Hafen)	10	
Rumänien	31. October 1869	Giurgewo—Bukarest	67	
Tasmania	6. Februar 1870	Launceston und Western R. R.	69	
Bolivia	3. December 1870	Sabanilla—Baranquilla	30	
Kaukasus	14. August 1871	Poti—Kutais	84	
Honduras	25. September 1871	Porta Caballo—San Jago	60	
Japan	12. Juli 1872	Jeddo—Yokohama	29	
Tunis	1. September 1872	Tunis—Goletta	?	
Westaustralien	— 1873	Parrahdale—Rockingham	64	
Costarica	— 1874	Alajuela—Cartago	47	
China	30. Juni 1876	Shanghai—Kangwan	?	1877 zerstört

Steigungen der damals in Frage stehenden Linien Triebräder mit glatten Umfängen allein vollkommen ausreichend seien. Etwa um die Mitte des Jahrhunderts tauchten sie wieder in Amerika auf, und in Europa verschaffte ihnen Riggenbach Anfang der Siebziger Jahre erneute Anerkennung durch Erbauung der berühmten Bergbahnen auf den Rigi am Vierwaldstätter See. Seitdem sind sie mit mancherlei Verbesserungen wiederholt zur Ausführung gekommen. Die Locomotive greift bei ihnen mit einem durch Dampf betriebenen Zahnrad in eine Zahnstange ein, welche in der Achse des Gleises nach der ganzen Länge desselben verlegt ist; daneben wird auch öfters noch die Adhäsion glatter Triebräder auf den Schienensträngen nutzbar gemacht.

Nahe verwandt mit den Zahnradbahnen ist ein nach seinem Erfinder **Wetli** benanntes System, welches auf einer Versuchsstrecke zwischen Wädenswyl am Züricher See und dem Wallfahrtsort Einsiedeln Mitte der Siebziger Jahre zur Ausführung gelangte, jedoch in Folge eines schweren Unfalls bei der Probefahrt wieder in den Hintergrund trat. Die Locomotive besitzt hier neben den eigentlichen Triebrädern ebenfalls noch eine Art Zahnrad, ein sogenanntes Schraubenrad, welches mit jenen gekuppelt ist. Dasselbe stellt eine Walze vor, auf welcher zwei Paare, von je einem Punkt ausgehende, schraubenförmig gewundene Vorsprünge angebracht sind, die sich bei der Umdrehung der Walze an entsprechende Leitschienenstücke zu beiden Seiten der Bahnachse anlegen. Die hierdurch erzielte Wirkung ist im Grunde genommen dieselbe, als wenn man die bei den eigentlichen Zahnradbahnen senkrecht zur Gleisrichtung gestellten Zähne sowohl des Rades wie der Stange schief zu derselben annehmen würde. Zu der in Rede stehenden Gruppe ist endlich noch das, durch seine zeitweilige Verwendung am Mont Cenis bekannt gewordene System **Fell** zu zählen, bei welchem in der Mitte zwischen den gewöhnlichen Fahrschienen ein besonderer Schienenstrang eingelegt wird, an welchem ein starker Reibungswiderstand durch seitlich angepresste, wagrecht liegende Triebrollen der Locomotive erzeugt wird.

Eine zweite Gruppe der Bergbahnsysteme bilden die **Seilbahnen**, welche die verschiedenste Einrichtung zeigen und in

einfachster Form Beförderungsanstalten von Rohmaterialien darstellen. In diesem Falle wird, abgesehen von noch einfacheren Anlagen, öfters ein Drahtseil ohne Ende, welches in Abständen von 20 bis 100 *m* oder mehr durch Holzpfeiler gestützt ist und dessen Richtung dabei mit Hilfe geneigter oder liegender Rollen beliebig verändert werden kann, über 2 liegende Scheiben an den Endpunkten der Bahn geschlungen, deren eine durch eine feststehende Dampf- oder Wasserkraftmaschine in Umdrehung versetzt wird, während die andere mit einer künstlichen Spannvorrichtung in Verbindung steht. Die Transportgefässe hängen am Seil und bewegen sich mit demselben durch die ganze Bahnlänge.

In anderen Fällen werden mittelst zweier starker Drahtseile, welche am oberen Ende der Bahn fest verankert, von da über Säulen mit Consolen und Rollen geführt und am unteren Ende mit passenden Spannvorrichtungen versehen sind, zwei schwanke Gleisstränge gebildet, längs welchen die angeführten, zur Beförderung dienenden Gefässe rollen, die beladenen ab-, die leeren aufwärts. Sämmtliche Gefässe sind zu dem Zweck mittelst eines besonderen Treibseiles ohne Ende, welches einerseits über eine Trommel, andererseits über eine Scheibe läuft und durch Dampf in Bewegung gesetzt wird, mit einander verbunden.

Wichtiger wie diese zur Beförderung von Materialien dienenden Anlagen, welche übrigens noch auf andere Weise eingerichtet sein können, sind die einem Personen- oder gemischten Personen- und Güterverkehr dienenden Bahnen, bei welchen die gewöhnlichen, nur für den besonderen Zweck abgeänderten Eisenbahnfahrzeuge wie sonst auf Schienensträngen laufen, jedoch durch feststehende Dampfmaschinen mit Seilbetrieb in Bewegung gesetzt werden. Solcher Art sind die für sich bestehenden, nicht dem Zuge einer längeren Bahnlinie angehörenden hohen Steilrampen, wie eine solche beispielsweise in Budapest zur Verbindung der unteren Stadt mit der Königsburg in den Jahren 1868 bis 1870 erbaut worden ist. Das Eigenthümliche dieser Seilbahnen liegt darin, dass sie eine verhältnissmässig kurze schiefe Ebene von grosser Steilheit darstellen, auf welcher zwei durchaus gerade Gleise neben

einander angelegt sind. Auf denselben verkehren gleichzeitig auf- und abwärts gehende Personenwägen, welche in sehr verschiedener Weise mit den Seilen verbunden werden können. Bei der starken Steigung der Bahn sind besondere Sicherheitsvorkehrungen, welche im Falle eines Seilbruches u. dergl. selbstthätig zur Wirksamkeit gelangen müssen, unentbehrlich.

Neben solchen schiefen Ebenen von mässiger Länge und gerader Gleisführung giebt es andere Seilbahnanlagen von grösserer Ausdehnung und weniger einfacher Grundrissbildung. Als Beispiel hiefür können Tramwaylinien mit Seilbetrieb genannt werden, wie sie in mehreren Städten, namentlich den stark geneigten Strassen von San Francisco in Nordamerika vorhanden sind. Die Stränge eines endlosen Seiles, welches in der üblichen Weise um liegende Scheiben an den Endpunkten der Bahnstrecke geschlungen und durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wird, befinden sich in unterirdischen Canälen oder Röhren, wo sie, unter den Fahrgleisen hinlaufend, vermittelst liegender Rollen in der wechselnden Richtung derselben erhalten werden. Die Wägen werden in Verbindung mit je einem, ebenfalls eine Anzahl Steh- und Sitzplätze bietenden, sogenannten Locomotor abgelassen und kommen in Bewegung, indem letzterer mittelst eines eigenthümlichen, durch Längsschlitze der unterirdischen Röhren reichenden Mechanismus an das fortwährend in Bewegung befindliche Seil festgemacht wird, während sie durch rasche Lösung der Kuppelung und Benützung besonderer Bremsen nach Belieben angehalten werden können.

Wieder anderer Art sind jene Seilbahnstrecken, welche als Theile einer längeren Adhäsionsbahnlinie erscheinen, zur Bewältigung übermässiger Steigungen, die entweder unvermeidlich waren oder aus besonderen Erwägungen beibehalten wurden. Früher waren derartige Anlagen öfters im Betriebe, allerdings bei Steigungen, welche von den jetzt gebräuchlichen Adhäsionsmaschinen ohne Schwierigkeit bewältigt werden können, und einen eigenthümlichen, in mehrfacher Hinsicht höchst interessanten Fall stellt die London-Blackwall Bahn dar. Als nämlich diese im Inneren von London mündende Bahnlinie zur Ausführung kommen sollte, entwickelte sich bei der

von der Bahnführung betroffenen Einwohnerschaft ein bedeutender Widerstand gegen die lärmende und feuerspeiende Locomotive, und es kam so weit, dass den Unternehmern die Auflage gemacht wurde, den Betrieb ihrer Linie ohne Locomotive durchzuführen. Sie entschlossen sich daraufhin nach dem Vorschlage R. Stephenson's zu einem Seilbetrieb unter gleichzeitiger Anwendung des Signalisirungssystems von Wheatstone & Cooke, bei dessen kurz vorher erfolgten Einführung auf der Great-Western Bahn, nebenbei bemerkt, die Elektricität ihre erstmalige Verwendung für Eisenbahnzwecke gefunden hatte. Man ordnete längs der ganzen Bahnlinie ein Seil ohne Ende, von Rollen gestützt, an, dessen einer Strang zwischen den Schienen des einen Gleises hin- und in der Achse des zweiten Gleises zurücklief und setzte dasselbe durch eine starke Dampfmaschine in Bewegung. An diesem Seile wurden die Wägen in allen Bahnhöfen mittelst leicht löslicher Klemmvorrichtungen festgehängt und bei der Ankunft an ihrem Bestimmungsorte rasch losgemacht, ohne dass dabei die Bewegung des Seiles unterbrochen zu werden brauchte.

Gegenwärtig sind Seilbahnstrecken im Zuge einer gewöhnlichen Eisenbahn nur selten zur Ausführung gebracht, um so häufiger kommen sie in den neueren Projecten für Ueberschienung hoher Gebirgszüge zur Sprache. Die Einrichtung solcher Seilbahnen kann wiederum sehr verschiedenartig gedacht werden. Zuweilen legte man schon ein Seil über eine, am oberen Ende der schiefen Ebene angebrachte Scheibe, deren Durchmesser gleich dem Achsenabstand der beiden neben einander befindlichen Bahngleise war und befestigte seine Enden an zwei, gleichzeitig auf- und abwärts gehenden Bahnzügen. Die Scheibe wurde entweder durch eine feststehende Dampfmaschine in Umdrehung versetzt, oder es arbeitete eine Locomotive an jedem der beiden Züge, so dass der thalwärts gehende Zug zur ausgiebigen Unterstützung des aufwärts fahrenden diente. Wenn eine einzelne, bergab fahrende Locomotive genügend war, um in der beschriebenen Weise einen ganzen Wagenzug nach aufwärts zu befördern, so wurde eine solche zur Aushilfe in jenen Fällen bereit gehalten, wo ein zu Berg

gehender Zug an der Seilebene keine Kreuzung mit einem ihm entgegenkommenden hatte. In dieser Weise wurde z. B. noch in den letzten Jahren eine schiefe Ebene von 2·5 *km* Länge und einer Steigung von 1 : 30 zwischen Erkrath und Hochdahl auf der Bahn von Düsseldorf nach Elberfeld betrieben. In anderen Fällen wurde ein in sich zurückkehrendes Seil (ohne Ende) nach den Achsen einer Doppelbahn durch feststehende Dampfmaschinen bewegt und die verkehrenden Züge an dasselbe festgekuppelt, so dass eine Einrichtung entstand ähnlich der für die Strassenbahnen in San Francisco beschriebenen.

Je länger die in Seilbetrieb befindliche Strecke wird und je mehr Krümmungen sie enthält, desto schwerer und steifer wird das in einer der beschriebenen Arten verwendete Seil, um so grösser werden die Bewegungshindernisse desselben und um so dringender die Gefahr eines Seilbruches in Folge plötzlichen Anwachsens dieser Hindernisse. Es fällt dies dann besonders schwer in's Gewicht, wenn nur der Maschinist an der feststehenden Maschine den Gang des Bahnzuges zu regeln im Stande ist, weil er jetzt bei der grösseren Ausdehnung und den Krümmungen der Linie die Uebersicht über dieselbe mehr oder weniger verliert und deshalb nicht in der Lage ist, rechtzeitig durch Abstellen der Maschine u. dergl. einzugreifen. Zur Beseitigung dieser Missstände hat Agudio verschiedene Vorschläge gemacht, welche bis jetzt zwar nur versuchsweise zur Ausführung gekommen, hierbei aber in mancher Hinsicht als zweckmässig erfunden worden sind, so dass es vielleicht nur noch fraglich erscheint, ob sich die vorgeschlagenen Einrichtungen unter allen Witterungsverhältnissen zuverlässig erweisen werden.

Bei der ersten, zu Anfang der Sechziger Jahre an der Bahnlinie Turin-Genua ausgeführten Versuchsstrecke von 2·4 *km* Länge, mit Steigungen zwischen 1 : 37 und 1 : 31 und Krümmungen, deren Halbmesser zwischen 600 und 350 *m* lagen, war ein einzelnes Gleis angeordnet, auf welchem die Züge beider Richtungen verkehrten, und nach der Achse desselben ein starkes Seil (câble d'adhérence), welches oben befestigt und unten in entsprechender Spannung gehalten war. Das-

selbe entsprach ganz und gar der Zahnstange bei den Zahnradanlagen oder der Mittelschiene bei den Bahnen nach dem System Fell, und wurde von einem besonderen Fahrzeug (Locomoteur) in ähnlicher Weise benützt, wie das auf der Sohle mancher Flüsse verlegte Tau von dem „Remorqueur". Während aber dieser eine Anzahl Schiffe hinter sich her schleppt, schob jener den Wagenzug, dessen Ende er bildete, vor sich her in die Höhe, und während bei dem Remorqueur die Umdrehung der Seilrolle durch die auf dem Schiffe selbst angebrachte Dampfmaschine erfolgt, geschah dies beim Locomoteur Agudio's durch zwei an den Enden der Seilebene aufgestellte Maschinen vermittelst eines besonderen Seiles ohne Ende (câble moteur). Die Stärke dieses Treibseiles konnte bei solcher Einrichtung und mehreren zweckmässigen, hier nicht näher zu beschreibenden Vorkehrungen sehr gering gehalten werden, auch war einer etwaigen Ueberanstrengung desselben wirksam vorgebeugt.

Eine andere Einrichtung zeigte die am Mont-Cenis bei Lans le Bourg versuchsweise hergestellte Seilbahnstrecke Agudio's, indem an Stelle des starken Schleppseiles in der Gleisachse eine Zahnstange angeordnet war, in welche zwei liegende Zahnräder des Locomoteurs eingriffen, während auf ihn die Kraft der feststehenden Maschine (Turbine) in ähnlicher Weise wie früher, jedoch unter Verwendung zweier Seile ohne Ende, übertragen wurde. Und wieder eine andere Art Seilebene kam für die Gotthardbahn vor Ausführung in ihrer jetzigen Gestalt wiederholt in Vorschlag. Demnach sollte nur ein einziges Seil ohne Ende zur Verwendung kommen, welches durch die feststehende Dampfmaschine oder Turbine in Bewegung gesetzt und mit dem Locomoteur in solcher Weise in Verbindung gebracht werden sollte, dass auch dessen Adhäsion auf den Fahrschienen mit zur Benützung gekommen wäre.

Bisher war nur von eigentlichen Bergbahnsystemen die Rede, wie sie heutzutage in Betracht gezogen werden, wenn zur Ueberwindung sehr bedeutender Steigungen Adhäsionsmaschinen nicht mehr ausreichen. Es giebt nun auch noch andere, sogenannte Bahnsysteme, durch welche die Locomotiven

überhaupt entbehrlich gemacht und damit der ganze Arbeitsbetrag erspart werden soll, welcher zu deren eigenen Fortbewegung aufgewendet werden muss. Früher glaubte man, gerade in dieser allgemeinen Beziehung auch die Seilbahnen vortheilhaft verwenden zu können, überzeugte sich aber bald von der Unrichtigkeit dieser Annahme. Dann kamen die sogenannten **atmosphärischen Eisenbahnen** auf, welche noch in den Vierziger Jahren berufen zu sein schienen, die Locomotivbahnen gänzlich zu verdrängen, jetzt aber als vollständig abgethan betrachtet werden können. Die Fortbewegung des Bahnzuges geschah bei ihnen, indem man in einem längs dem Fahrgleis hinlaufenden Rohrstrange durch Verdünnung der Luft einen Kolben in Bewegung setzte, welcher mit einem der Wägen durch einen Arm in fester Verbindung stand. Der Rohrstrang musste demnach einen Längsschlitz erhalten und es war die schwierige Aufgabe zu erfüllen, denselben sozusagen aufschneidbar durch den Arm und zugleich luftdicht herzustellen. Die Schwierigkeit der technischen Ausführung, die übrigens immer noch besser gelang, als man hätte erwarten sollen, war dann auch ein Hauptgrund für das Scheitern des Systems. Ausserdem trug hierzu auch der Umstand bei, dass es wegen der Kleinheit der Kolbenfläche nur eine geringe Leistungsfähigkeit besass und bei nur einigermassen verwickelten Betriebsverhältnissen auf den Bahnhöfen gänzlich versagte.

Mehr Aussicht auf einen künftigen Erfolg haben wohl die unter dem Namen **„pneumatische Bahnen"** begriffenen Anlagen, wobei die Wägen selbst in einer geschlossenen Tunnelröhre auf einem gewöhnlichen Fahrgleis durch einseitigen Luftdruck in Bewegung gesetzt werden, so dass man den vordersten oder hintersten Wagen eines Bahnzuges als Kolben bezeichnen könnte. Bis jetzt ist diese Art der Fortbewegung hauptsächlich zur Depeschenbeförderung unter Anwendung von Röhren mit etwa 60 bis 70 *mm* Weite benützt worden (Rohrpost), in vereinzelten Fällen auch bei der Packetpost, indem man gusseiserne Röhren von ungefähr 0·5 bis 1·5 *m* Durchmesser verwendete, zur Personenbeförderung jedoch bis jetzt nur versuchsweise. Der erste, berühmt gewordene Versuch in dieser Beziehung wurde im Jahre 1864

im Park des Krystallpalastes zu Sydenham-London angestellt. Man erbaute dort einen gemauerten Tunnel, 3 *m* hoch, 2·75 *m* breit, in einer Länge von 548 *m*, mit grössten Steigungen von 60 auf 1000 und Krümmungen von 170 *m* Halbmesser. Auf dem gewöhnlichen Bahngleis desselben lief ein Wagen für 30 bis 35 Personen, an dessen hinteren Seite ein Rahmenwerk angebracht war, welches den Tunnelquerschnitt an sich schon nahezu und mit Hilfe eines dichten bürstenartigen Ansatzes vollständig ausfüllte, so dass sich eine Kolbenfläche von bedeutender Grösse ergab, gegen welche der Luftdruck wirkte. Letzterer wurde durch einen grossen Ventilator ausgeübt, nachdem der Wagen eingefahren und der Tunnel luftdicht abgeschlossen worden war; bei der Rückfahrt saugte der Ventilator die Luft hinter dem Wagen aus. Die Fahrt dauerte nur 50 Secunden.

Der Versuch konnte als ein gelungener bezeichnet werden, insoferne durch ihn die Möglichkeit dargethan wurde, bei der grossen Druckfläche des Wagens auch starke Steigungen und scharfe Krümmungen mit Sicherheit zu überwinden, doch fehlt bis heute noch näherer Aufschluss darüber, welche Bahnlängen für einen derartigen Betrieb noch zulässig seien, ob sich nicht vielleicht Bau- und Unterhaltungskosten der Tunnelröhren unverhältnissmässig hoch stellen würden u. dergl. m. Von den verschiedenen, in der Folgezeit aufgetauchten Projecten pneumatischer Bahnen sind einzelne, z. B. in New-York zwischen Warren-Street und North-River, wirklich in Bau genommen worden, zum Betrieb in der ursprünglich beabsichtigten Weise scheint es jedoch bei keiner derselben gekommen zu sein.

In neuester Zeit endlich werden die elektrischen Bahnen als Mittel zur Bewältigung des Personenverkehres in stark belebten städtischen Strassen und auch zur Beförderung von Gütern öfters genannt, wenn sie auch bis jetzt noch nicht eine so allgemeine Anerkennung gefunden haben, wie man noch vor einigen Jahren glaubte erwarten zu dürfen. Die jetzt übliche Einrichtung besteht darin, dass jeder Wagen mit einer elektro-dynamischen Maschine versehen ist, durch welche die von einer entfernten Elektricitätsquelle aus längs

den Schienensträngen oder mittelst einer besonderen Leitung zugeführte, oder aber die von einer im Wagen enthaltenen Quelle, dem sogenannten Accumulator, gelieferte Elektricität in Kraft umgesetzt wird, welche dann zur Fortbewegung des Fahrzeuges dient. Den ersten Versuch mit diesem neuen Bewegungsprincip machte Siemens im Jahre 1879 auf der Gewerbeausstellung zu Berlin und die erste elektrische Bahnstrecke, nämlich zwischen Kadettenhaus und Bahnhof zu Lichterfelde bei Berlin, kam durch die Firma Siemens und Halske zur Ausführung. Gegenwärtig bestehen ungefähr 80 *km* elektrische Bahnen auf der Erde, es ist jedoch zu erwarten, dass dieselben ihrer grossen Vorzüge wegen, die besonders bei der Verwendung in Grossstädten hervortreten, noch eine Zukunft haben werden.

Wie schon oben ausgesprochen worden ist, bilden die Bahnen besonderen Systems einen verschwindend kleinen Theil in dem riesengrossen Netze der Eisenbahnlinien auf der Erde. Als eigentliches Culturwerkzeug der Neuzeit erscheint die Adhäsionsbahn, deren Locomotiven Zugkräfte nach Massgabe der zwischen ihren Triebrädern und den Schienenköpfen entstehenden Reibung auszuüben vermögen. Auch sie gestaltet sich verschieden je nach der Aufgabe, welche sie erfüllen soll, so dass eine Classification vorgenommen werden muss, wobei mancherlei Gesichtspunkte festgehalten werden können. Im Folgenden sollen

1. Haupt- oder Vollbahnen,
2. Nebenbahnen oder Bahnen untergeordneter Bedeutung, auch Local-, Vicinal- und Secundärbahnen genannt,

unterschieden werden.

Zu den ersteren zählen vor Allem jene Linien, welche hauptsächlich dem auf grössere Strecken durchgehenden Verkehre, dem Weltverkehre, zu dienen haben, welche zwei gegebene Endpunkte auf dem kürzesten Wege verbinden, bei deren Anlage man in erster Linie an möglichste Verringerung der seinerzeitigen Betriebskosten denkt und diesen Zweck selbst mit bedeutenden Baukosten zu erreichen sucht. Auch gehören hierher jene Bahnlinien, welche zwischen den wichtigeren Verkehrsmittelpunkten eines Landes ausgeführt werden, um

den Hauptverkehr in demselben zu bewältigen, wobei sie natürlich auch am durchgehenden Verkehre mehr oder weniger betheiligt sein können.

Die Vollbahnen sind in vielen Ländern Europas als ausgebaut zu betrachten, insoferne es in denselben nur wenige Linien mehr giebt, deren Verkehrsverhältnisse den bedeutenden Anlage- und Betriebskosten einer Vollbahn angemessen wären, ja man ist in dieser Hinsicht schon zu weit gegangen, indem man zuweilen Hauptbahnen anlegte, wo nur Localbahnen am Platze gewesen wären, so dass man sich später veranlasst sah, einen sehr einfachen, den hohen Ausführungskosten keineswegs entsprechenden Betrieb einzurichten. Wenn in solchen Ländern auch heute noch Vollbahnen zur Ausführung kommen, so handelt es sich gewöhnlich um militärisch wichtige Verbindungen. Hiernach sind nun auch die Nebenbahnen ziemlich leicht zu kennzeichnen. Wir rechnen zu ihnen vor Allem jene Bahnanlagen, welche den Zweck haben, abgelegene Gegenden und Orte von geringerer Bedeutung mit einem bestehenden Hauptbahnnetz in Verbindung zu setzen, um damit auch den Bewohnern der von Natur weniger begünstigten Landschaften die Vortheile des verbesserten Verkehrsmittels zuzuwenden, wobei allerdings auch öfters nicht zu verachtende Zufuhrwege für die Hauptlinien gewonnen werden. Solche Nebenbahnen haben gewöhnlich nur eine geringe Länge oder sind Zweigbahnen, wenn sie nur mit einem Ende an eine Bahn höherer Ordnung anschliessen. Bei ihrer ausgesprochenen Bestimmung, in erster Linie einem kleineren Landestheile Nutzen zu bringen, haben dessen Bewohner auch besondere Opfer, meist in Form von Grundabtretungen zu leisten, wärend der Staat sich je nach den besonderen Verhältnissen mit Zuschüssen irgend welcher Art betheiligt.

Von ihnen verschieden, aber dennoch nahe verwandt, sind andere Nebenbahnen, wie sie in ausgedehnten, für sich abgeschlossenen Staaten mit dünngesäeter Bevölkerung, wie z. B. in Schweden, Norwegen, Russland und einzelnen Theilen Amerikas bestehen. Sie haben im Gegensatze zu den erstbesprochenen gewöhnlich eine beträchtliche Längenentwickelung und ein ausgesprochenes staatliches Interesse, auch erscheinen sie zuweilen als Vorläufer höher entwickelter Bahnen.

Bei allgemeinerer Auffassung des Begriffes „Nebenbahnen" rechnet man zu ihnen endlich auch noch die sogenannten Industriebahnen, d. h. jene Gleiswege, welche als Privatunternehmungen zur Verbindung von Fabriken oder landwirthschaftlichen Districten mit den Hauptbahnen oder anderen Verkehrsanstalten ausgeführt werden, sowie die dem Verkehre innerhalb der Städte oder zwischen diesen und ihren Vororten dienenden „Tramways". Beide stehen jedoch mit den früher besprochenen Nebenbahnen nicht ganz auf gleicher Stufe, insbesondere auch, weil die einen nur dem Güter-, die anderen ausschliesslich dem Personenverkehre dienen; sie werden deshalb auch gewöhnlich nicht in die statistischen Angaben über Bahnlängen u. dgl. mit aufgenommen. Da jedoch gerade in dieser Hinsicht wenig Uebereinstimmung herrscht, so sind die betreffenden Zahlenangaben nicht immer gleichwerthig und Abweichungen zwischen den, bei verschiedenen Gelegenheiten gemachten Angaben können leicht vorkommen. Die eigentlichen öffentlichen Nebenbahnen zur Beförderung von Personen und Gütern werden bei dem mässigen Ortsverkehre, auf welchen sie in der Regel allein angewiesen sind, nur dann noch einigermassen nutzbringende Unternehmungen darstellen können, wenn die Bau- und Betriebskosten derselben ein gewisses Mass nicht überschreiten. Hierzu ist es aber unbedingt nothwendig, alle Bau- und Betriebseinrichtungen, auch auf Kosten der Bequemlichkeit der Reisenden, auf das unbedingt Nothwendigste zu beschränken. Unerlässlich ist es, die sonst auf den Hauptbahnen übliche Fahrgeschwindigkeit beträchtlich zu erniedrigen, soweit, dass jederzeit und nahezu ebenso schnell wie auf den städtischen Pferdebahnen angehalten werden kann. Nur dann ist es möglich durch Ausführung leichterer Geleise und Fahrzeuge, durch Verminderung oder gänzliche Beseitigung aller Sicherungsvorkehrungen, sowie möglichste Vereinfachung der Bahnbewachung die Gesammtkosten wesentlich zu verkleinern. Die Fahrgeschwindigkeit kann in dieser Hinsicht gerade als das bezeichnende Merkmal der Nebenbahn gelten. Von grösster Wichtigkeit endlich ist die Wahl eines passenden Spurmasses, d. h. des richtigen Abstandes der Schienenstränge von einander. Thatsächlich kommt bei den bestehenden Nebenbahnen

sowohl die bei den Vollbahnen übliche sogenannte „Normalspur,"[1]) wie auch verschiedene kleinere Spurmasse, welche unter dem Namen „Schmalspur" begriffen zu werden pflegen, vor. Es ist nicht schwer einzusehen, dass sich die Baukosten einer Bahn im Allgemeinen mit dem Spurmass vermindern werden. Indem nämlich eine kleinere Spurweite kürzere Fahrzeuge bedingt und deshalb wieder kleinere Halbmesser der Bahnkrümmungen gestattet, wird es leichter möglich, bei der Tracirung solche Bodenstellen zu umgehen, wo schon die Grunderwerbung höhere Kosten in Anspruch nehmen würde, oder welche besonders kostspielige Erdarbeiten und Kunstbauten nothwendig machten; die Bahnlinie lässt sich bei Anwendung der Schmalspur „den äusseren Bodenformen besser anpassen". Es kommt dieser Umstand ganz besonders bei jenen Nebenbahnen in Betracht, welche mit Benützung eines bestehenden Landstrassenkörpers ausgeführt werden (Strassenbahnen), indem man auf demselben unter möglichster Beibehaltung der Steigungs- und Krümmungsverhältnisse und ohne Umgehung der Ortschaften mit ihren meistens scharf gekrümmten Strassen ein Schienengleis verlegt. Bei Anwendung der Schmalspur ergeben sich ausserdem auch noch Kostenminderungen, weil unter sonst gleichen Umständen die Abmessungen aller Erd- und Kunstbauten, der Bahnhöfe, mancher Gebäulichkeiten u. s. w. kleiner wie bei der Normalspur ausfallen, wenn auch nicht direct im Verhältnisse der Spurweitenminderung. Trotz alledem liegt jedoch die Sache nicht derart, dass man ganz allgemein aussprechen könnte, bei Nebenbahnen sei die Schmalspur der Normalspur in der Regel vorzuziehen. Lange ist es freilich noch nicht her, dass ein Theil der Eisenbahn-Ingenieure den Grundsatz aufstellte, eine genügende Minderung der Gesammtkosten könne nur durch Annahme der engen Spur erzielt werden, während ein anderer Theil ebenso unbedingt die Normalspur für jene Nebenbahnen empfahl, welche an Hauptbahnen anschlossen, weil nach seiner Meinung das ausserdem erforderliche Umladen der Güter jedenfalls übermässige Kosten veranlassen würde. Gegenwärtig möchten sich wohl die meisten

---

[1]) Näheres hierüber siehe: Zweiter Theil, Nr. 16.

Fachleute zu der Anschauung bekennen, dass die Frage, ob für Nebenbahnen die gewöhnliche oder eine engere Spur zu wählen sei, im Allgemeinen überhaupt nicht entschieden werden könne, dass vielmehr je nach Umständen bald die eine, bald die andere am Platze sei und in jedem vorliegenden Falle auf Grund bestimmter Angaben über Art und Grösse des Verkehrs die Entscheidung getroffen werden müsse, die dann allerdings sich mit voller Sicherheit ergebe.

Es ist hier nicht der Ort, den höchst interessanten Gegenstand, über welchen die letzten Jahrzehnte eine ganze Bibliothek von Fachschriften geliefert haben, weiter zu verfolgen, nur noch einige Sätze mögen angeführt werden, zu welchen der bekannte Ingenieur M. M. Freiherr v. Weber am Schlusse seiner Schrift: „Die Praxis des Baues und Betriebes der Secundärbahnen etc.", Weimar, in zweiter Auflage 1873, gelangte:

1. „Als specifisch dem Wesen der Verkehre entsprechend, wird das Schmalspur-Eisenbahnsystem überall da zweckmässige Anwendung finden, wo es gilt, isolirte Verkehre einfacher Natur, besonders aber Transporte von Materialien zu bewältigen, die sich in beliebiger Form und in beliebigen Lastabschnitten verladen lassen (Erz, Holz, Steine etc.) und deren Ueberführung auf andere Transportmittel mit nur sehr wenig Aufwand an manueller und administrativer Arbeitskraft und an Betriebsmanipulation, ferner mit wenig Gefahren für die Transportgegenstände und äusserst geringer Verminderung ihrer Qualität bewirkt werden kann."

2. „Jede Zunahme der Complication der Verkehre vermindert die specifische Eignung des Schmalspursystems für die Besorgung derselben."

3. „Der Personen- und Thierverkehr, die militärische Leistung sind dem Schmalspurbahnsystem incongruent."

4. „Die Anlage schmalspuriger Bahnen für complicirtere, vielleicht sogar aus Personen- und Güterverkehr zusammengesetzte Verkehre motivirt sich höchstens da, wo die Gesammtverkehrsmassen sehr gering sind, auch auf lange Zeit hin sich nicht wesentlich vermehren können, der Personenverkehr nur einen sehr bescheidenen Raum darinnen einnimmt und das

reisende Publicum in Bezug auf Wagenaccommodation nicht verwöhnt ist."

5. „Absolut der Natur des Systems entgegen ist dessen Anwendung auf Linien, bei denen ein complicirter Güterverkehr und der Personenverkehr gleichwerthig auftritt, oder gar der Schwerpunkt der Rentabilität des Unternehmens in letzterem gesucht werden muss."

6. „Ueberall da, wo eine Modification der Verkehre nach Natur, Masse oder Complication derselben, oder gar der Hinzutritt des Personen- und Thiertransportes in fernerer oder näherer Aussicht steht, ist die Anlage einer Normalspurbahn, sie sei so leicht und wohlfeil als sie wolle (z. B. unter Anwendung gebrauchter Oberbaumaterialien etc.) ausgeführt, immer der einer Schmalspurbahn vorzuziehen."

Einen grossen Einfluss auf die Ausbildung der Eisenbahnen in Mitteleuropa hat der „Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen" genommen, eine Körperschaft einzig in ihrer Art, welche bei voller Freiheit ihrer Mitglieder doch die weitestgehenden Zugeständnisse derselben im Interesse der Allgemeinheit durchzusetzen im Stande war. Derselbe ist aus dem „Verband der preussischen Eisenbahndirectionen" hervorgegangen, welcher am 10. November 1846 auf Vorschlag der Berlin-Stettiner Eisenbahngesellschaft zu Stande kam, die meisten der damaligen, ausschliesslich in Privathänden befindlichen Eisenbahnen Preussens in sich schloss und den ausgesprochenen Zweck verfolgte, „durch gemeinsame Berathungen und Handeln das eigene Interesse und dasjenige des Publicums zu fördern." Die Zweckmässigkeit der Vereinigung trat so klar zu Tage, dass schon ein Jahr später die Ausdehnung derselben auf alle deutschen Eisenbahnverwaltungen, soweit dieselben ihren Wohnsitz in Deutschland hatten, beschlossen wurde und dieser Beschluss sodann im Jahre 1858 eine Erweiterung dahin erfuhr, dass alle Verwaltungen Mitglieder des Vereines werden könnten, welche ihren Wohnsitz in einem zum deutschen Bundesgebiet gehörigen oder unter einer deutschen Bundesregierung stehenden Lande hätten, jedoch nur bezüglich der in den bezeichneten Ländern befindlichen Bahnen. Nach verschiedenen Erläuterungen hierzu, welche im Laufe der Zeit

sich als nothwendig herausstellten, steht nun der Verein allen im Deutschen Reiche und Oesterreich-Ungarn, sowie in Luxemburg befindlichen Locomotiv-Eisenbahnen offen, welche nicht blos einem localen Zwecke, sondern dem allgemeinen öffentlichen Bedürfnisse des Personen- und Güterverkehrs dienen und mit einer Vereinsbahn in Verbindung stehen. Ja im Jahre 1864 ging man noch einen Schritt weiter und eröffnete auch jenen nichtdeutschen Bahnen die Möglichkeit des Eintrittes, welche mit deutschen Bahnen in directem Verkehre stehen. Dem entsprechend wuchs der Verein mehr und mehr, so dass ihm Mitte Juli 1883

51 deutsche Verwaltungen mit einer Betriebslänge v.	35.295·05 *km*	
36 österr.-ung. „ „ „ „ „	19.755·54 „	
1 luxemburgische Verw. „ „ „ „	146·24 „	
8 niederländ. Bahnen „ „ „ „	2.810·18 „	
1 rumänische Verwaltung, nämlich die Generaldirection der k. rumän. Staatseisenbahnen mit	1.165·40 „	
1 russische Verwaltung, die Direction d. Warschau-Wiener und Warschau-Lemberger Eisenbahn mit	506·42 „	
zusammen	59.678·83 *km*	

angehörten.

Aus der umfangreichen Vereinsthätigkeit, welche sich auf alle Gebiete des Eisenbahnwesens erstreckt, sei hier nur noch das die technische Seite Betreffende kurz hervorgehoben. Gleich anfangs hatte der Verein als eine seiner wichtigsten Aufgaben die Herbeiführung möglichster Einheitlichkeit in allen Bau- und Betriebseinrichtungen erkannt und zu dem Zwecke schon frühe Technikerversammlungen angeordnet, wo die Vertreter sämmtlicher Bahnverwaltungen zu gemeinschaftlicher Berathung zusammenkommen sollten. Es ist wohl kaum nöthig darauf hinzuweisen, welch hohe Bedeutung eine solche Einrichtung haben musste, bei welcher nun die vielseitigen, unter den verschiedensten Umständen gewonnenen Erfahrungen nach einheitlichen Gesichtspunkten gesammelt und von hervorragenden Technikern verschiedener Schule besprochen wurden. In der That liefern diese Technikerversammlungen eine Menge höchst werthvollen Materiales und dessen Veröffentlichung in

den Supplementbänden des „Organs für die Fortschritte des Eisenbahnwesens in technischer Beziehung" bildet eine Hauptquelle für die Ingenieurwissenschaft. Gleiches gilt für die erwähnte Zeitschrift selbst, welche von Heusinger v. Waldegg im Jahre 1845 begründet, nach dessen 1885 erfolgtem Tode von den Herren Funk, Geh. Reg.-Rath etc. in Köln und Professor Barkhausen in Hannover herausgegeben, seit dem 1. Januar 1864 neben der „Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen" als Organ des Vereins gilt. Die bis jetzt abgehaltenen Technikerversammlungen sind aus folgender Zusammenstellung zu ersehen:

1. Versammlung zu Berlin 18. bis 26. Februar 1850,
2. „ „ Wien 18. bis 26. Mai 1857,
3. „ „ Dresden 11. bis 16. Sept. 1865,
4. „ „ München 28. bis 30. Sept. 1868,
5. „ „ Hamburg 26. bis 29. Juni 1871,
6. „ „ Düsseldorf 14. bis 15. Sept. 1874,
7. „ „ Constanz 26. bis 29. Juni 1876,
8. „ „ Stuttgart 18. bis 20. Juni 1878,
9. „ „ Graz 19. bis 20. Mai 1882,
10. „ „ Berlin 14. bis 15. Juli 1884.

Das Ergebniss der ersten Versammlung war ein Entwurf zu „Grundzügen für die Gestaltung der Eisenbahnen Deutschlands", in der zweiten gelangte der erste Vorschlag zu einem Normallichtprofil (siehe Th. II, Nr. 17) zur Annahme, die Dresdener Versammlung lieferte das im I. Supplementband des Organs f. d. F. d. E. veröffentlichte reiche Erfahrungsmaterial über eine Reihe technischer Fragen und auf ihre Veranlassung wurde in dem II. Supplementband eine werthvolle Veröffentlichung der neuesten Oberbauconstructionen der dem Vereine angehörigen Eisenbahnen veranstaltet. Die Berathungsergebnisse der Münchener Versammlung wurden im III. Supplementband niedergelegt und die ebenfalls zu dieser Versammlung eingeforderten Grundrisse bewährter neuer Bahnhofsanlagen sammt einigen erst später eingelaufenen Plänen dieser Art in dem erst 1870 veröffentlichten IV. Supplementband. Die Versammlungen zu Hamburg, Constanz und Graz brachten neue Redactionen der schon in Wien und

Dresden revidirten „Grundzüge für die Gestaltung der Eisenbahnen Deutschlands", welche seit der Dresdener Versammlung unter dem Namen „Technische Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen über den Bau und die Betriebseinrichtungen der Haupteisenbahnen" bekannt sind und in der Folge immer kurz mit „T. V." bezeichnet werden sollen. Die Berathungsergebnisse der Düsseldorfer, Stuttgarter und Berliner Versammlung füllen die Supplementbände Nr. V, VI und IX und in Constanz wurde ausserdem der erste Entwurf der „Grundzüge für die secundären Bahnen" angenommen, deren Verabfassung schon die Münchener Versammlung beschäftigt hatte. Endlich ist noch zu erwähnen, dass gemäss einem Beschlusse der Versammlung zu Constanz und auf Grund umfangreicher Arbeiten der Technischen Commission des Vereines, sowie einer für den besonderen Zweck erwählten Subcommission im Jahre 1880 der VII. Supplementband des Organs: „Die Eigenschaften von Eisen und Stahl. Mittheilungen über die auf Veranlassung der Technischen Commission des Ver. D. E. V. angestellten Versuche nebst Entwürfen zu den Bedingungen für die Lieferung von Schienen, Achsen und Radreifen" erschien und dass der VIII. Supplementband mit dem Inhalte: „Die Strassen- und Zahnradbahnen. Mittheilung von Erfahrungsresultaten über Bau und Betrieb derselben." Wiesbaden 1882, in Folge eines Antrages der kaiserlichen Generaldirection der Eisenbahnen in Elsass-Lothringen durch eine besondere Abtheilung der Commission für technische und Betriebsangelegenheiten zusammengestellt und veröffentlicht wurde.

ERSTER THEIL.

Unterbau.

Der Unterbau, das die Gleise tragende eigentliche Erdbauwerk, setzt sich aus künstlich hergestellten Erdanhäufungen (Dämmen) und aus natürlich gelagerten, durch Abtragung von Erdkörpern blossgelegten Massen (Einschnitten) zusammen. Form und Abmessungen dieser Bauwerke hängen, abgesehen von den besonderen Zwecken, welche mit ihnen erzielt werden sollen, von den physikalischen Eigenschaften der Erdmassen ab, aus welchen sie bestehen; es empfiehlt sich daher, zuerst allgemeine Betrachtungen über das in Frage kommende Baumaterial anzustellen und dann erst auf die Dämme und Einschnitte selbst überzugehen.

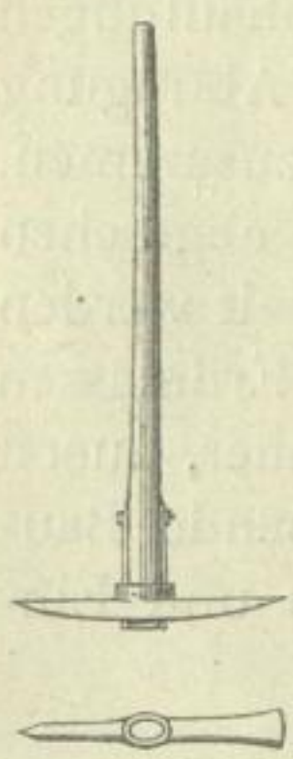
I. Allgemeines aus der Erdbaukunde.

1. Die Erdmassen, Eigenschaften derselben. Unter Erdmassen in weiterem Sinne sind alle Theile der festen Erdrinde zu verstehen, welche nach rein technischen Gesichtspunkten öfters in ungebundene und gebundene Massen eingetheilt werden, je nach der Schwierigkeit, welche das Lösen derselben aus ihrer natürlichen Lagerung, ihr Abgraben, verursacht. Zu ersteren rechnet man alle weichen oder nur wenig festen, zusammenhängenden Massen, sowie alle lockeren oder durch ein Bindemittel nicht allzustark verkitteten Anhäufungen, zu deren Lösung höchstens noch das in Fig. 1 dargestellte, in manchen Gegenden unter dem Namen „Spitzpickel" bekannte Werkzeug erforderlich ist. Die gebundenen Massen schliessen sodann alle geschichteten und ungeschichteten

Gesteine in sich, deren Lösung nicht ohne Benützung von Schlägeln, Keilen, Brecheisen oder Sprengmitteln verschiedener Art geschehen kann.

Im Gegensatze hierzu bezeichnet der Name Erdmasse oder Erdart in engerem Sinne nur einen Theil der ungebundenen Massen, nämlich solche Anhäufungen mineralischer (in einzelnen Fällen mit pflanzlichen Resten vermengter) Körper von mässiger Grösse, welche nur vermöge der Reibung ihrer Theile an einander oder gleichzeitig durch eine mässige Cohäsion zwischen denselben zusammenhalten, und man rechnet zu ihnen nach einer oft festgehaltenen Eintheilung: Damm- oder Gartenerde, lehmige Erden, Sand, Kies, sodann gröbere Anhäufungen aus Geröll, Steintrümmern u. dergl.

Fig. 1.



Die Reibung im Innern dieser Massen, d. h. der Widerstand, welchen die Erdtheilchen in Folge ihrer rauhen Oberfläche jeder Kraft entgegensetzen, welche sie über einander hin zu verschieben sucht, ist erfahrungsgemäss unabhängig von der Grösse der Berührungsfläche, dagegen direct proportional der senkrecht zu dieser Fläche wirkenden Pressung. Ihre Grösse wird gewöhnlich durch den sogenannten Reibungscoëfficienten (μ) angegeben, d. i. die Zahl, welche durch Multiplication mit dem Normaldruck die Grösse des Reibungswiderstandes liefert. Statt dessen kann auch der „Reibungswinkel" (φ) nach der Beziehung $tg\,\varphi = \mu$ festgehalten werden. Häuft man nämlich eine vollkommen cohäsionslose Erdmasse auf wagrechtem Boden möglichst steil zusammen, so böscht sich dieselbe nach einer Ebene, welche die natürliche Böschung heisst und mit der Wagrechten den sogenannten Reibungswinkel einschliesst. Ein Erdtheilchen auf dieser Böschung erhält sich in seiner Lage blos vermöge seiner Reibung an den darunter liegenden Theilchen, es ist die Kraft, mit welcher die Schwere dasselbe auf der schiefen Böschungsebene abwärts zu treiben sucht, gerade gleich dem Product aus der anderen, senkrecht zur schiefen Ebene gerichteten Seitenkraft der Schwere in den Reibungscoëciffienten, das heisst, es findet $tg\,\varphi = \mu$ statt.

Bezüglich der Cohäsion oder der Kraft, mit welcher die Erdtheilchen, abgesehen von Reibung, unter sich zusammenhängen, ist nur kurz anzugeben, dass dieselbe direct proportional der Grösse der Fläche ist, nach welcher die Trennung der Erdmasse erfolgt oder wenigstens angestrebt wird, dagegen unabhängig von der gegen diese Fläche wirkenden Pressung.

Von dem Werthe des Gewichtes, der Reibung und der Cohäsion hängt der Gleichgewichtszustand eines Erdbauwerks, sowie die Grösse des Druckes ab, welchen aufgehäufte oder angeschnittene Erdmassen gegen die sie stützenden Wände und Mauern ausüben. Beides ist für die Anordnung der Dämme und Einschnitte von der grössten Bedeutung, es empfiehlt sich daher in erster Linie, theoretische Untersuchungen zur Aufklärung der Sachlage anzustellen, obgleich dieselben nur unter Voraussetzung gesetzmässiger Zustände möglich sind, welche gerade in den hier einschlägigen Fällen keine grosse Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit zeigen. Eine deshalb erforderliche besondere Auseinandersetzung wird später gegeben werden.

Zur Zeit sind zwei wesentlich von einander verschiedene Theorien üblich, deren eine sich auf die Annahme eines sogenannten Bruchprismas von endlichen Abmessungen gründet, während die andere Erdelemente voraussetzt und deren Gleichgewichtszustand untersucht, ähnlich wie dies bei der theoretischen Behandlung elastischer Körper geschieht. Erstere ist die ältere, sie stammt in ihren Anfängen aus dem Ende des 17. Jahrhunderts, erhielt aber erst durch Coulomb im Jahre 1773 eine passende Grundlage durch Einführung des „Prismas vom grössten Schub", wurde in der Folge durch eine Reihe Mathematiker und Ingenieure weiter ausgebildet und erfreut sich heute einer ziemlich allgemeinen Anerkennung. Die andere Theorie ist erst seit etwa zwei Jahrzehnten in weiteren Kreisen bekannt geworden, sie führt ungefähr zu denselben Ergebnissen wie jene, hat aber bis jetzt nur wenig Anwendung gefunden, so dass hier von derselben abgesehen werden kann.

Bezüglich des Bruchprismas ist nun vor Allem die Erfahrung anzuführen, dass sich beim Einsturz einer abgeböschten Erdmasse stets eine vom Fusse der Böschung ausgehende

Bruchfläche bildet, welche in Folge Ungleichartigkeit der Erden gewöhnlich eine ziemlich unregelmässige Gestalt zeigt, in seltenen Fällen sich der Ebene nähert und nur in einem einzigen Falle als solche nachweisbar ist, nämlich unter der Voraussetzung einer vollkommen gleichartigen (homogenen) Erdmasse ohne Cohäsion, welche sich in gleicher Höhe mit der sie stützenden, hinten absolut glatten Wand, bei wagrechter oberer Begrenzung unbeschränkt weit erstreckt (Scheffler in Crelle's Journal für Baukunst, Bd. XXX, S. 198). Trotzdem muss man, um überhaupt Rechnungen anstellen zu können, die Erde einfür allemal ganz gleichartig und dabei unelastisch voraussetzen und als Bruchfläche unter allen Umständen das einfachste geometrische Gebilde, die Ebene, festhalten.

Im Anhange sind die auf diese Voraussetzungen gegründeten Entwickelungen zusammengestellt. Sie führen auf eine Reihe von Gleichungen, worin das Gewicht der körperlichen Einheit Erde ($\mathfrak{g}$), der die Reibung bestimmende Reibungswinkel (φ), beziehungsweise dessen Ergänzung zu 90 Grad (τ), endlich die Cohäsionsgrösse für die Flächeneinheit (γ) als Constanten vorkommen und welche zur Beantwortung mancherlei Fragen mitbenützt werden können, sobald die Werthe dieser Grössen bekannt sind. Es fragt sich also, welche Verfahrungsweisen zur Feststellung derselben befolgt zu werden pflegen.

Das Gewicht $\mathfrak{g}$ ergiebt sich einfach durch mehrmals wiederholtes Wiegen einer dem Inhalte nach bekannten Menge Erde. Zur Festsetzung der Reibungsverhältnisse sind bis jetzt zwei Wege betreten worden; man suchte entweder zunächst den Reibungscoëfficienten (μ) durch Messung der Kraft, welche aufgewendet werden musste, um einen ebenflächigen Erdkörper von bestimmtem Gewicht über eine wagrecht abgeglichene Erdmasse derselben Art zu verschieben und berechnete damit den Reibungswinkel φ oder dessen Ergänzung τ aus der Gleichung

$$\mu = tg\,\varphi = cotg\,\tau$$

oder man ging auf eine unmittelbare Bestimmung des Reibungswinkels aus, wobei abermals zweierlei Wege zur Verfügung standen: In selteneren Fällen wurde eine schiefe Ebene

aus Erde gebildet, deren Neigung gegen die Wagrechte willkürlich verändert werden konnte, und sodann jener Neigungswinkel derselben versuchsweise festgestellt, bei welchem ein oben aufgelegtes Prisma aus Erde eben zu gleiten begann. Oefters häufte man die Erde in lockerem Zustande, bei möglichster Abwesenheit aller Cohäsion, auf wagrechtem Boden auf und beobachtete die steilste Böschung, welche dabei noch dargestellt werden konnte.

Die Cohäsionsgrösse (γ) endlich wurde manchmal aus der Kraft abgeleitet, welche zum Abscheren eines Erdprismas von bekanntem Querschnitte in Anwendung gebracht werden musste, in anderen Fällen aus den theoretischen Gleichungen für die sogenannte Cohäsionshöhe (bei welcher sich die Erde unter einem bestimmten Böschungswinkel vermöge ihrer Reibung und Cohäsion eben noch standhaft erweist) berechnet, nachdem zusammengehörige Werthe dieser Höhe und des Böschungswinkels versuchsweise aufgefunden waren. Näheres hierüber kann in „C. Martony de Köszegh, Versuche über den Seitendruck der Erde, Wien 1828", sodann unter Anderem in „Alte und neue Versuche über Reibung und Cohäsion von Erdarten", vom Verfasser, München 1872, nachgelesen werden.

Empfiehlt es sich nun wohl auch in besonders wichtigen Fällen $\mathfrak{g}$, τ und γ immer besonders zu bestimmen, so genügt es doch, im Allgemeinen und für Durchschnittsberechnungen folgende Mittelwerthe festzuhalten:

	Gewicht $1 m^3$ ($\mathfrak{g}$)
Dammerde, locker, trocken oder natürlich feucht	1400 *kg*
Dammerde, angestampft, trocken oder natürlich feucht	1700 „
Dammerde, locker, von Wasser durchdrungen	1800 „
Lehmige Erde, nicht festgestampft, trocken oder natürlich feucht	1500 „
Lehmige Erde, festgestampft, trocken oder natürlich feucht	1700 „
Lehmige Erde, von Wasser durchdrungen	1900 „
Sand, Kies, Schotter	1500 bis 2000.

Sind die Zwischenräume mit Wasser erfüllt, so ist dessen Gewicht dem angegebenen noch zuzusetzen.

	Winkel φ	Winkel τ
Dammerde, locker oder fest gestossen, dabei trocken oder natürlich feucht	40°	50°
Lehmige Erde, locker oder fest gestossen, dabei trocken oder natürlich feucht . .	40°	50°
Sandiger feiner Kies, trocken oder natürlich feucht	37°	53°
Schotter mit eckigen oder mehr rundlichen Theilen	35—40°	55—50°
Sand, sehr fein, trocken oder natürlich feucht	32°	58°

Genauere Versuche über den Einfluss des Wassergehaltes auf den Werth der Reibung fehlen zur Zeit, doch kann man annehmen, dass dieselbe durch natürliche Feuchtigkeit so gut wie gar nicht verändert wird, eine starke Durchnässung aber bei Dammerde, und noch mehr bei lehmigen Erden jedenfalls zur Verkleinerung beiträgt.

Ueber die Cohäsion der Erdarten stehen nur wenige Versuchsergebnisse zur Verfügung, was jedoch in der Praxis wenig empfunden wird, weil man dieselbe nur selten in Rücksicht zieht und sie deshalb in die Rechnungen mit dem Werthe Null einführt. Uebrigens kann man mit Martony die folgenden Zahlen festhalten:

	Cohäsion γ f. 1 m^2
Dammerde, festgestampft, trocken . . .	540 *kg*
„ „ natürlich feucht .	560 „
Lehmerde, festgestampft, trocken . . .	520 „
„ „ natürlich feucht .	930 „

Starke Durchnässung trägt in der Regel zur Verminderung der Cohäsion bei, auch ist dieselbe bei frisch aufgeschütteten Massen wesentlich kleiner als nach längerer Zeit, nachdem dieselben sich zusammengesetzt haben.

2. Erddruck gegen stützende Wände, Stärke der Stütz- und Futtermauern. Wie aus den bisherigen Betrachtungen hervorgeht, giebt es für jede Erdart einen bestimmten Böschungswinkel, unter welchem sich dieselbe bei gegebener Höhe mit Hilfe ihrer Reibung und Cohäsion eben noch erhält ohne ein-

zustürzen. Wird eine steilere Böschung angenommen, so ist ein Gleichgewichtszustand der Erde für sich nicht mehr möglich und es kann der jetzt drohende Einsturz nur durch Ausführung von stützenden Wänden oder Mauern verhütet werden. Dieselben heissen insbesondere Stützmauern, wenn sie vor künstlich aufgeschütteten Massen, an Dämmen, hergestellt werden, und Wand- oder Futtermauern, wenn sie zur Unterstützung natürlich gelagerter Erdschichten, in Einschnitten, dienen. Die Stärke, welche dieselben erhalten müssen, hängt von der Form der gestützten Masse und ihren physikalischen Eigenschaften ab, insoferne hierdurch der Druck bestimmt ist, welchen die Mauern auszuhalten haben und demgemäss auch in entgegengesetzter Richtung zu leisten im Stande sein müssen.

Im Anhange wird gezeigt, wie man die Stärke von Stütz- und Futtermauern auf Grund theoretischer Entwickelungen und mit Berücksichtigung der an ausgeführten Bauwerken gemachten Erfahrungen feststellen kann. Man gelangt hiernach zu dem entsprechenden Werthe der Mauerdicke, nachdem man die Neigung der vorderen und hinteren Wand nach gewissen praktischen Gesichtspunkten angenommen hat. Daraus folgt, dass man in jedem gegebenen Falle verschiedene Mauerquerschnitte auffinden kann, welche alle den verlangten Zweck, die Erdmasse sicher zu stützen, in gleicher Weise erfüllen. Von ihnen wird der Ingenieur, welcher bei seinen Nützlichkeitsbauten den dabei erstrebten Zweck immer mit den geringsten Mitteln zu erreichen sucht, den kleinsten Querschnitt, das öfters sogenannte „ökonomische Profil" beibehalten. Eine directe Festsetzung desselben ist nicht möglich, man kann sich aber durch Probiren sehr leicht überzeugen, dass im Allgemeinen liegende Mauern, deren Vorder- und Hinterböschung nach einwärts geneigt sind, unter sonst gleichen Verhältnissen am wenigsten Material zur Ausführung verlangen, besonders wenn die Neigung der Vorderseite etwas grösser wie die der Rückwand genommen wird. Für erstere ist öfters das Verhältniss 1 : 5 oder 1 : 6, also mit Bezug auf Fig. 117 $tg\,\varepsilon_1 = \frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{6}$ üblich, während $tg\,\varepsilon$ etwas kleiner, bei

Stützmauern auch gerne gleich Null gewählt wird. Die Lagerfugen der Steine werden in der Regel senkrecht zur vorderen Wandfläche gelegt und nur bei stärkeren Mauern nach hinten zu verflacht.

Die in der angegebenen Weise aufgefundenen Mauerstärken können den Bedürfnissen vollkommen entsprechend angesehen werden, wenn sonst das Mauerwerk kunstgerecht ausgeführt, die Hinterfüllung zur Verminderung des Schubes gegen die Mauer mit aller Sorgfalt hergestellt und für eine gesicherte Abführung des hinter der Mauer sich sammelnden Wassers Sorge getragen wird. Sie stimmen auch genau genug mit jenen Werthen überein, welche aus den besseren, mehr oder weniger auf Erfahrung gegründeten Gleichungen sich ergeben, wie sie vielfach von ausführenden Ingenieuren benützt werden. Zur Ergänzung mögen deshalb noch die folgenden aus „Vorträge über Eisenbahnbau am Polytechnicum zu Aachen von A. v. Kaven, II. Stützmauern und Steinbekleidungen, Aachen 1875" entnommenen beiden Tabellen ihren Platz finden.

Tabelle IV enthält die nach der Erfahrungsgleichung

$$a_1 = 0{\cdot}438 + 0{\cdot}3\,h - 0{\cdot}1\,h\left(1 - \frac{h_1}{3\,h}\right)^2$$

berechnete obere Stärke der Stützmauer, wenn nach Fig. 2 die sichtbare Höhe derselben mit h und die Höhe der Ueberschüttung mit h_1 bezeichnet wird. Sie ist giltig für Auffüllungsmaterial, welches $1^1/_2$ malige Böschungen verlangt, jedoch auch mit dem Neigungsverhältniss $tg\,\varepsilon = \frac{5}{4}$ oder bei Verwendung von Steinpackung mit $tg\,\varepsilon = 1$ von der Mauerkrone aus ansteigen kann, und so lange die obere Dicke der Mauer nicht kleiner als etwa 0·5 bis 0·6 ausfällt, und liefert, da ihr letztes Glied niemals positiv werden kann, für den besonderen Werth $h_1 = 3\,h$, wenn also die Ueberschüttungshöhe gleich der dreifachen Mauerhöhe wird, einen Grenzwerth

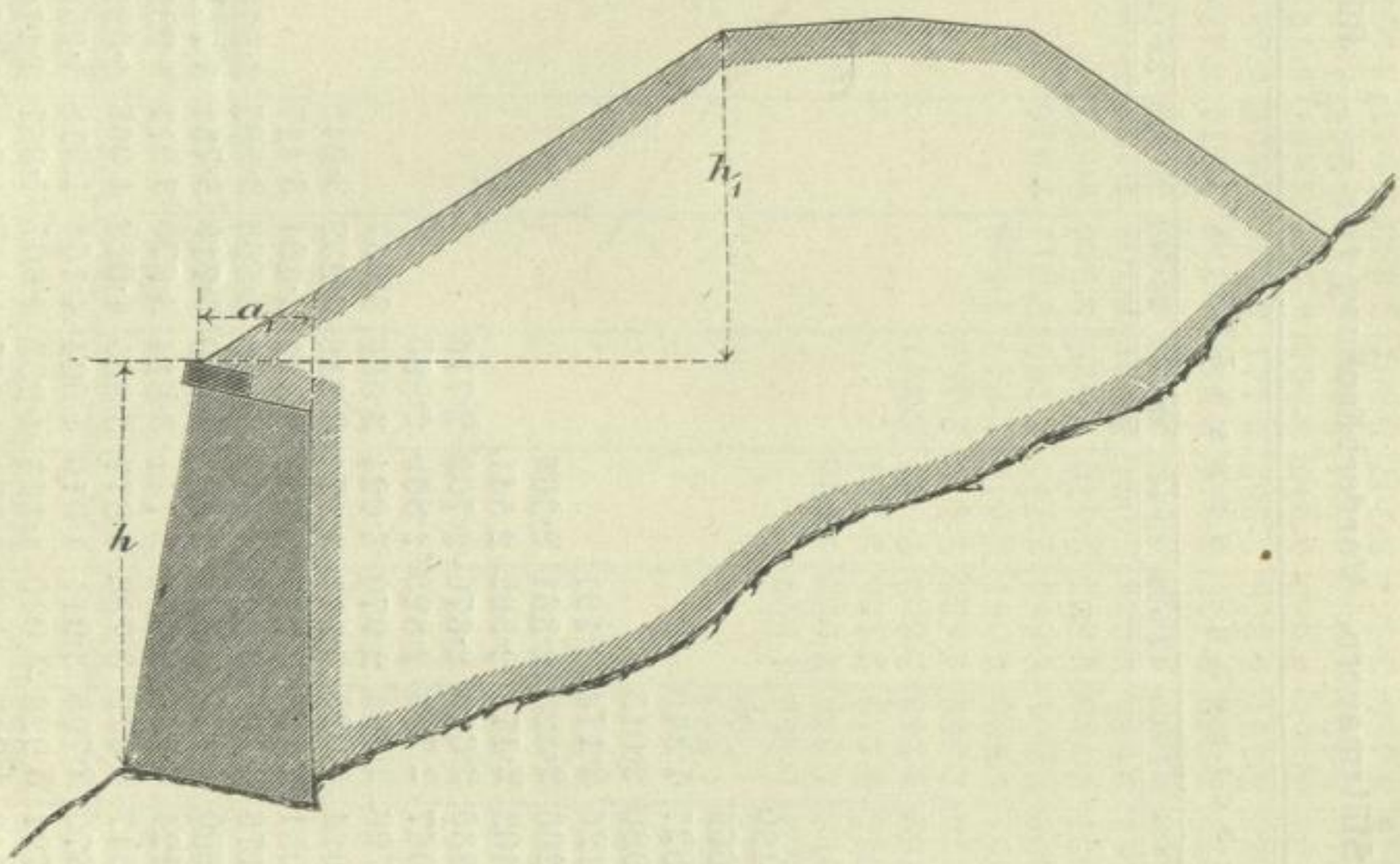
$$a_1 = 0{\cdot}438 + 0{\cdot}3\,h$$

welcher auch bei allen grösseren Werthen von h_1 beizubehalten wäre. Brächte man hinter der Mauer auf ihre ganze Höhe eine Steinpackung zur Ausführung, oben so stark wie die

Mauer und nach rückwärts mit einmaliger Böschung abfallend, so könnte wegen der dadurch erzielten Verringerung des Erddruckes die aus der Formel berechnete Mauerdicke um $\frac{h}{12}$ bis $\frac{h}{18}$ verkleinert werden, je nach der mehr oder weniger lagerhaften Beschaffenheit der zur Packung verwendeten Steine und den örtlichen Verhältnissen.

Ist die Mauer nicht überschüttet, also $h_1 = 0$, so geht die ursprüngliche Gleichung in

Fig. 2.



$$a_1 = 0{\cdot}438 + 0{\cdot}2\,h$$

über, und es darf in diesem Falle die berechnete Stärke um $\frac{h}{20}$ vermindert werden, wenn der Schub gegen die Mauer durch Ausführung eines Steinprismas hinter derselben abgemindert wird.

In gleicher Weise entsprechen die in Tabelle V zusammengestellten Werthe für die obere Stärke von Futtermauern der Gleichung

$$a_1 = 0{\cdot}292 + 0{\cdot}27\,h - 0{\cdot}1\,h\left(1 - \frac{h_1}{3\,h}\right)^2$$

Tabelle IV.

Kronenbreite von Stützmauern, Vorderböschung $tg\,\varepsilon_1 = \frac{1}{6}$, Rückwand lothrecht.

Mauerhöhe h	Ueberschüttungshöhe h_1												Obere Mauerdicke	
	2·921	5·842	8·763	11·684	14·605	17·526	20·447	23·368	26·289	29·209	32·130	35·051	wenn $h_1 = 0$	Grenzwerth für $h_1 = 3h$
0·292 bis 0·876	0·701												0·613	0·701
1·168	0·785												0·672	0·789
1·461	0·860												0·730	0·876
1·753	0·929	0·964											0·789	0·964
2·045	0·995	1·051											0·847	1·052
2·337	1·060	1·133											0·906	1·140
2·629	1·123	1·209											0·964	1·227
2·921	1·185	1·282	1·314										1·022	1·314
3·505	1·307	1·420	1·480	1·490									1·139	1·490
4·089	1·427	1·553	1·632	1·664									1·256	1·665
4·674	1·547	1·681	1·774	1·827	1·840								1·373	1·840
5·258	1·666	1·807	1·912	1·980	2·013								1·490	2·016
5·842	1·785	1·931	2·045	2·126	2·174	2·191							1·607	2·191
6·426	1·903	2·054	2·175	2·266	2·328	2·361	2·366						1·723	2·366
7·010	2·021	2·176	2·303	2·403	2·476	2·522	2·541						1·840	2·541
7·594	2·139	2·296	2·429	2·536	2·619	2·676	2·709	2·716					1·957	2·716
8·179	2·257	2·417	2·554	2·667	2·758	2·825	2·869	2·890					2·074	2·892
8·763	2·375	2·537	2·678	2·796	2·894	2·970	3·024	3·056	3·067				2·191	3·067
9·347	2·492	2·657	2·801	2·924	3·028	3·111	3·174	3·216	3·239	3·243			2·308	3·243
9·931	2·610	2·776	2·923	3·051	3·159	3·249	3·330	3·371	3·404	3·417			2·424	3·417
10·515	2·767	2·895	3·044	3·176	3·290	3·385	3·462	3·522	3·563	3·587	3·593		2·541	3·593
11·100	2·844	3·013	3·165	3·300	3·418	3·529	3·603	3·669	3·719	3·751	3·767		2·658	3·768
11·684	2·962	3·132	3·286	3·424	3·546	3·651	3·741	3·814	3·870	3·911	3·935	3·943	2·775	3·943
12·268	3·079	3·250	3·406	3·547	3·672	3·782	3·877	3·955	4·018	4·066	4·099	4·116	2·892	4·119
12·852	3·196	3·368	3·526	3·670	3·798	3·911	4·010	4·094	4·164	4·218	4·258	4·283	3·009	4·294
13·436	3·313	3·487	3·646	3·791	3·923	4·040	4·143	4·232	4·307	4·367	4·414	4·446	3·125	4·469
14·021	3·430	3·605	3·766	3·913	4·047	4·167	4·274	4·367	4·447	4·513	4·566	4·605	3·242	4·644
14·605	3·547	3·723	3·885	4·034	4·117	4·294	4·404	4·501	4·586	4·657	4·716	4·761	3·359	4·820

Tabelle V.

Kronenbreite von Futtermauern, Vorderböschung $tg\,\varepsilon_1 = \frac{1}{6}$, Rückwand lothrecht.

Mauerhöhe h	Ueberschüttungshöhe h_1												Obere Mauerdicke	
	2·921	5·842	8·763	11·684	14·605	17·526	20·447	23·368	26·289	29·209	32·130	35·051	wenn $h_1 = 0$	wenn $h_1 = 3\,h$
0·292 bis 0·876	0·529												0·441	0·529
1·168	0·604												0·491	0·608
1·461	0·670												0·540	0·686
1·753	0·731	0·765											0·590	0·765
2·045	0·789	0·844											0·640	0·845
2·337	0·844	0·917											0·689	0·923
2·629	0·898	0·984											0·739	1·002
2·921	0·961	1·048	1·081										0·789	1·081
3·505	1·056	1·169	1·228	1·239									0·888	1·239
4·089	1·159	1·284	1·363	1·395									0·987	1·396
4·674	1·261	1·395	1·488	1·541	1·554								1·087	1·554
5·258	1·363	1·503	1·608	1·676	1·709								1·186	1·712
5·842	1·464	1·610	1·723	1·805	1·853	1·869							1·285	1·689
6·426	1·564	1·715	1·836	1·928	1·989	2·022	2·028						1·385	2·028
7·010	1·665	1·819	1·946	2·046	2·119	2·165	2·184						1·482	2·183
7·594	1·765	1·923	2·055	2·162	2·245	2·302	2·335	2·341					1·582	2·341
8·179	1·866	2·026	2·162	2·276	2·369	2·433	2·478	2·499					1·682	2·500
8·763	1·966	2·128	2·269	2·388	2·485	2·561	2·615	2·647	2·658				1·782	2·658
9·347	2·066	2·230	2·374	2·498	2·601	2·684	2·747	2·790	2·812	2·816			1·881	2·816
9·931	2·166	2·332	2·479	2·607	2·715	2·805	2·876	2·928	2·960	2·973			1·980	2·973
10·515	2·266	2·433	2·583	2·714	2·828	2·924	3·001	3·061	3·102	3·125	3·132		2·080	3·132
11·100	2·365	2·534	2·686	2·821	2·939	3·040	3·124	3·190	3·240	3·272	3·287		2·179	3·289
11·684	2·465	2·635	2·790	2·927	3·049	3·155	3·244	3·315	3·374	3·414	3·438	3·446	2·278	3·446
12·268	2·565	2·736	2·892	3·033	3·161	3·268	3·362	3·441	3·504	3·552	3·585	3·602	2·378	3·605
12·852	2·664	2·837	2·995	3·138	3·266	3·380	3·479	3·563	3·632	3·687	3·727	3·752	2·477	3·762
13·436	2·764	2·938	3·097	3·242	3·374	3·491	3·594	3·682	3·757	3·818	3·865	3·897	2·576	3·920
14·021	2·864	3·038	3·199	3·346	3·480	3·601	3·707	3·801	3·880	3·947	3·999	4·039	2·676	4·078
14·605	2·963	3·138	3·301	3·450	3·586	3·710	3·820	3·917	4·002	4·073	4·131	4·177	2·775	4·236

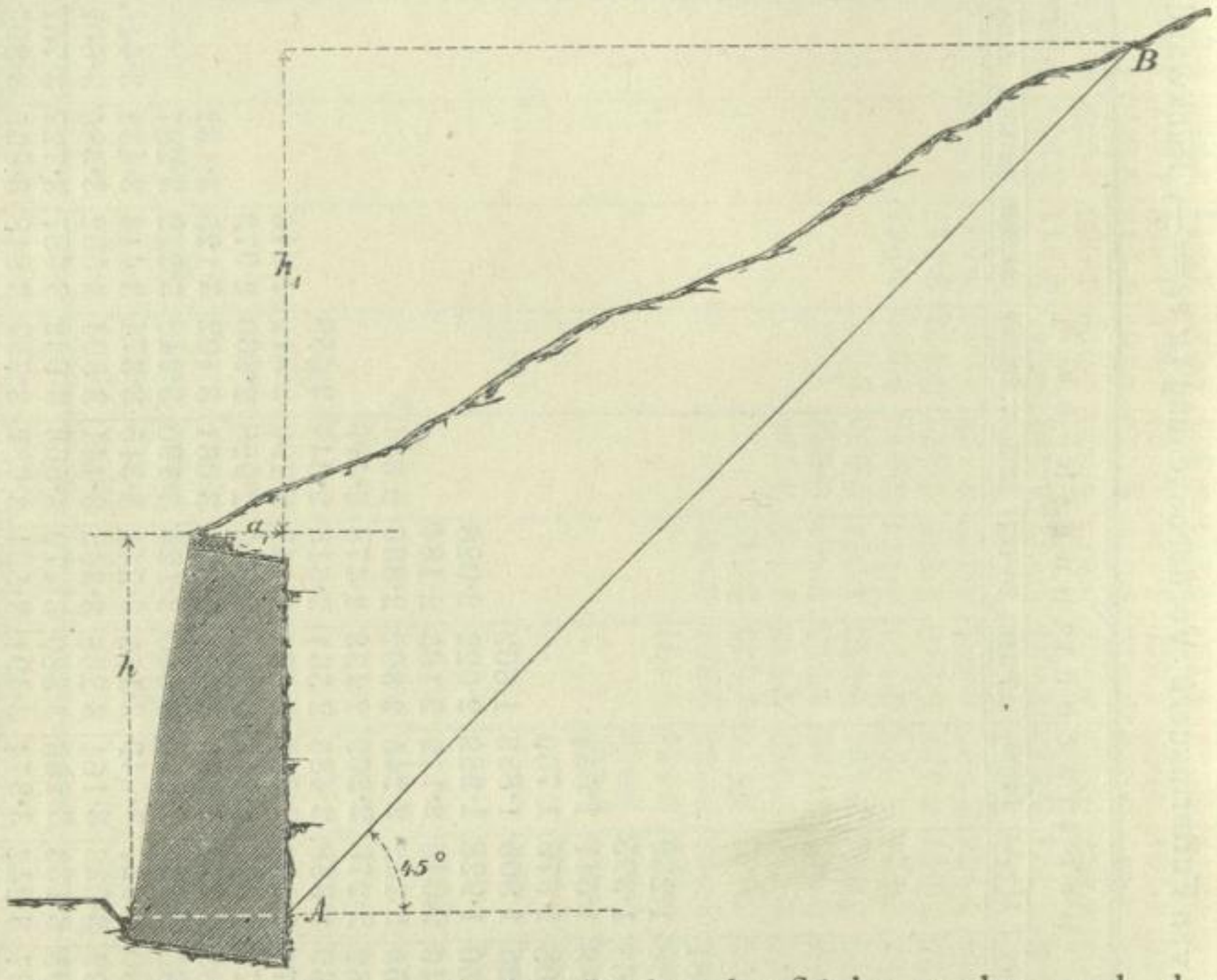
unter der Voraussetzung, dass das Einschnittsmaterial ein Böschungsverhältniss 1 : 1·5 bis 1 : 1 verlangt. Für $h_1 = 3\,h$ ergiebt auch sie einen Grenzwerth

$$a_1 = 0{\cdot}292 + 0{\cdot}27\,h$$

und für $h_1 = 0$ wird $a_1 = 0{\cdot}292 + 0{\cdot}17\,h$.

Hierbei wird mit Bezug auf Fig. 3 der Werth von h_1 so bestimmt, dass man von der Rückwand der Mauer aus eine Linie AB unter 45° zur Wagrechten zeichnet, den Durch-

Fig. 3.



schnitt B derselben mit der Bodenoberfläche sucht und den lothrecht zu messenden Abstand zwischen diesem und der Mauerkrone nimmt.

II. Construction des Unterbaues.

3. **Zulässiges Böschungsverhältniss.** Von der grössten Wichtigkeit ist die Festsetzung des Winkels, unter welchem die Böschungen eines zur Ausführung bestimmten Erdbauwerkes angelegt werden sollen, weil dessen sicherer Bestand wesentlich davon abhängig ist. Erste Anhaltspunkte dafür

liefern die theoretischen Ausdrücke für den Gleichgewichtszustand der Erdmassen, sobald die zugehörigen Werthe von Gewicht, Reibung und Cohäsion bekannt sind. Dabei ist jedoch nicht zu übersehen, dass die in solcher Weise berechneten Werthe der Böschungsneigung nicht ohneweiters zur Ausführung gebracht werden dürfen, sondern unter Einführung eines „Sicherheitsgrades" verflacht werden müssen. Der Grund ist leicht einzusehen. Ganz allgemein ist nämlich zu beachten, dass theoretische Untersuchungen überhaupt nur unter Annahme gesetzmässiger Zustände ausgeführt werden können und ihre Ergebnisse nur dann der Wirklichkeit entsprechen, wenn auch jene Voraussetzungen sich mit den wirklichen Verhältnissen decken. Dies ist nun leider fast niemals der Fall, am wenigsten bei den Voraussetzungen für die Theorie des Erddruckes und dazu kommt dann noch, dass hier, wie bei allen Versuchen, die derbe und doch so verwickelte Wirklichkeit wissenschaftlich zu fassen, mancher ungünstig wirkende Einfluss rechnerisch nicht zum Ausdrucke gebracht werden kann und folglich auch aus diesem Grunde das Endergebniss nicht ausreichend ist. Dasselbe muss also, wie schon gesagt, durch passende Einführung eines Sicherheitscoëfficienten entsprechend ergänzt werden. In der richtigen Bestimmung des jeweiligen Sicherheitscoëfficienten liegt die schwierige Aufgabe des Ingenieurs, deren zweckentsprechende Lösung eine ebenso gründliche Kenntniss der Theorie, wie eine umfassende Erfahrung mit ausgeführten Bauwerken voraussetzt. Beides gehört zusammen; und wenn auch die Erfahrungsthatsachen zuletzt den Ausschlag geben müssen, so ist doch andererseits die sichere Leitung, welche theoretische Erörterungen gewähren, nur selten zu entbehren. Man kann geradezu aussprechen, dass gänzliche Ausserachtlassung der Theorie auf Unkenntniss derselben, oder wenigstens auf Verkennung ihrer eigentlichen Aufgabe schliessen lässt.

Im vorliegenden Falle allerdings, wo es sich um ausführbare Böschungsverhältnisse handelt, tritt die Bedeutung der Theorie den Erfahrungen gegenüber stark in den Hintergrund, immerhin aber wird man sie auch hier nicht ganz ausser Betracht lassen und dann etwa folgende Erwägungen anstellen:

Gewicht, Reibung und Cohäsion einer und derselben Erdart unterliegen mancherlei Schwankungen; es sind deshalb jene Werthe derselben für die Berechnung zu ermitteln, bei welchen der Gleichgewichtszustand am schwersten zu erzielen ist, beziehungsweise ein besonders hoher Druck gegen die stützende Wand entsteht. Dies ist nun offenbar der Fall, wenn das den Absturz veranlassende Eigengewicht der Erde einen grossen, und die sich widersetzenden Kräfte Reibung und Cohäsion kleine Werthe annehmen. Beides ist nach den in Nr. 1 gemachten Angaben über $\mathfrak{g}$, τ und γ in der Regel zu erwarten, wenn Wasser zu den Erdbauwerken gelangen kann, sei es als atmosphärischer Niederschlag von aussen her, oder in Form von Grund- und Quellwasser aus dem Inneren der Erde, indem hierdurch das Gewicht aller Erdmassen vermehrt und Reibung mit Cohäsion bei den meisten derselben vermindert wird. Wenn man nun auch stets dafür sorgt, dass von dem auf die Oberfläche kommenden Regen- und Schneewasser möglichst wenig einsickert und etwa vorhandenes Grundwasser durch besondere Entwässerungsanlagen unschädlich gemacht wird, so ist doch eine Durchnässung der Erdbauwerke bis zu einem gewissen Grad niemals ganz zu vermeiden und die ihm entsprechenden Werthe der Constanten wären also bei der Berechnung als massgebend zu betrachten. Von anderen Umständen wären dann noch in Rücksicht zu ziehen, dass Verwitterungsvorgänge und Frost vermindernd auf eine ursprünglich vorhandene Cohäsionsgrösse hinwirken können und dass sich in Aufdämmungen gewöhnlich erst allmählich eine beträchtlichere Cohäsion herausbildet, in dem Masse, als sich diese zusammensetzen. Nicht vergessen darf werden, dass bei den theoretischen Entwickelungen vollkommene Gleichartigkeit der Masse vorausgesetzt werden musste und deshalb die Ueberlegung, inwieweit dies in jedem Falle zutreffend sei, von der grössten Wichtigkeit ist, sowie dass Erschütterungen noch keine Berücksichtigung gefunden haben, wie sie für manche Erdbauwerke, auf welchen sich schwere Lasten mit grosser Geschwindigkeit bewegen, in Betracht kommen müssen. Im Grossen und Ganzen nun kann man unter der Voraussetzung, dass die Böschungen durch eine besondere Bedeckung (Nr. 4) gegen

äussere Angriffe einigermassen geschützt werden, die folgenden Werthe für das Böschungsverhältniss $tg\,\varepsilon = \frac{b}{h}$ (Fig. 4) festhalten, und zwar

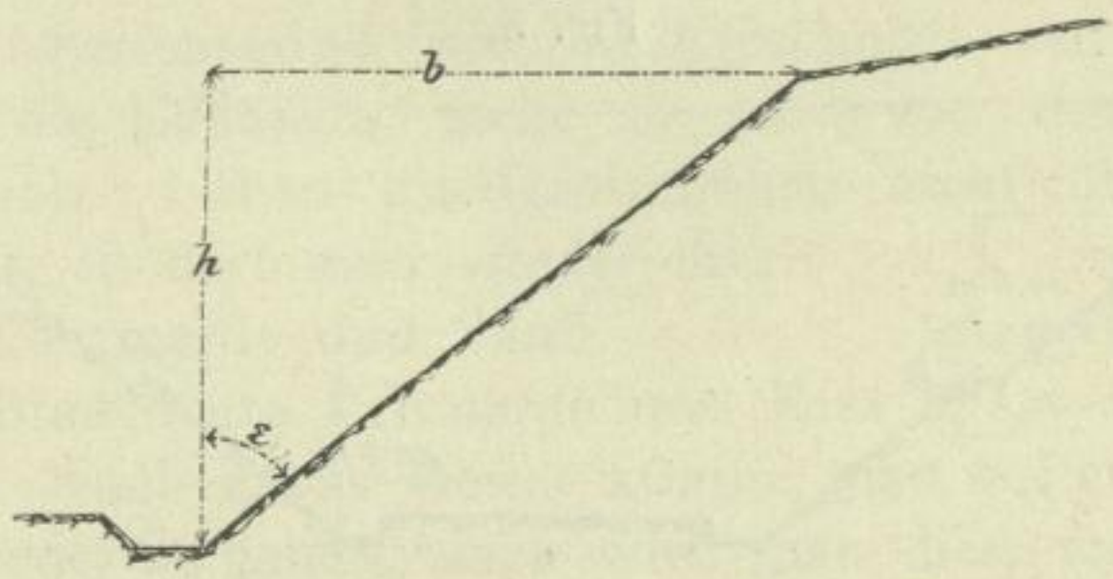
A. Einschnittsböschungen, Höhe h nicht über $5\,m$,

Dammerde und Sand $tg\,\varepsilon = 1{\cdot}5$ (anderthalbmalige Böschung),

Trocken gelagerte Lehmerde und fester Kies $tg\,\varepsilon = 1{\cdot}25$ bis $1{\cdot}00$ (fünfviertelmalige bis einmalige Böschung).

Sind lehmige Erdarten von Quellen durchzogen, so müssen die Böschungen jedenfalls flacher angenommen werden, doch lassen sich im Allgemeinen keine Regeln dafür aufstellen. Umgekehrt halten die Wände in Felseinschnitten wesentlich

Fig. 4.



steiler, bei vollkommen wetterbeständigem Material und unter günstigen Schichtungsverhältnissen selbst unter dem Winkelwerthe $\varepsilon = 0$. Befinden sich zwischen den festen Bänken lose oder erweichbare Massen, so sind dieselben vorne durch Mauerwerk zu ersetzen, welches zum Schutze derselben gegen äussere Angriffe und zur Stützung des Felsens dient. Für eine sichere Abfuhr des hinter diesen Mauern sich sammelnden Wassers ist besonders Sorge zu tragen. Hält sich die frisch abgearbeitete Felswand unter sehr kleinem Winkel standfest, unterliegt sie aber einer raschen Verwitterung, so kann man sich veranlasst sehen, von vorneherein eine flachere Böschung, dem Verwitterungsergebniss entsprechend, festzuhalten, oder aber die steile Böschung zur Hintanhaltung der Verwitterung mit einer schützenden Verkleidungsmauer zu versehen. V. Kaven gibt für solche, einem Erddruck nicht ausgesetzte Mauern die folgenden Ab-

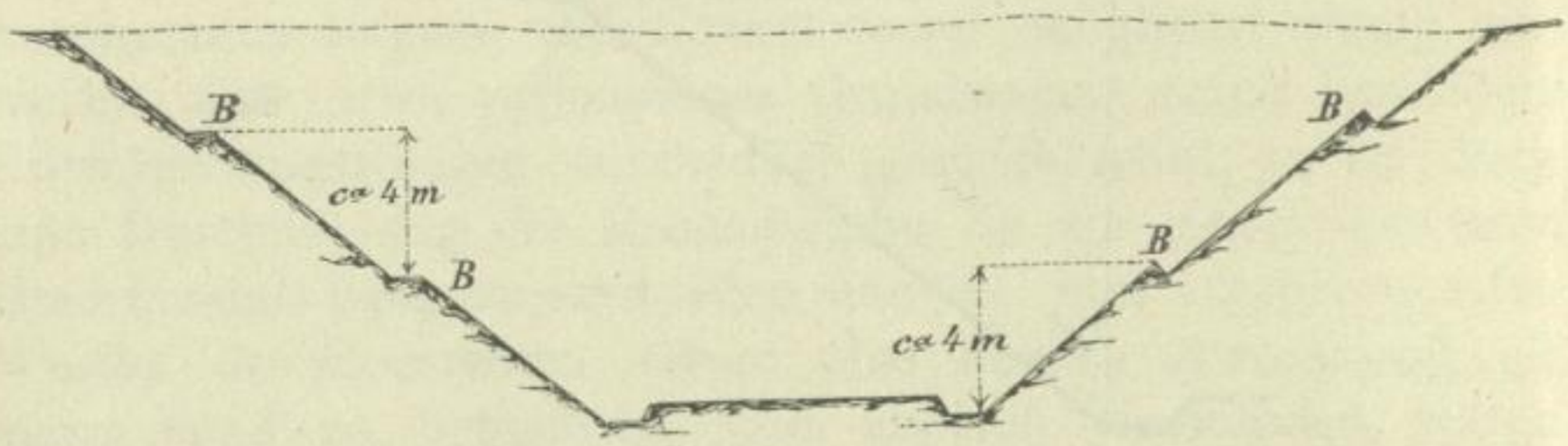
messungen an unter der Voraussetzung, dass $tg\,\varepsilon = {}^1/_6$ genommen wird:[1])

Bis $h = 2\,m$, v. unten bis oben eine gleiche Stärke v. $0{\cdot}40\,m$,
$h = 2$ bis $h = 6\,m$ „ „ „ „ $0{\cdot}60\,m$,
wenn h grösser wie $6\,m$ ist, ob. Stärke $0{\cdot}7\,m$, unt. Stärke $0{\cdot}7\,m + \frac{1}{10}\,h$.

Wird es endlich nothwendig, die Einschnittböschung aus irgend welchen Gründen steiler zu halten, als es nach der Natur der durchschnittenen Erdschichten zulässig wäre, um z. B. hohe Grunderwerbungskosten zu ersparen, oder weil der zur Verfügung gestellte Platz beschränkt ist u. dgl. m., so kommen die in Nr. (2) besprochenen Wandmauern zur Ausführung.

Ueberschreitet die Einschnittstiefe (h) das oben angegebene Mass von beiläufig $5\,m$, so empfiehlt es sich, die zusammen-

Fig. 5.



gestellten Werthe von $tg\,\varepsilon$ etwas zu ermässigen, oder statt dessen nach Fig. 5 eine Unterbrechung der Böschung durch „Bermen" (B, B) anzuordnen. Es sind dies im Querschnitt wagrechte oder schwach einwärts geneigte Absätze von $0{\cdot}5$ bis mehrere Meter Breite, welche in Abständen von ungefähr $4\,m$ von einander die Böschungsfläche unterbrechen, dabei Stützpunkte für die zum Schutz aufgebrachte Humus- oder Rasendecke bieten, dem Zerreissen derselben durch abfliessendes Regenwasser Grenzen setzen, abbröckelnde Erdtheilchen von den Einschnittsgräben zurückhalten und auch als Fusswege bei der Bewirthschaftung der ausgedehnten Böschungsflächen dienen. So vielseitig hiernach auch der Nutzen der-

---

[1]) Vorträge über Eisenbahnbau am Polytechnicum zu Aachen von A. v. Kaven. II. Stützmauern und Steinbekleidungen. Aachen 1875.

artiger Bermen ist, so bergen dieselben doch andererseits wieder eine gewisse Gefahr in sich, indem sie bei nicht ganz sorgfältiger Entwässerung Veranlassung zu Rutschungen geben können. Die Einhaltung aller für Entwässerungsgräben giltigen Regeln ist deshalb auch für sie eine Vorbedingung.

B. Dammböschungen.

Es muss vorausgeschickt werden, dass zur Herstellung von Aufdämmungen alle Bodenarten unbrauchbar sind, welche durch Wasser leicht erweicht werden und dabei eine starke Abminderung ihrer Reibung und Cohäsion erleiden, denn wenn auch das Eindringen von Niederschlagswasser durch eine gute Bedeckung der Böschungen jedenfalls vermindert wird, so ist doch eine gründlichere Durchweichung nach länger andauernden Regenzeiten nicht zu vermeiden, auch ist es Regel, bei den zulässigen Bodenarten einen etwas höheren Sicherheitsgrad wie im Einschnitte zu geben, weil hier auf die Cohäsion nicht so sehr wie dort gerechnet werden kann. Gehen die Dammhöhen nicht über beiläufig 5 *m* hinaus, so darf man wieder für

Dammerde und Sand $tg\,\varepsilon = 2{\cdot}0$

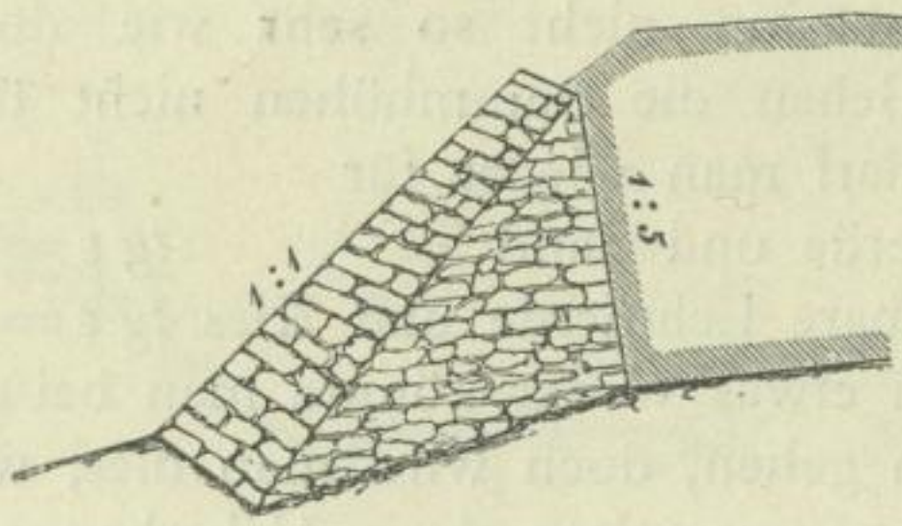
Brauchbare Lehmerde und Kies $tg\,\varepsilon = 1{\cdot}5$

annehmen. Noch etwas weiter könnte man bei grobem Geröll und Steinbrocken gehen, doch wird man dies, wenigstens bei Eisenbahndämmen, nur selten thun. Ueberhaupt werden auch die Dammböschungen noch flacher als angegeben gehalten, wenn ihre Höhen bedeutender werden. Bermen sind bei ihnen wenig gebräuchlich, weil deren Entwässerung schwieriger ist und in Folge dessen ihre Nachtheile in den Vordergrund treten.

Wünscht man die Böschungen von Steindämmen steiler zu halten, vielleicht weil das im Einschnitte gewonnene Material sonst nicht ausreichen würde, so führt man nach Fig. 6 zu beiden Seiten sogenannte Packungen oder Steinsätze aus, indem man die rauhen Brocken ohne weitere Zurichtung zu prismatischen Körpern lagerhaft zusammenschichtet und ihre Zwischenräume mit feinerem Abtragsmateriale ausfüllt. Dieselben können je nach Bedarf bis nahe an die Krone des Dammes geführt, oder aber niedriger gehalten werden, ihre

Lagerfugen laufen entweder wagrecht durch die ganze Breite hindurch, oder werden bei grösseren Höhen der Prismen im vorderen Theile ungefähr senkrecht zur Vorderböschung geneigt und nach rückwärts dann in die Wagrechte verzogen. Unter solcher Anordnung sind einmalige Böschungen ($tg\,\varepsilon = 1$) zulässig, nach innen können die Packungen ziemlich steil begrenzt werden und der Raum zwischen ihnen wird in dem Masse, als ihr Aufbau fortschreitet, in gewöhnlicher Weise mit dem verfügbaren Füllmaterial zugeschüttet. Sollten die im Einschnitte gewonnenen Steine nicht frostbeständig sein, so könnte man gleichfalls in der beschriebenen Weise vorgehen, aber, nachdem sich die Packung vollständig gesetzt hat, noch eine pflasterartige Schutzbekleidung aus widerstandsfähigem Materiale aufbringen.

Fig. 6.



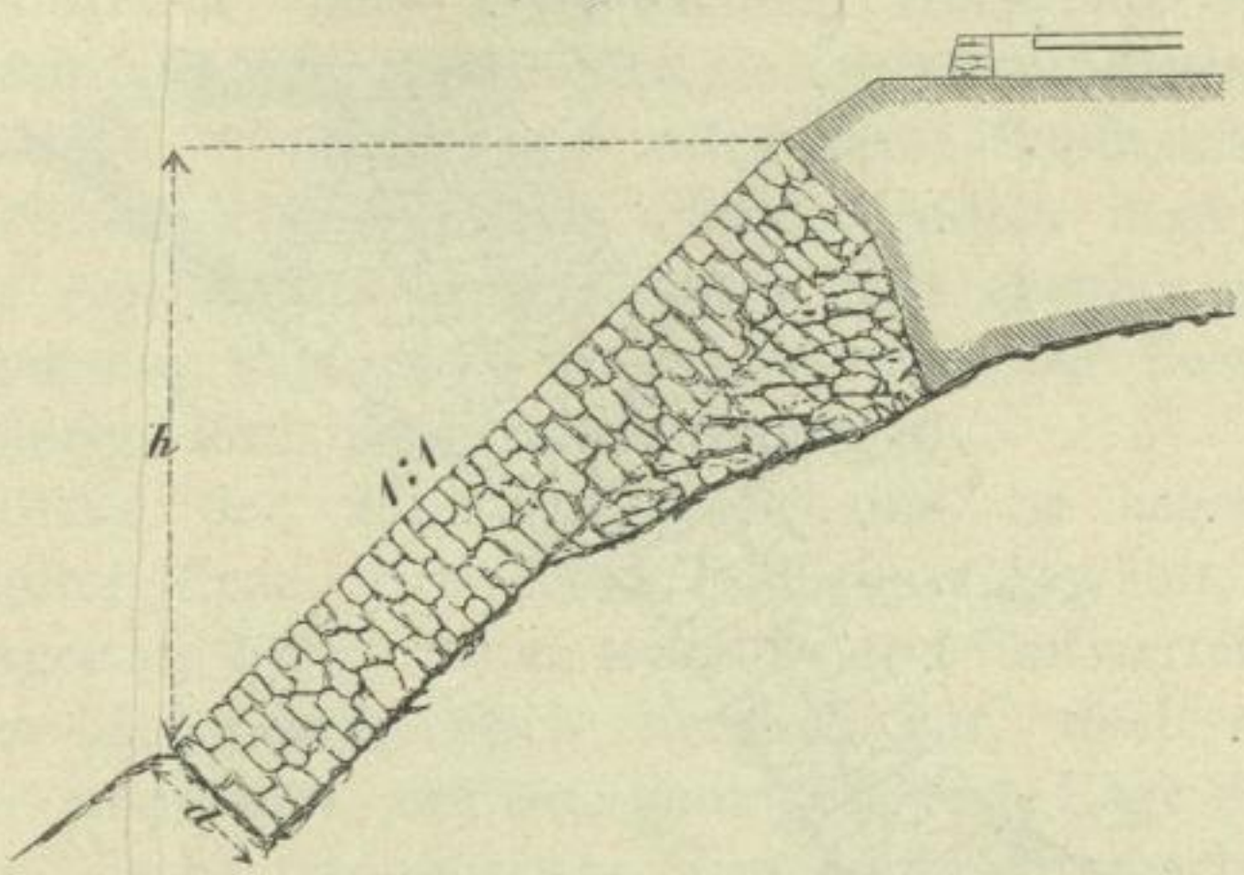
Eine sehr bemerkenswerthe Ausbildung und ausgebreitete Verwendung haben Steinpackungen an den grossen Schienenwegen im Alpengebiete gefunden, wo meist sehr passende Steine zur Verfügung waren und steilere Böschungen an den stark abfallenden Thalwänden angestrebt werden mussten. Es wurden für deren Abmessungen immer auf Erfahrung begründete Gleichungen aufgestellt, so z. B. folgender auf Fig. 7 bezüglicher Ausdruck

$$d = 1{\cdot}0 + \frac{h}{10}$$

wobei h nicht mehr wie 12 bis 15 m betragen durfte. Bei der Grösse und Bedeutung dieser Steinbauten musste auf eine gute, wenn nöthig, künstliche Entwässerung ihres Fusses gesehen werden.

Wären die so zu erzielenden Böschungswinkel von etwa 45° aus irgend welchen Gründen immer noch zu gross und also die Anordnung steilerer Böschungen geboten, so müsste man auf wirkliche Mauern übergehen, die entweder als sogenannte Trockenmauern oder in Form gemörtelter Mauerwerkskörper zur Ausführung gelangen. Im ersten Falle werden die mit dem Hammer etwas zugerichteten Bruchsteine regelrecht in Verband gelegt, dabei ihre Zwischenräume mit Steinbrocken verzwickt und gewöhnlich auch mit feinem Abtragsmateriale ausgefüllt; eine gute Druckvertheilung kann durch Einbetten der Steine in Moos erzielt werden. Sind die-

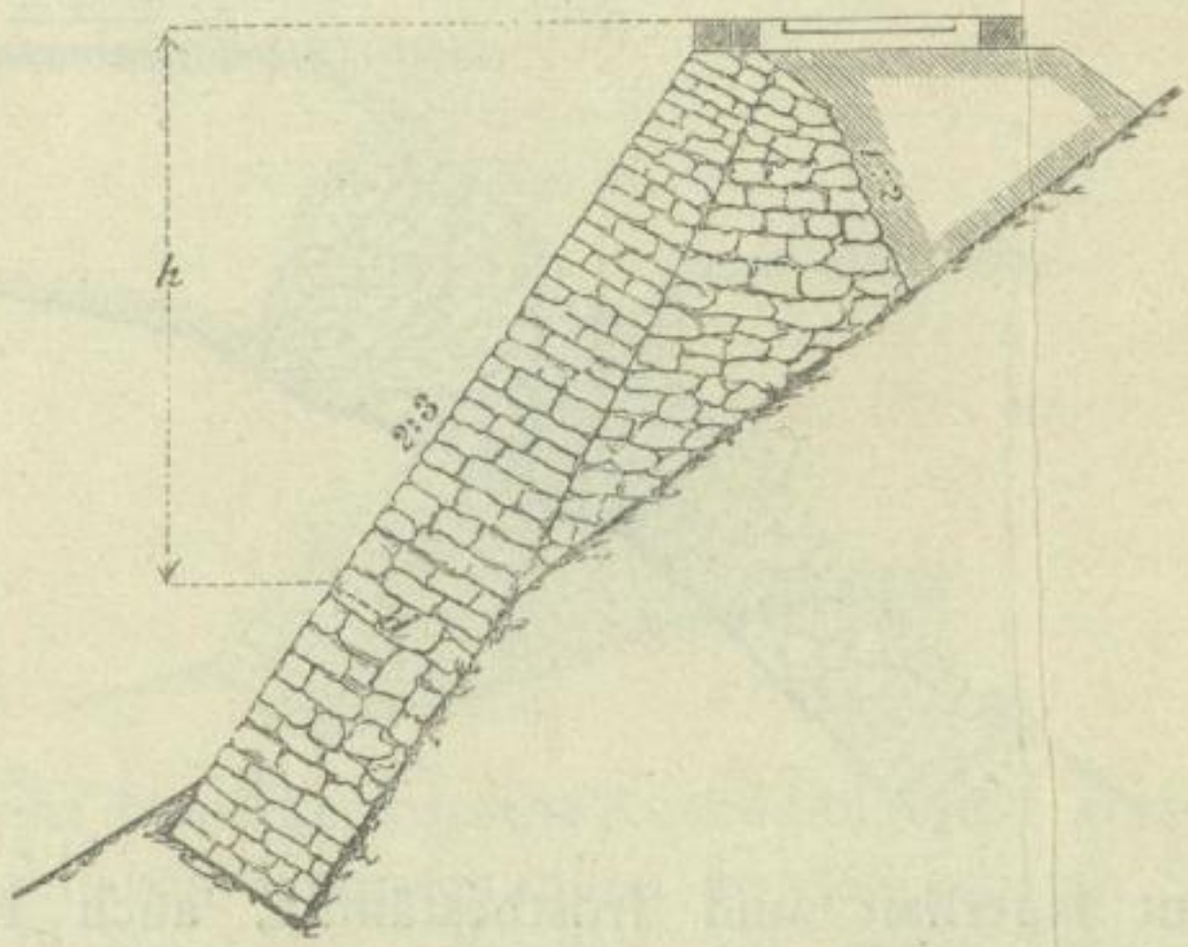
Fig. 7.



selben gut lagerhaft und frostbeständig, auch hinreichend gross, so kann man der Vorderböschung bei nicht zu bedeutender Höhe immerhin ein Neigungsverhältniss $tg\,\varepsilon = 0{\cdot}5$ geben. Dasselbe geschieht bei der Rückwand, soweit sie sich an gewachsenen Boden lehnt, sonst hält man sie steiler, selbst lothrecht. Die Dicke der Trockenmauern wird im Allgemeinen etwas bedeutender genommen als bei gemörtelten Mauern unter sonst gleichen Umständen. Ihre Lagerfugen stehen meist senkrecht zu der Vorderböschung und werden nur bei grösseren Stärken allmählich in die Wagrechte verzogen; wenn möglich, lässt man dieselben durch den ganzen Mauerkörper greifen, bei weniger lagerhaftem Steinmateriale sucht man wenigstens möglichst oft eine Abgleichung durchaus zu erzielen.

Eine besondere Art der Verwendung in Verbindung mit Steinsätzen haben die Trockenmauern auch wieder bei den Alpenbahnen gefunden, in besonders hervorragendem Masse auf der Arlbergbahn, welche sehr geeigneten plattenförmigen Gneiss lieferte. In Fig. 8 ist ein solcher Fall von der Gotthardbahn für Höhen bis zu $h = 9\,m$ wiedergegeben. Die verhältnissmässig dünne Trockenmauer, deren untere Breite nach der erfahrungsmässigen Gleichung $d = 1{\cdot}2 + \frac{h}{5}$ bestimmt wurde, lehnt sich an einen gepackten Steinkörper, ohne jedoch in Verband mit demselben zu stehen, so dass

Fig. 8.



sich beide Theile unabhängig von einander setzen können. Die Vorderböschung ist hier in einer Richtung durchlaufend angenommen, manchmal wurde sie auch gebrochen ausgeführt, indem man sie oben steiler wie unten anordnete.

Muss das Böschungsverhältniss $tg\,\varepsilon$ kleiner wie 0·5 gewählt werden, so sind Trockenmauern nicht mehr zulässig und müssen an ihre Stelle in Mörtel ausgeführte eigentliche Mauern treten. Dasselbe muss geschehen, wenn die zur Verfügung stehenden Bruchsteine zu klein und zu wenig lagerhaft sind, wenn bei zu bedeutenden Höhen starke Drucksteigerungen zwischen dem ohne Mörtelschichte, mit rauhen Flächen sich berührenden Bruchstücken zu befürchten wären,

und wenn die Hinterfüllungsmasse voraussichtlich einen grösseren Schub gegen den vorgebauten Steinkörper ausübt. Näheres hierüber enthält die vorausgehende Nr. 2.

4. **Bedeckung der Böschungen.** Im Vorstehenden sind bestimmte Neigungsverhältnisse angegeben worden, nach welchen die Böschungen der verschiedenen Erden angelegt werden dürfen, vorausgesetzt, dass dieselben eine Schutzdecke erhalten, wodurch sie in erster Linie den Angriffen von Luft, Regen, Frost u. dgl. mehr entzogen und in zweiter Linie auch nutzbar gemacht werden sollen. Eine solche Bedeckung kann in verschiedener Weise erzielt werden, am einfachsten, indem man die Böschungsflächen besamt oder bepflanzt, in vereinzelten Fällen unmittelbar, meist aber, nachdem fruchtbare Erde aufgebracht worden; oder indem man sie mit vorhandenen Rasenstücken belegt, ebenfalls mit oder ohne Benützung einer Zwischenschichte Humus; oder endlich, indem man Pflasterungen zur Ausführung bringt. Nicht ganz ebenbürtig diesen Bedeckungsarten, aber doch als Schutzmittel der Böschungen hierher gehörig, sind die Flechtzaunanlagen.

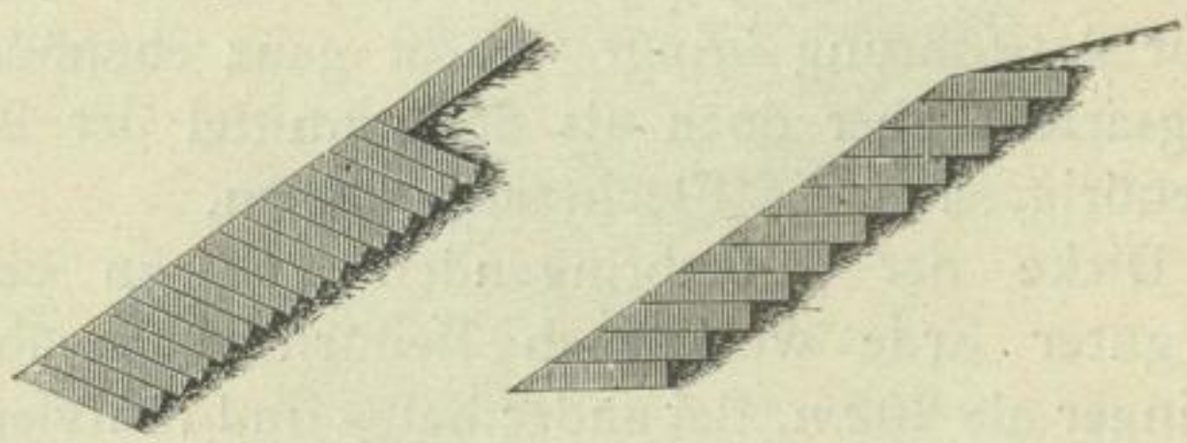
Die Dicke der aufzubringenden und zu begrünenden Schichte guter Erde wird nach Bedürfniss gewählt, jedoch kaum geringer als 20 *cm*. Bei anderthalb- und fünfviertelmaligen Böschungen hält dieselbe noch ziemlich gut, doch wird es sich immer empfehlen, um eine ganz gesicherte Lage derselben zu erzielen, flache treppenartige Einschnitte zu machen oder Stützpunkte durch Annageln von Rasenstreifen mittelst Holzpflöcken zu schaffen. Bei Steindämmen können zu demselben Zwecke sehr leicht Absätze durch passendes Zusammenlegen der äusseren Brocken gebildet werden. Sollte die angeschnittene oder aufgeschüttete Steinmasse stark zur Verwitterung neigen und dabei eine fruchtbare Erde liefern, so trägt man bekanntlich auf die derselben zugehörige flache Böschung von vorneherein an und wartet dann mit der Besamung, bis die Verwitterung erfolgt ist.

Sind Böschungen den Angriffen fliessenden Wassers ausgesetzt, so ist die Gewinnung einer Rasendecke durch Ansäen entweder überhaupt nicht möglich oder die in solcher Weise zu erzielende Narbe wäre nicht widerstandsfähig genug. Dann

empfiehlt es sich, eine Abdeckung mit vorhandenem Rasen herzustellen, indem man die meist quadratisch abgestochenen Stücke von etwa 0·30 *m* Seitenlänge und 0·08 bis 0·10 *m* Dicke im Fugenwechsel flach neben einander verlegt und einzelne derselben mit Holzpflöcken befestigt (Flachrasen) oder, um eine widerstandsfähigere Decke zu erhalten, diese Stücke über einander schichtet, ungefähr senkrecht zur Böschungslinie oder aber wagrecht, wie es in der Figur 9a und 9b angegeben ist (Kopfrasen).

Den wirksamsten Schutz gegen die nun wiederholt gekennzeichneten äusseren Angriffe, insbesondere wenn sie von fliessenden oder durch Wind bewegten Gewässern ausgeübt werden, gewähren die Pflasterungen, wobei nur wenig bearbeitete Steine in gutem gegenseitigen Verband auf einer, mehrere

Fig. 9a. Fig. 9b.



Centimeter dicken Sand- oder Kiesschichte versetzt werden. Um das Eindringen von Wasser in die Fugen, das Ausspülen derselben und Einwirkungen auf die darunter liegende Erdmasse zu vermeiden, wird zuweilen unter der Pflasterung eine Lehmschichte aufgebracht und die Fugen mit Moos ausgestopft. Sehr wichtig ist es, dass sich ausgedehnte Pflasterungen gegen einen sicheren Fuss aus zusammengeworfenen Steinbrocken stützen können, da sonst ihr Bestand leicht gefährdet wird. Gehen Pflasterungen in Steinverkleidungen über, so kommen die in Nummer 3 angeführten Regeln in Anwendung.

Was nun schliesslich die oben noch genannten Flechtzäune betrifft, welche gleichfalls zu einer besonderen Art Befestigung der Böschungen dienen, namentlich wenn dieselben etwas zu steil gehalten sind und Losbröckelungen in grösserem Umfange zu erwarten sind, so bestehen dieselben aus reihenweise eingeschlagenen Pfählen von 0·05 bis 0·10 *m* Dicke und

0·5 bis 2·0 *m* Länge, welche um wenig mehr als zur Hälfte in den Boden eingeschlagen und dann mit Reisig umflochten werden. Durch Bildung einer Art Netzwerk, über die ganze Böschungsfläche ausgebreitet, erzielt man eine wirksame Unterstützung derselben.

5. Anlage der Gräben. Die Gräben sind nothwendig, um das Wasser, welches von den Erdbauwerken abläuft oder gegen dieselben hinfliesst, zu fassen und regelrecht abzuführen, entweder auf die umgebende Bodenfläche, wo es versickert und verdunstet, oder nach natürlichen Wasserläufen hin. An Dämmen sind gewöhnlich solche Gräben nicht nöthig, nur in besonderen Fällen muss für den Abzug des Wassers gesorgt werden, wenn z. B. solches von ausgedehnten Bodenflächen her sich am Dammfuss sammeln und zu dessen Durchweichung Veranlassung geben würde, oder wenn die Oberfläche des Dammes nur wenig über den umliegenden Boden hervorragt, so dass die Bettungssohle nicht entwässert wäre. (Siehe in dieser Hinsicht Th. II, Nr. 15.) In Einschnitten dagegen sind am Fusse der Böschungen beiderseits immer Gräben anzulegen, da der Einschnitt selbst wie ein grosser Entwässerungsgraben wirkt, in dessen Sohle sich das Wasser aus den umgebenden Bodenschichten sammelt; ausserdem können auch sogenannte Hintergräben oberhalb der Böschungen erforderlich werden, wenn nämlich zu befürchten wäre, dass bei starken Regengüssen aus der Umgebung des Einschnittes grössere Wassermengen auf die Böschungen gelangen und dieselben zerstören könnten.

Die Grösse der Gräben richtet sich ganz nach dem Bedürfniss. Haben dieselben nur das Tagwasser abzuführen, so genügen in unseren Gegenden im Allgemeinen Tiefen von etwa 0·75 *m* bei einer Sohlenbreite von 0·3—0·4 *m* unter der Voraussetzung, dass die Böschungen das gewöhnliche Neigungsverhältniss $tg\,\varepsilon = 1{\cdot}25$ bis 1·5 erhalten. Würden steilere Böschungen zur Ausführung gebracht, indem man den Graben zur Ersparung von Raum zwischen Mauern anlegte, so wären die bezeichneten Masse um so viel zu vergrössern, dass ein gleicher Querschnitt wie vorhin herauskäme. Grössere Abmessungen werden auch gewählt, wenn z. B. Einschnittsgräben

zugleich Quellen von bestimmtem Gehalt abzuführen haben, oder wenn die Böschungen des Einschnittes stark abbröckeln, um zu verhüten, dass die Gräben zu schnell durch den Schutt verlegt werden, oder dass dieser gar auf den Bahnkörper gelangt. Das Gefäll der Gräben hängt von mancherlei Umständen ab; einen Anhaltspunkt gewährt die Thatsache, dass eine gesicherte Wasserabführung nur durchführbar ist, wenn dasselbe mindestens 1 : 100 erreicht. Die Hintergräben erhalten gewöhnlich das Gefäll des Bodens, in welchem sie sich befinden; ist dieses zu gering, so giebt man ihnen Neigungen und Gegenneigungen von etwa 1 : 100 und führt das Wasser von Zeit zu Zeit quer über die Böschung herab zum Einschnittsgraben.

Die Begrenzungsflächen der Gräben werden, wie die Böschungen, in der Regel mit guter Erde bedeckt und besamt oder mit einem Rasenbeleg versehen. Letzteres ist nothwendig, wenn die Sohle eine Neigung von 1 : 50 erreicht, oder wenn von vorneherein fliessendes Wasser abzuleiten ist, so dass eine Begrünung durch Ansäen nicht zu Stande käme. Einen noch besseren Schutz gewährt eine Pflasterung, welche deshalb hauptsächlich bei starken Sohlneigungen zur Verwendung kommt, um das Ausspülen des Grabens zu verhüten, wobei dann auch noch wasserundurchlässige Unterlagen unter den Steinen u. dgl. m. empfohlen werden können. Ganz besondere Vorsicht endlich verlangt die Ausführung der über die Böschungsflächen zu führenden Abfallrinnen, da in ihnen die Geschwindigkeit des abstürzenden Wassers eine sehr grosse wird. Sie erhalten öfters einen muldenartigen Querschnitt, werden mindestens gepflastert, manchmal gemauert, öfters treppenartig in den Boden eingeschnitten.

An sie schliessen sich eigentlich noch besondere, mit Steinen ausgefüllte Entwässerungsgräben, sogenannte Dohlen an, von welchen jedoch zweckmässiger bei Besprechung der Massnahmen zum Schutze der Böschungen die Rede sein wird.

6. Gleichgewichtsstörungen bei Erd-Bauwerken. Wenn der Gleichgewichtszustand bei Dämmen und Einschnitten gestört wird, entweder dadurch dass die angreifenden Kräfte aus irgend welchen Ursachen anwachsen, oder die Grösse der

widerstehenden Kräfte eine Verminderung erfährt, so treten Erscheinungen verschiedener Art ein, welche mit den Namen „Abrutschungen oder Quellungen" bezeichnet werden, je nachdem sich nur ein Theil des Erdbauwerks ablöst und auf dem in Ruhe verbleibenden Theile abwärts gleitet, oder die ganze Masse in Folge Aenderung ihres Zusammenhangs in Bewegung geräth.

Handelt es sich bei Erscheinungen der ersten Art nur um kleine Massen, welche sich ablösen und über die Böschung rollen, so spricht man von Abbröckelungen, wenn dagegen die sich lösenden Massen bedeutender sind und dabei ausgesprochene Rutschflächen entstehen, von Massenstürzen. Letzteren verwandt sind Abrutschungen von Erdmassen auf sogenannten natürlichen Gleitflächen, welche schon ursprünglich vorhanden waren, aber erst nach Ausführung des Erdbaues aus verschiedenen Gründen wirksam werden. Alle übrigen Erscheinungen, wobei grössere Erdmassen breiartig werden oder durch Nachgiebigkeit der Unterlagen allen Zusammenhalt verlieren und in Folge dessen aus einander fliessen, oder sich lothrecht verdrücken, werden zu den Quellungen gerechnet.

Der Grund von Abbröckelungen ist in der zunächst noch oberflächlichen Verminderung von Reibung und Cohäsion zu suchen, wie sie durch Eindringen von Wasser, durch Frost und Verwitterung, manchmal auch durch Erschütterungen hervorgerufen wird. Aus ihnen können sich unter Umständen auch Massenstürze entwickeln, häufiger jedoch liegt deren Ursache in einem ungeeigneten Böschungsverhältniss, in Ansammlung von Wasser innerhalb der angeschnittenen oder aufgetragenen Erdmassen, oder auch in Unterspülungen des Böschungsfusses.

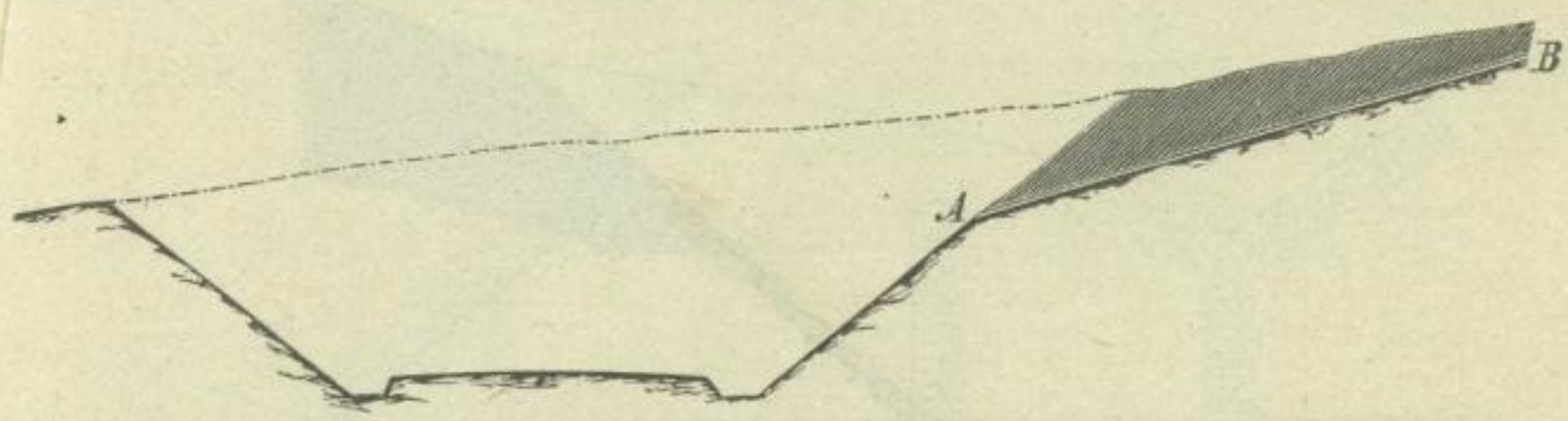
Ebenso verschiedenartig sind die Gründe, welche Abrutschungen auf natürlichen Gleitflächen veranlassen können. Der einfachste, jedenfalls auch hierher zu zählende Fall ist wohl der, dass ein Damm auf abschüssigem Boden aufgeschüttet wurde, längs welchem die zuerst vorhandene Reibung eine allzugrosse Verminderung erlitt, nachdem Regenwasser in grösserer Menge eingesickert war.

Besondere Gefahren können sodann entstehen, wenn unter wasserdurchlässigen Bodenschichten eine geneigte lehmige oder thonige Schichte sich befindet, auf welcher das bis zu ihr gelangte Sickerwasser abfliesst und sie glatt und glitscherig macht. Wird eine solche Schichte von einer Einschnittsböschung durchschnitten, so wird der ursprüngliche Gleichgewichtszustand der Massen gestört und es kann dann kommen, dass die ganze über dieser Schichte befindliche Erdmasse auf einer Seite des Einschnittes in Bewegung geräth. Aber selbst ohne dass eine derartige Rutschfläche angeschnitten wird, kann durch einfache Belastung derselben eine Störung des Gleichgewichtszustandes eintreten, indem hierdurch die Widerstände längs derselben aufgehoben werden, wenn z. B. ein hoher Damm über einer Bodenfläche aufgeführt wird, unter welcher in mässiger Tiefe die fragliche Gleitfläche durchstreicht.

Nun noch einige Beispiele über Quellungen. Besonders häufig werden solche an Dämmen aus ungeeignetem Schüttungsmateriale beobachtet oder bei Einschnitten in nassem Lehm- und Thonboden. Im ersten Fall kann es vorkommen, dass ein schon geraume Zeit standfester Damm plötzlich aus einander geht, wenn in Folge ungewöhnlich lang anhaltender Regengüsse eine starke Durchweichung desselben zu Stande gekommen, oder dass in lettigen Einschnitten durch Hervordrängen von Quellwasser die Massen geradezu flüssig werden und nur mit schweren Geldopfern, zuweilen überhaupt nicht mehr, zum Stehen gebracht werden können. Wieder andere Erfahrungen hat man beim Uebersetzen von Mooren und alten Seeböden machen müssen, wo die aufgebrachten Schüttungsmassen förmlich in den Untergrund versanken, während die verdrängten weichen Schichten seitlich in die Höhe quollen, bei Mooren insbesondere trat dieses Versinken zuweilen plötzlich und unerwartet ein, wenn nämlich eine festere obere Deckschichte vorhanden war, welche bei zunehmender Belastung zum Bruche kam. Es fragt sich nun, welche Massregeln zum Schutz der Erdbauwerke in den verschiedenen Beziehungen zur Anwendung kommen müssen. Hierüber sollen die nächsten Abschnitte Aufschluss gewähren.

7. Massregeln zur Verhütung von Gleichgewichtsstörungen in Einschnitten. Der erfahrene Ingenieur wird natürlich schon in erster Linie bei Festlegung der Bahnachse alle Stellen zu vermeiden suchen, wo gefährliche Zustände sich ergeben könnten, er wird in einigermassen bedenklichen Fällen doppelte Vorsicht bei Bestimmung des Böschungsverhältnisses anwenden und gute Schutzdecken für die Böschungen recht bald zur Ausführung bringen, ausserdem aber, wenn irgend ein Grund zu einer Gleichgewichtsstörung vorliegt, die entsprechenden Vorkehrungen dagegen treffen. Die in letzterer Hinsicht gewöhnlich vorkommenden Fälle sollen im Folgenden kurz zur Sprache gebracht werden. Einige einschlägige Bemerkungen sind auch schon in Nr. 3 gegeben worden.

Fig. 10.

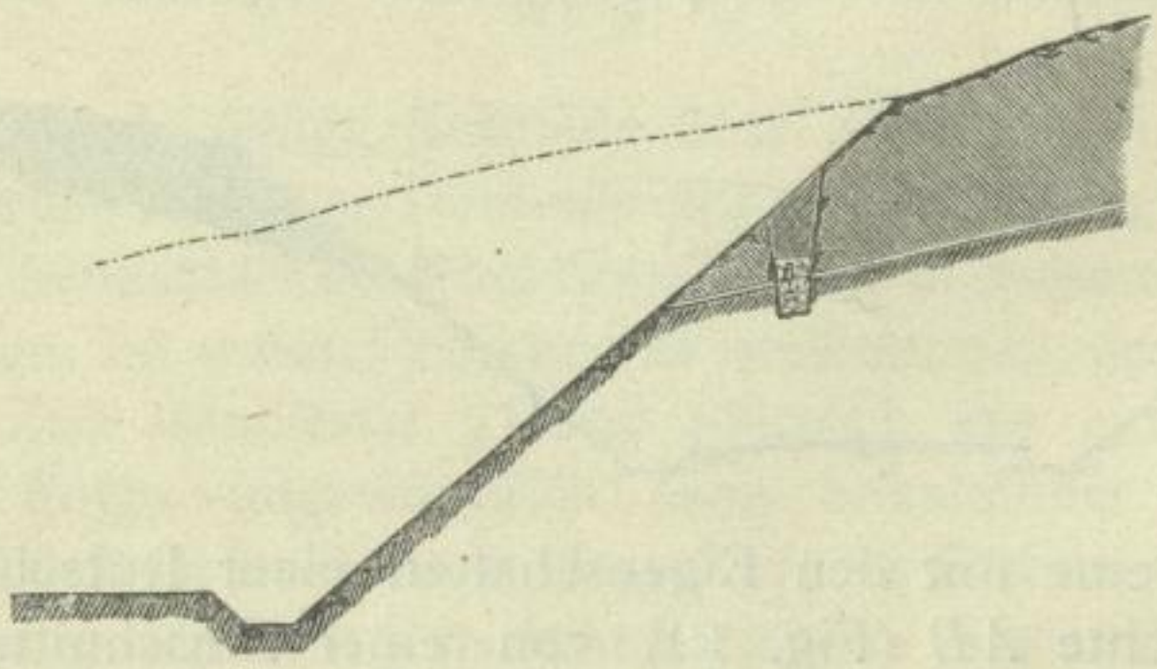


Wird eine mit den Eigenschaften einer Rutschfläche begabte Schichte *AB* (Fig. 10) von einer Einschnittsböschung durchschnitten, so kann es sich empfehlen, falls dieselbe nicht allzutief unter der Bodenoberfläche liegt, sie blosszulegen oder zu entlasten, d. h. die ganze über ihr befindliche und dem Absturze ausgesetzte Erdmasse zu beseitigen. Bei tieferer Lage derselben kann statt dessen die Anlage von Steinpackungen und Mauern am Platze sein, welche, die Schichte durchschneidend, nicht nur zur Entwässerung derselben beitragen, sondern auch kräftige Widerlager bilden an Stelle der Erdmassen, welche bei Ausführung des Einschnittes weggenommen werden mussten.

Manche Gleitflächen verlieren ihre Gefährlichkeit, wenn sie entwässert werden. Hierzu genügt mitunter schon das einfache Anschneiden (Fig. 10). Ist dies nicht der Fall, etwa weil zu viel Wasser längs der fraglichen Schichte ankommt, so dass

Durchweichungen der Böschungen eintreten könnten, namentlich im Winter, wenn der Wasserabzug durch die gefrorene Oberfläche gehindert wird, so ist eine künstliche Entwässerung angezeigt, am einfachsten nach Fig. 11 mittelst einer Längsdohle, d. h. eines, gleichlaufend mit der Bahnachse angelegten Grabens, welcher die Schichte durchschneidet, deren Wasser in sich aufnimmt, der Länge nach ableitet und von Zeit zu Zeit in Querabzweigungen den Hauptgräben zuführt. Die Sohle des Grabens, mit einer Neigung von mindestens 1 : 100, muss unter Frostlinie liegen und, um ein Versickern des Wassers zu verhüten, in der Regel gepflastert werden. Auf sie kommt, bis über die wasserführende Schichte reichend, eine Füllung aus Steinbrocken, manchmal auch noch zu unterst ein Strang

Fig. 11.



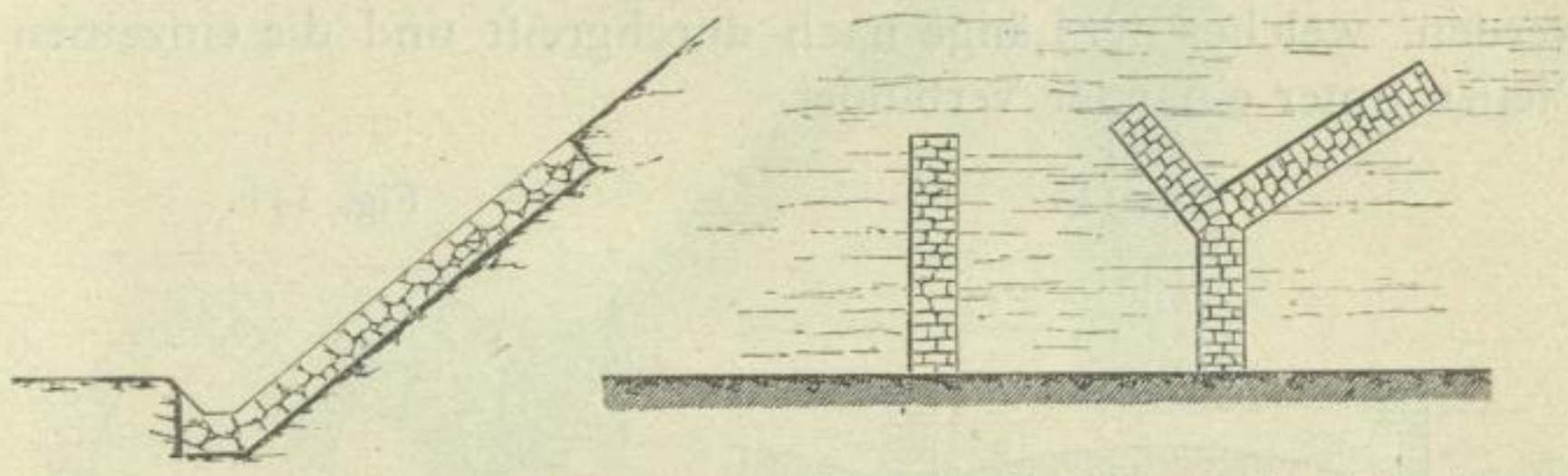
Drainirungsröhren. Der Raum über den Steinen kann mit gewöhnlicher Erde ausgefüllt werden, nachdem durch eine Abdeckung derselben mittelst Lehm oder plattenartigen Steinen der Verschlammung vorgebeugt worden ist. Da es sich hiernach nicht um einen offen bleibenden Grabenraum handelt, giebt man ihm möglichst steile Seitenwände. Er wird entweder als Schlitz von oben her eingeschnitten oder aber durch Abtragen der ganzen Masse oberhalb der Rutschfläche bis zur inneren Böschung der Dohle und nachträgliches Wiederanfüllen hergestellt.

In ähnlichen Fällen kann es räthlich sein, die Entwässerungsdohle tiefer in den Berg zu rücken, so dass das Wasser aus der fraglichen Schichte früher abgezogen und dadurch eine grössere Erdmasse zwischen Dohle und Einschnittsböschung

standfest gemacht wird, die dann als natürliches Widerlager sich vermöge ihres Gewichtes einer etwaigen Bewegung der rückwärts gelegenen Massen entgegensetzt, ja man kann noch einen Schritt weiter gehen, die ganze Masse von der Stelle, wo die Entwässerungsdohle zur Ausführung kommen musste, abheben und durch eine schwere Steinpackung ersetzen.

Tritt an einzelnen bemerkbaren Stellen der Einschnittsböschung Grundwasser hervor, wie dies besonders in thonigem, von Sand- und Kiesadern durchzogenen Boden der Fall ist, und müssen in Folge dessen stellenweise Erweichungen und Abstürze befürchtet werden, so kann man öfters ziemlich leicht Abhilfe dadurch schaffen, dass man, wie in Fig. 12 angedeutet ist, das Wasser, wo es zu Tage tritt, fasst und möglichst rasch nach den Einschnittsgräben abführt, indem man flache, mit

Fig. 12.



Steinen auszupackende Sickergräben in die Einschnittsböschung legt, deren Unterfläche entweder, wie in Fig. 12, gleichlaufend mit der Vorderböschung gemacht, oder treppenartig in den festen Untergrund eingeschnitten wird. Sind die quellenden Stellen weiter aus einander gelegen, so erhält jede derselben eine in der Fallrichtung der Böschung sich erstreckende Dohle; näher zusammenliegende Stellen können durch schiefe Arme gefasst und dann in einem gemeinschaftlichen Hauptstrange zum Einschnittsgraben geführt werden.

Tritt das Wasser nicht so bestimmt an deutlich wahrnehmbaren Stellen hervor, sondern vertheilt es sich mehr über grössere Flächen der Böschung, so empfiehlt es sich, die vorhin erwähnten Sickergräben durch Ausführung in grösseren Abmessungen in schwere, liegende Steinkörper umzuwandeln, welche zugleich durch ihr Gewicht zur Stützung der

leicht beweglichen Massen und zur Erzielung einer gewissen Verspannung in denselben dienen können. Ihre Unterfläche wird, wie in Fig. 13, treppenartig oder aber eben gebildet, ersteres besonders, wenn ihr Fuss kein ganz sicheres Widerlager findet. Sollte dies nicht ausreichen, so müsste ein künstliches Widerlager in Form einer Steinpackung hergestellt

Fig. 13a.

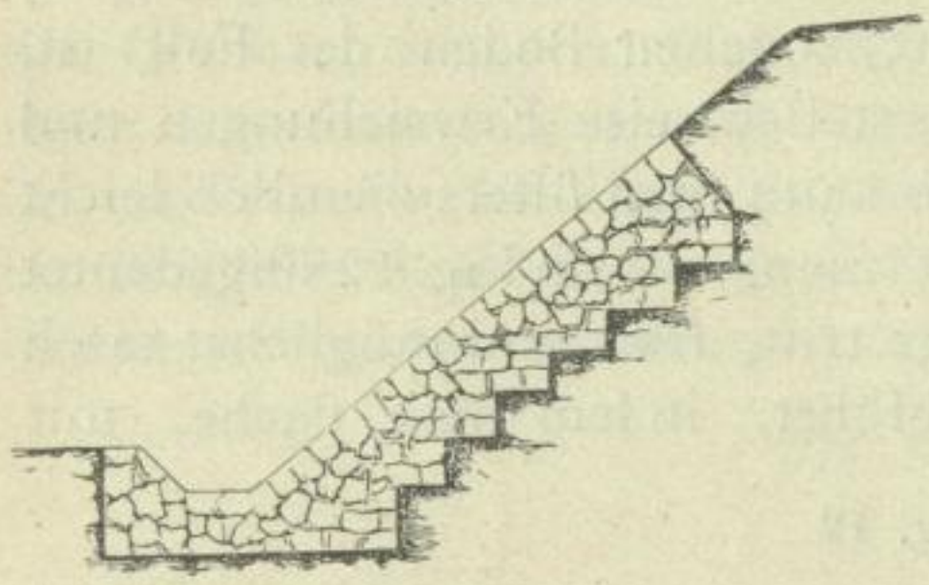
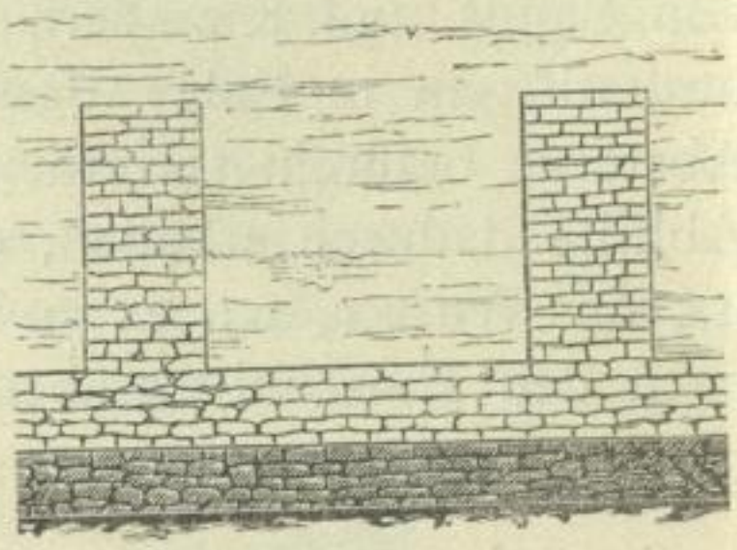


Fig. 13b.



werden, welches der Länge nach durchgreift und die einzelnen Pfeiler unter einander verbindet.

Fig. 14a.

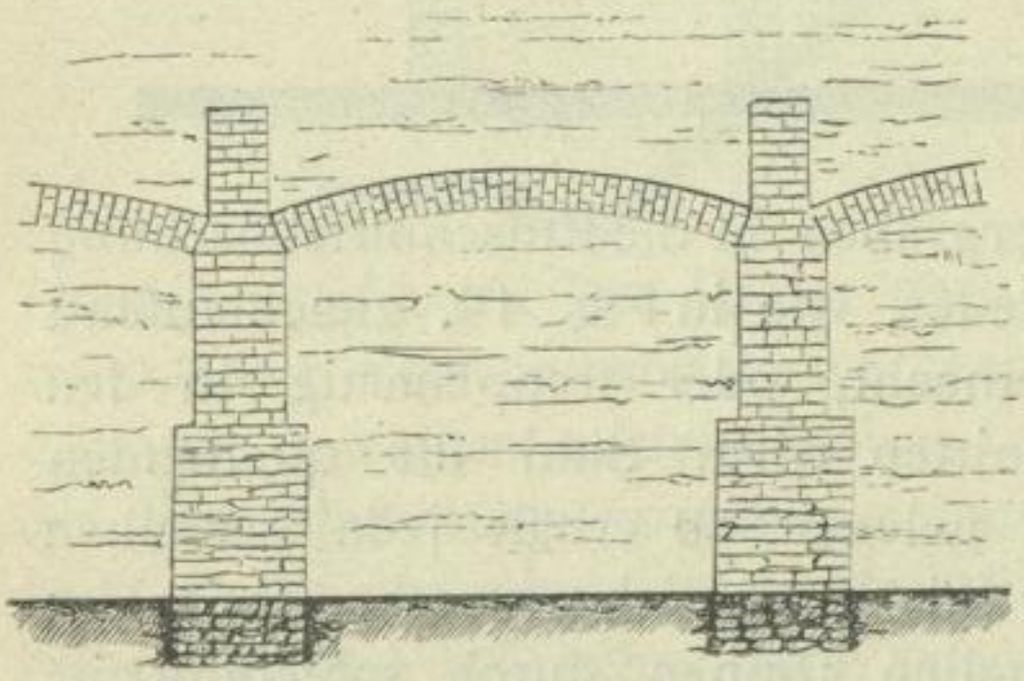
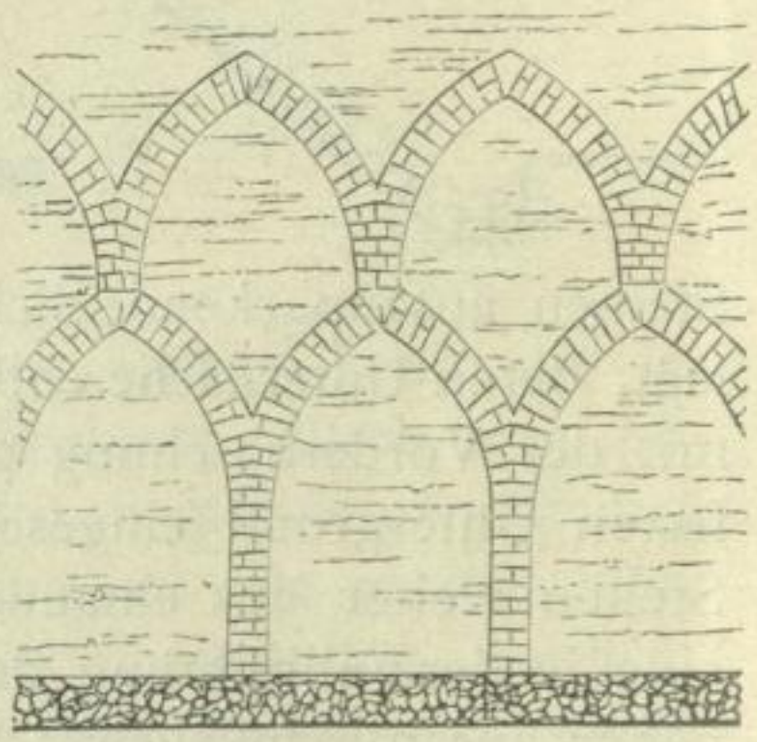


Fig. 14b.



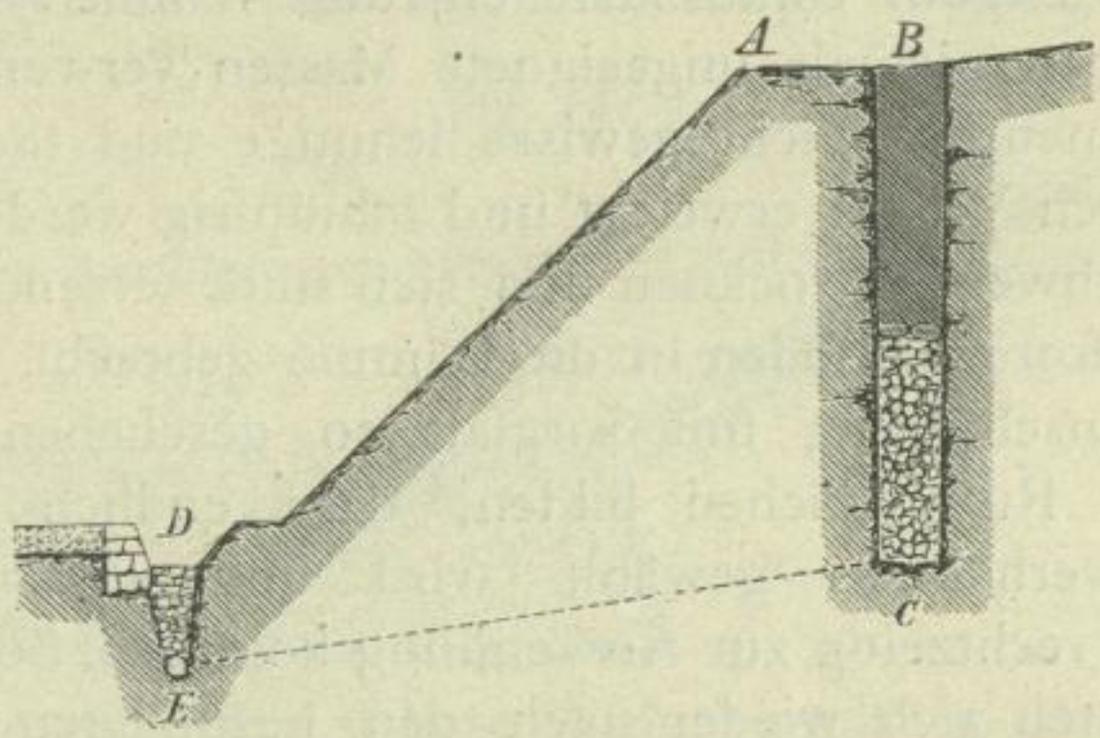
Die durch Anlage von Pfeilern erstrebte Wirkung wird wesentlich durch bogenartige Steinkörper zwischen den Pfeilern nach Fig. 14a und 14b verstärkt, eine Anordnung, welche dann besonders am Platze ist, wenn über durchweichten Schichten feste Massen gelagert sind.

Ist die Einschnittsböschung ihrer ganzen Ausdehnung nach von Wasser durchzogen, aber nicht allzustark durchweicht, so kann eine Oberflächenentwässerung empfohlen werden, in der

Art, dass man in die Böschung ein Netz von Gräben legt, die bei einer Tiefe von circa 1 *m* mit Steinen ausgefüllt oder mit Drainirungsröhren versehen werden. Dieselben liegen entweder schief zur grössten Fallrichtung der Böschung und münden alle in den Einschnittsgräben, oder sie laufen der Länge nach durch und stehen dann mit den Einschnittsgräben durch Quergräben in Verbindung.

Bei stärkerer Durchweichung genügt eine solche Oberflächenentwässerung nicht mehr, sondern es muss, wie man sich ausdrückt, eine Tiefendrainage angewendet werden, welche in der früher beschriebenen Anlage zur Entwässerung von Rutschflächen, jedoch in vergrössertem Massstabe, besteht. Man sucht

Fig. 15.



nämlich ein mehr oder weniger massiges Widerlager dadurch zu Stande zu bringen, dass man nach Fig. 15 hinter der Einschnittskante *A* einen tiefen Sickerschlitz *BC*, oder bergmännisch hergestellte Schächte und Stollen, und am Rande der Einschnittssohle, unter dem Graben, ebenfalls eine Dohle *DE* ausführt.

Sehr schlimme Verhältnisse können sich auch ergeben, wenn unter der Einschnittssohle von Wasser erweichte Massen liegen, weil dann die früher erwähnten „Quellungen" eintreten können, zuweilen verbunden mit einer Annäherung der Böschungen an einander. In einem solchen Falle wird man auch zuerst eine Entwässerung der Sohle versuchen, oder wenn die Durchweichung auf zu grosse Tiefen hin vorhanden ist, die weichen Massen zum Theil ausheben und durch eine schwere

Steinpackung ersetzen, über welche sodann auch noch Pfeiler aufgeführt werden können, zur Verhütung des seitlichen Ausweichens der Böschungen. Ist der Einbau eines massigen Steinfundamentes in der Sohle nicht erfolgt und sollen doch Pfeiler zur Stützung der Böschungen zur Ausführung kommen, so können die erforderlichen Fundamente für dieselben in Form von bogenförmigen Steinpackungen, welche quer unter der Sohle durchreichen und nach unten gekrümmt werden, um Widerstand gegen das Emporquellen zu leisten, und wohl auch durch Verbindungsbauten zwischen diesen Bögen längs dem Böschungsfuss geschaffen werden.

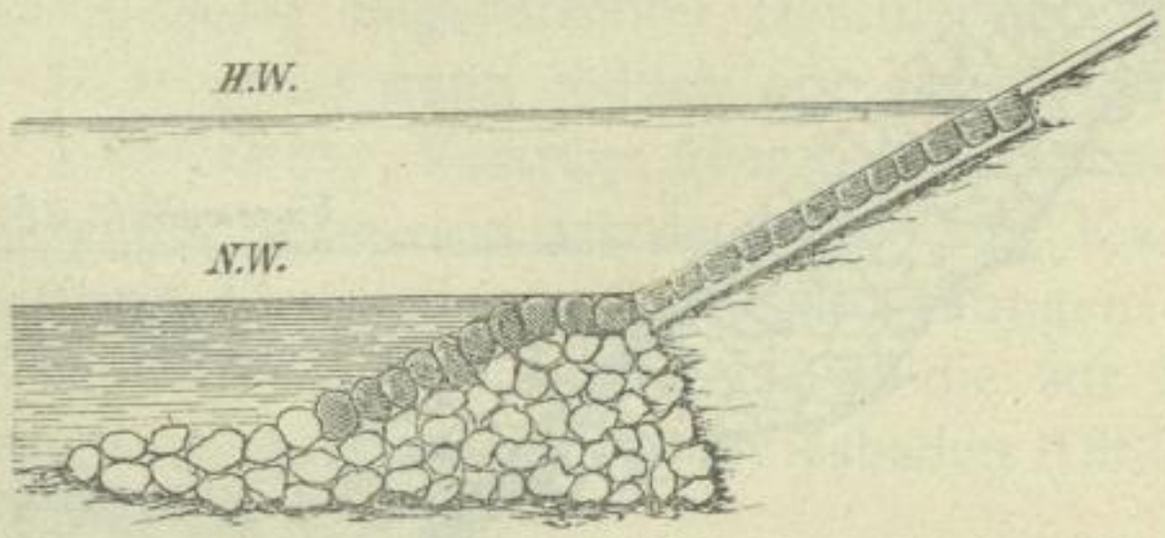
8. Massregeln zur Verhütung von Gleichgewichtsstörungen an Dämmen. Auch hier sind zunächst einige allgemeine Regeln vorauszustellen, dass nämlich zur Bildung von Dämmen niemals ungeeignete Massen verwendet werden dürfen, namentlich nicht gewisse lehmige und thonige Erden, welche durch Wasser erweicht und schlüpfrig werden, nass verwendet, schwer austrocknen und sich stark setzen, dass weiter niemals gefrorener Boden in die Dämme gebracht werden darf und die Anschüttung mit Sorgfalt so geschehen muss, dass sich keine Rutschflächen bilden, dass endlich das richtige Böschungsverhältniss gewählt wird und ausreichende Bedeckungen rechtzeitig zur Anwendung kommen. Sonstige Massregeln richten sich wieder nach den besonderen Umständen.

Kommen Dämme auf stark geneigten Boden zu stehen, so müssen treppenartige Einschnitte gemacht werden, mehrere Meter lang und ungefähr 0·5 bis 1·0 *m* tief, entweder in der Art, dass das in ihnen sich sammelnde Wasser seitlich ausfliessen kann, oder dass dasselbe in der Richtung der Bahnachse Abzug findet. Hierzu kämen noch längs dem Dammfuss hergestellte Widerlager aus angestampfter Erde oder Steinsatz, welche bei einer Verschiebung des Dammes in Mitleidenschaft gezogen werden müssten.

Wird ein Damm zeitweilig durch das Hochwasser eines benachbarten Wasserlaufes oder Sees bespült, so genügt in vielen Fällen eine mit Rasen belegte flache Böschung mit drei- bis viermaliger Neigung ($tg\ \varepsilon = 3$ bis 4), oder eine $1^1/_2$- bis 2malige gepflasterte Böschung. Grössere Vorsicht ist nöthig, wenn die

Dammböschung das Ufer des Wasserlaufes oder Sees auch bei niedrigen Wasserständen bildet. Dann stellt man, wenn Steine zur Verfügung sind, einen festen Fuss aus zusammengeworfenen Stücken her, welche, sobald eine Unterspülung eintreten will, nachrollen und die Lücken füllen. Nach obenhin werden die Steine allmählich lagerhaft geordnet und schliesslich in eine Pflasterung übergeführt. Wäre die Gefahr der Unterspülung besonders dringend, so müsste man vor Ausführung des Steinwurfs eine Spund- oder Pfahlwand längs dem Dammfuss, d. h. eine Reihe dicht neben einander geschlagener Pfähle, welche oben durch angeschraubte Längshölzer mit einander verbunden werden, herstellen. Der in der einen oder anderen Weise gebildete Steinfuss, dessen obere Fläche ungefähr auf gleiche Höhe mit dem Niederwasser gelegt wird,

Fig. 16.



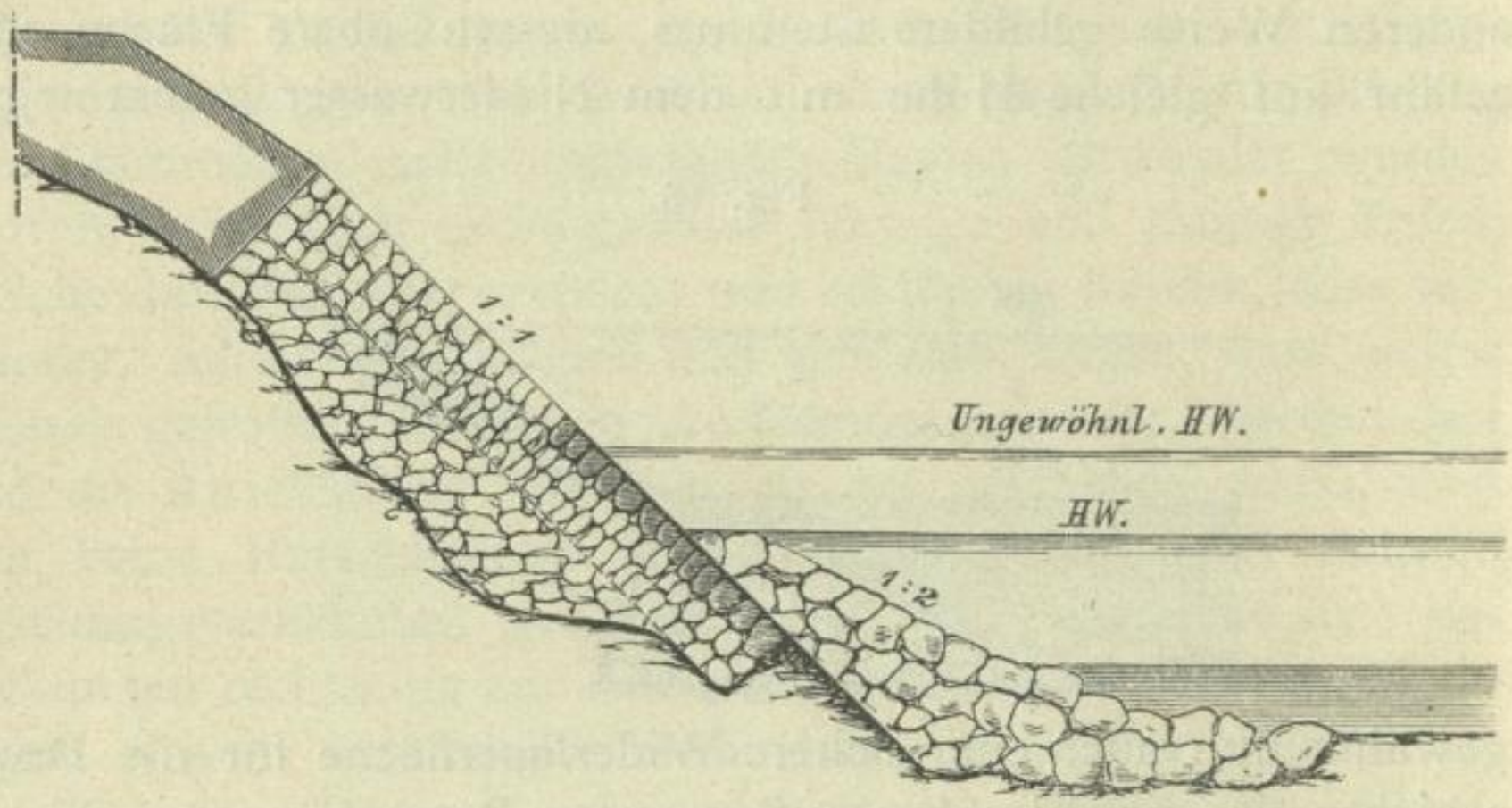
gewährt nun auch eine sichere Widerlagerfläche für die Deckschichte des sich darüber aufbauenden Dammkörpers, welcher in diesem Falle aus möglichst widerstandsfähigem, von Wasser nicht erweichbarem Material bestehen soll. Wäre man genöthigt, Massen zu verwenden, die der Einwirkung des Wassers nicht zu widerstehen vermögen, so müsste man die Pflasterung mit möglichst gedichteten Fugen ausführen.

Fig. 17 giebt endlich noch ein Beispiel starker Schutzbauten, wie sie an der Gotthardbahn zuweilen Anwendung fanden. Die Dämme zeigen Steinpackungen mit einmaligen, sorgfältig gepflasterten Vorderböschungen, deren Pflasterdecke, vom festen Boden ausgehend, bis 1 *m* über die ungewöhnlichen Hochwasserstände reichen. Vor diesem prismatischen Steinkörper wurde dann noch ein Steinwurf mit zweimaliger Böschung eingebracht, dessen 2 *m* breite Krone auf die gewöhnliche

Hochwasserlinie gelegt war und welcher aus Brocken zusammengesetzt wurde, doppelt so gross wie die vom gefahrdrohenden Flusse geführten Geröllstücke. Nach oben wurden auch diese Brocken so gut wie möglich pflasterartig geordnet.

Wären durch Platzmangel steilere Böschungen angezeigt, so müsste man zu Trockenmauern und selbst gemörtelten Stützmauern greifen, wovon schon bei anderer Gelegenheit die Rede war, und sollte Mangel an Steinen herrschen, so blieben Faschinenbauten anzuwenden übrig, auf deren Besprechung hier nicht eingegangen werden kann.

Fig. 17.



Dagegen sind noch einige Massregeln zur Sprache zu bringen, welche in Frage kommen, wenn der Boden, auf welchem ein Damm zur Ausführung gelangen soll, Gefahren für dessen Bestand in sich birgt. Ist z. B. in dem sonst guten Untergrund eine Rutschfläche vorhanden, längs welcher bei starker Belastung eine Bewegung erfolgen könnte, so wird man zuweilen durch Entwässerung derselben mittelst Sickergräben oder selbst bergmännisch hergestellten Schlitzen Abhilfe schaffen können, welche auf der Bergseite des Dammes, oder auch zu beiden Seiten desselben anzulegen wären. In Verbindung damit können dann noch künstliche Widerlager zweckmässig sein, wie sie schon als Schutzmittel für Dämme auf abschüssigem Boden angeführt worden sind. Wäre der

ganze Untergrund durchnässt, so müsste eine regelrechte Drainirung platzgreifen, und wäre derselbe gar moorig oder schlammig, so müsste man mindestens auf einen bedeutenden Aufwand an Schüttmaterial gefasst sein, da in solchem Falle der Damm so lange einsinken würde, bis fester Untergrund erreicht oder eine so starke Zusammenpressung der unteren Schichten bewirkt wäre, dass sich in Folge dessen ein Gleichgewichtszustand einstellte. Um an Material zu sparen, wird man zuweilen Rostbauten oder Faschineneinlagen anwenden und dadurch auch ein gleichmässiges Setzen erzielen; in einzelnen Fällen ist es schon gelungen, einen natürlichen Rost dadurch zu gewinnen, dass man von der festen oberen Schichte eines Moores einen Streifen mittelst Längsgräben zu beiden Seiten des Dammes abtrennte.

Bei tieferem Eingehen auf die Sache müsste noch von der Wiederherstellung abgerutschter Dämme und Einschnitte gesprochen werden; hier kann jedoch nur auf die einschlägige Literatur, z. B. Winkler, Vorträge über Eisenbahnbau, 5. Heft, Eisenbahnunterbau, verwiesen werden, dann auf Kaven, Die Rutschungen und Beschädigungen der Böschungen der Erdbauten bei Eisenbahnen und Strassen und die zur Sicherung und Reparatur angewandten Mittel, Wiesbaden 1883.

ZWEITER THEIL.

Oberbau sammt Gleisverbindung.

A. Oberbau.

Gegenwärtig, und wahrscheinlich noch auf längere Zeit hinaus, zeigt der Oberbau der meisten Bahnen in der Hauptsache eine Anordnung, wie sie schon bei den ersten eigentlichen Eisenbahnen seit Anfang der Dreissiger Jahre üblich geworden ist. Nur nebenher kommen neuere Anordnungen, der sogenannte eiserne Oberbau, in Anwendung, welche voraussichtlich in Zukunft eine grosse Bedeutung erlangen werden, vorerst aber die Versuchszeit noch nicht überschritten haben. Es empfiehlt sich deshalb, bei den folgenden Betrachtungen in erste Linie den in seiner Ausbildung ziemlich abgeschlossenen „älteren Oberbau" zu stellen und nachträglich erst die Bestrebungen zur Umbildung desselben in den „eisernen Oberbau" zu bringen.

I. Die herrschenden Oberbauconstructionen.

Bei denselben kann man drei, scharf von einander getrennte Haupttheile unterscheiden: 1. Die eigentlichen Fahrschienen, auf welchen die Räder laufen, sammt den Mitteln zu ihrer Befestigung; 2. die Unterlagen, welche Befestigungsstellen für die Schienen bieten und eine genügende Druckvertheilung nach unten bewirken sollen; 3. die Bettung, eine Schichte aus klein geschlagenen Steinen und dergleichen mit der Bestimmung, das eindringende Niederschlagswasser rasch aus der Umgebung der Unterlagen zu entfernen und die Belastung der Fahrzeuge auf den eigentlichen Erdkörper (Unterbau) zu übertragen.

Die Fahrschienen.

1. Schienenquerschnitt. Eintheilung der Schienen mit Rücksicht auf denselben. Der Querschnitt der Schienen hat im Laufe der Zeit manche Wandlungen erfahren und zuweilen Formen angenommen, welche heute nur noch ein geschichtliches Interesse in Anspruch nehmen können. Fasst man nur jene in's Auge, welche durch ausgedehnte Verwendung eine grössere Bedeutung erlangt haben, so lassen sich drei Gruppen von Schienen unterscheiden: Flachschienen, Stuhlschienen und breitfüssige Schienen.

Der Querschnitt der *Flachschienen* ist ein liegendes Rechteck, zuweilen mit Versteifungsansätzen versehen. Sie wurden in Verbindung mit hölzernen Langschwellen in der ersten Zeit der Locomotiveisenbahnen besonders dort verwendet, wo es sich um Ausnützung nahe gelegener Waldbestände und um möglichste Vermeidung schwer zu beschaffender Eisentheile handelte. In cultivirten Gegenden und sobald schwere Fahrzeuge besser entwickelte Querschnittsformen gebieterisch verlangen, kommen sie nicht mehr in Betracht. Mit Spurrinnen versehen, finden sie sich zur Zeit nur noch bei den Pferdebahnen, doch treten sie auch hier mehr und mehr in den Hintergrund. Es bleiben demnach nur die hochkantigen Stuhlschienen und die Schienen mit breitem Fuss übrig.

Die *Stuhlschienen*, welche ihren Namen von den besonderen, zu ihrer Verbindung mit den Unterlagen erforderlichen Stücken (den Stühlen) haben, besitzen einen T-förmigen Querschnitt. Derselbe wurde ursprünglich einfach T-förmig gebildet, später zur Verstärkung Doppelt-T-förmig, und in diesem Falle symmetrisch auch gegen die Horizontale, so lange man Gewicht auf die Umwendbarkeit der Schienen nach der Abnützung des einen Kopfes legte, oder aber mit zwei ungleichen Köpfen, besonders seit Verwendung des Flussmetalls, dessen grosse Ausnützungsfähigkeit eine sehr starke Abnützung des befahrenen Kopfes zulässt (Fig. 18a und 18b).

Der Wunsch, eine einfachere, unmittelbare Befestigung hochkantiger Schienen auf ihren Unterlagen zu ermöglichen, führte die Amerikaner auf die Erfindung der sogenannten *breitfüssigen Schienen*, welche zuerst nur auf hölzernen Lang-

schwellen, später auf Querschwellen und anderen Arten von Unterlagen unmittelbar aufgelegt und mit Nägeln und Schrauben befestigt wurden. Es entstanden so zwei Arten von breitfüssigen Schienen, die Brück- oder Brunel-Schiene Fig 19

Fig. 18a.

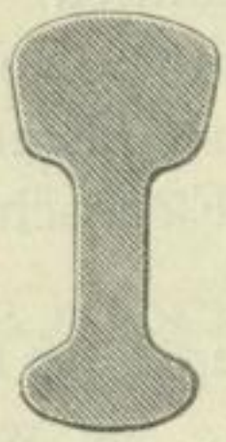


Fig. 18b.

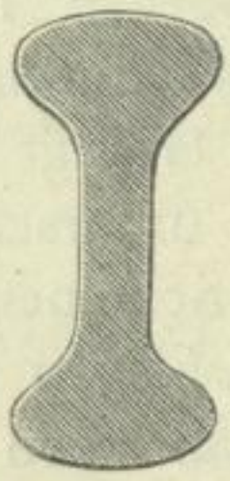
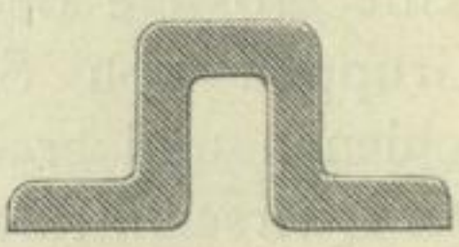


Fig. 19.



und die sogenannte Vignoles-Schiene Fig. 20 bis 22. Erstere trägt ihren Namen nach ihrer Form oder nach

Fig. 20a. Fig. 20b.

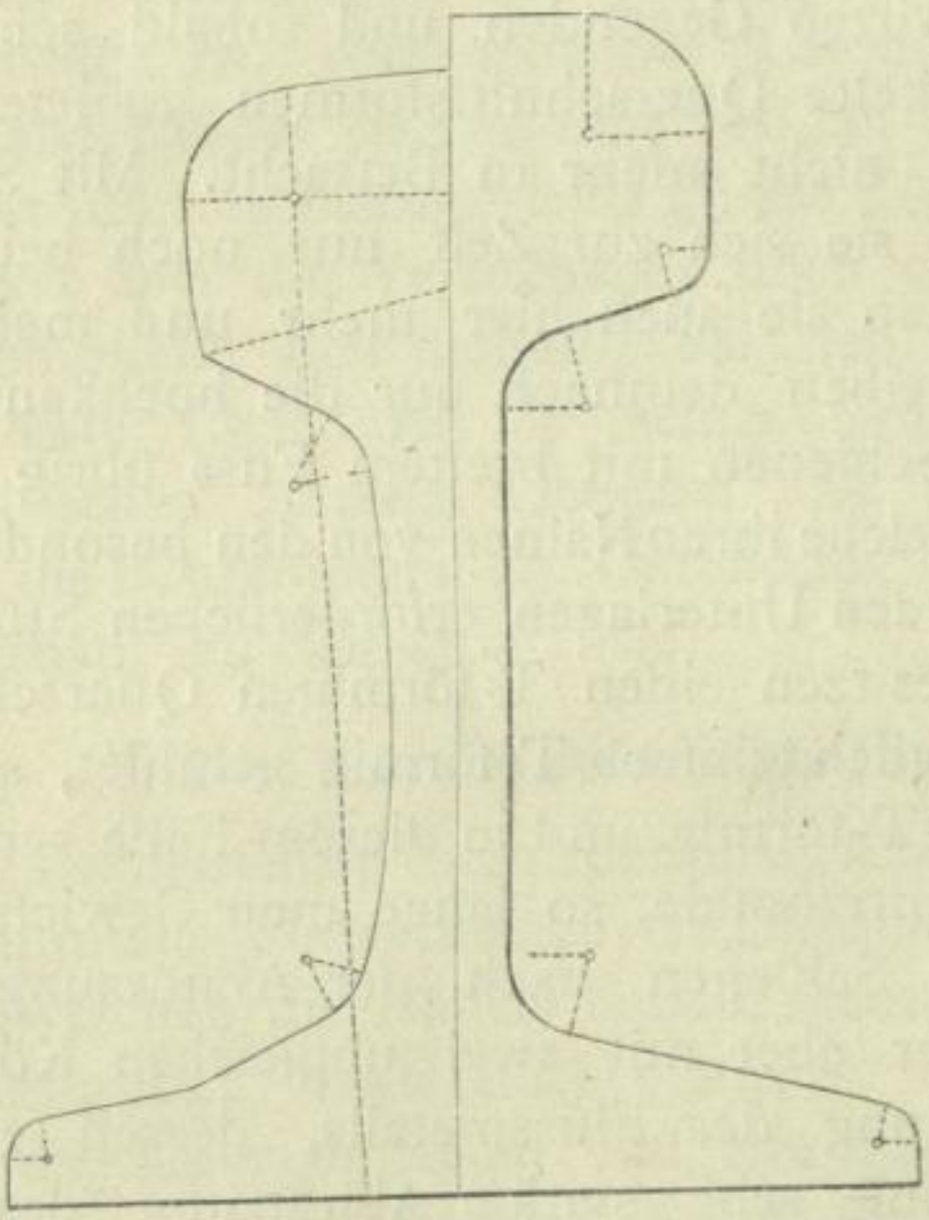


Fig. 21.

Fig. 22.

dem englischen Ingenieur Brunel, welcher von Einzelnen als deren Erfinder angesehen wird, während die Meisten sie den Amerikanern zuschreiben. Derselben überlegen, sowohl durch eine bessere Materialvertheilung im Querschnitt, wie auch durch leichtere Herstellung ist die Vignoles-Schiene, welche

von dem Amerikaner Stevens 1830 construirt und 1832 auf der Camden und Amboy-Bahn in New-Jersey zur Ausführung gebracht wurde, ihren Namen aber ziemlich allgemein nach dem Ingenieur Vignoles führt, durch den sie zuerst in Europa bekannt geworden ist.

Hier hat sie sich im Grossen und Ganzen mit der Stuhlschiene in die Herrschaft getheilt, nur in einzelnen Fällen konnte sie nicht gegen dieselbe aufkommen, oder hat sie umgekehrt entschieden zurückgedrängt. Hiervon wird demnächst noch die Rede sein, vorerst aber ist darzuthun, warum unter den genannten Arten gerade die Stuhlschiene und die breitfüssige Vignoles-Schiene den Vorzug verdienen.

Der Grund hiervon ist in der Doppelt-T-Form des Querschnittes zu suchen, welche für alle, nach Art der Schienen beanspruchte Träger die allein zweckmässige ist. Zwar kann der theoretischen Forderung einer möglichst bedeutenden Höhenabmessung, einer grossen Breite der Querbalken (Flantschen) des *T*, endlich einer möglichst geringen Dicke dieser Flantschen und des sie verbindenden Steges nur bis zu einem gewissen Grade entsprochen werden. Es ist dies durch allerlei Rücksichten auf die Standfestigkeit des Gleisstranges, die Fabrikation der Schienen, ihre Befestigungsweise u. dgl. m. geboten. Allein innerhalb der so bestimmten Grenzen kann die Materialvertheilung, namentlich bei den breitbasigen Schienen, als eine sehr befriedigende bezeichnet werden.

Die nächste Frage, ob die Stuhl- oder Vignoles-Schiene den Vorzug verdiene, lässt sich nicht ohneweiters beantworten, da für jede derselben Vor- und Nachtheile geltend gemacht werden können, welche je nach den besonderen Verhältnissen bald mehr, bald weniger in's Gewicht fallen. Interessant in dieser Hinsicht ist der Bericht einer vom Minister der öffentlichen Arbeiten in Frankreich aufgestellten Commission aus dem Jahre 1881, welche sich mit der Frage zu befassen hatte, welche Art von Schienen für das französische Staatsbahnnetz zu empfehlen sei. Nach diesem sehr eingehenden Berichte stellen sich die Anlagekosten bei dem Oberbau mit Vignoles-Schienen, da hier die Stühle in Wegfall kommen, niedriger wie beim Stuhlsystem, dagegen biete der Schienenstuhl mit breiter

Grundfläche wesentliche Vortheile bei Verwendung von Schwellen aus weichem Holz. Auch die Unterhaltungskosten schienen sich bei Anwendung der Vignoles-Schiene günstiger zu gestalten, wogegen die Leichtigkeit, mit welcher die Stuhlschienen ausgewechselt werden könnten, in manchen Fällen sehr vortheilhaft sei. Bei Verwendung von Stühlen kämen die Schwellen tiefer in die Bettung zu liegen und könnten deshalb höher mit Kies bedeckt werden, was vortheilhaft auf ihre Dauerhaftigkeit wirke, die früher erstrebte Umwendbarkeit der Schienen aber sei von zweifelhaftem Werthe. Die breitbasige Schiene besitze bei gleichem Gewicht eine grössere Steifigkeit wie die Stuhlschiene, die Gleise nach dem Stuhlsystem aber eine grössere Widerstandsfähigkeit gegen seitliche Angriffe, auch hielten sie die Spur in den gekurvten Gleisstrecken sicherer, dagegen verlange die Keilbefestigung der Stuhlschienen eine sehr sorgfältige Beaufsichtigung der Bahn. Auf Grund solcher Erwägungen kam die Commission zu dem Schlusse, dass keine der beiden Schienensorten unbedingten Vorzug vor der andern verdiene, vielmehr mit jeder derselben ein allen Anforderungen entsprechendes Gleis hergestellt werden könne. (Glaser's Ann. 1885, Bd. XVI, S. 64). Diese Darlegungen entsprechen in der That den obwaltenden Verhältnissen und es genügt, ihnen wenige Erläuterungen beizufügen über die Umwendbarkeit der Stuhlschienen, d. h. die Möglichkeit, nach Abnützung des einen Kopfes auch den anderen zur Verwendung zu bringen. Man hatte auf eine derartige doppelte Ausnützung der Schienen früher besonderen Werth gelegt und sie als einen Hauptvorzug der Stuhlschienen bezeichnet, gelangte jedoch allmählich zu der Ueberzeugung, dass die gehegten Hoffnungen zu weitgehende gewesen. Es zeigte sich nämlich, dass die Schienen an ihren Berührungsstellen mit den Stühlen kleine, kaum bemerkliche Eindrücke erlitten, die nach dem Umwenden einen unruhigen Gang der Fahrzeuge veranlassten; auch glaubte man bei gewendeten Schienen besonders häufig Brüche zu beobachten; was aber das Schlimmste war, selbst der verhältnissmässig wenig abgenützte Kopf der Schweisseisenschienen passte nicht mehr sicher genug in die Stühle, so dass man bei den sehr ausnützungsfähigen Flussstahlschienen schon aus diesem Grunde

von einem Wenden überhaupt absehen musste, ganz abgesehen davon, dass man bei den letzteren die Abnützung des einen Kopfes zweckmässig bis zur Erschöpfung der Tragfähigkeit der Schiene fortsetzt.

Nicht unbemerkt darf übrigens bleiben, dass die in der Querschnittsform begründeten Vorzüge der Vignoles-Schienen durch eingehende Versuche von Weishaupt[1]) (1851) dargelegt worden sind, welche damals zur Ausführung gelangten, als man zweifelhaft war, ob für die Gleise der neu zu erbauenden Preussischen Ostbahn Stuhl- oder Vignoles-Schienen zu wählen seien, und eine Entscheidung auf Grund der vorliegenden Erfahrungen nicht erzielt werden konnte. Das Ergebniss dieser Versuche lautete, wie schon bemerkt, entschieden zu Gunsten der Vignoles-Schienen und trug in der Folge sicherlich nicht wenig zu deren Anerkennung und Verbreitung bei. Am meisten durchschlagend war ihr Erfolg im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen, wo die Stuhlschienen fast ganz zurückgedrängt wurden, so dass beispielsweise im Betriebsjahre 1882/83 (abgesehen von Oesterreich-Ungarn) bei den deutschen Eisenbahnen neben 54097 *km*, welche mit breitbasigen Schienen hergestellt waren, nur 1178 *km* mit Stuhlschienen bestanden. Aber auch in anderen Ländern war dies in höherem oder geringerem Masse der Fall. Als Beispiel hiefür kann Frankreich gelten. Dort, wo die Vignoles-Schienen seit Mitte der Fünfziger Jahre nur auf einigen kleinen Versuchsstrecken bekannt geworden waren, kamen sie 1857 auf Vorschlag Nördling's zunächst auf den Neubaustrecken der Centralbahn in Aufnahme, von wo sie sich dann auch auf anderen Bahnnetzen einbürgerten. Gegenwärtig verwenden von den sechs französischen Eisenbahngesellschaften die Ost-, Nord- und Paris-Lyon-Mittelmeerbahn mit einer Gesammtlänge von 10.330 *km* ausschliesslich Vignoles-Schienen, die Orleans-, Süd- und Westbahn aber, von zusammen 9460 *km* Länge, fast ausnahmslos Stuhlschienen (Verhandlungen d. Ver. f. Eisenbahnkunde in Berlin 1885).

---

[1]) Untersuchungen über die Tragfähigkeit verschiedener Eisenbahnschienen etc. Von Th. Weishaupt, königl. Eisenbahn-Baumeister, Berlin 1852.

In England dagegen behielt die einheimische Stuhlschiene den unbestrittenen Vorrang, und die englischen Ingenieure sind zum grössten Theil auch heute noch der Ueberzeugung, dass die Nachtheile des Oberbaues mit Stuhlschienen durch seine Vorzüge mehr als aufgehoben werden. Weitere Betrachtungen über das Querprofil haben sich demnach mit Stuhl- und breitfüssigen Schienen zu befassen, sollen sich jedoch mit Rücksicht auf den Ver. Deutscher Eisenb.-Verw. hauptsächlich auf die letzteren beziehen.

Die Form der Umrisslinie im Einzelnen, wie auch Grenzen für die Hauptabmessungen des Querschnittes und deren gegenseitiges Verhältniss konnten sich bei den vielen dabei in Betracht kommenden Gesichtspunkten rein praktischer Natur selbstverständlich nur erfahrungsgemäss im Verlaufe längerer Zeit feststellen. Auf alle hierbei erschienenen Entwickelungsstufen einzugehen, kann nicht beabsichtigt sein, aber die wichtigsten Ergebnisse sollen erwähnt werden, und zwar unter Zugrundelegung von Querschnitten mit lothrechter Symmetrieachse, wie sie fast ausnahmslos Anerkennung gefunden haben.

Zu oberst wird der Schienenkopf durch einen flachen Kreisbogen begrenzt, dessen Halbmesser den Techn. Vereinb. d. Ver. Deutsch. Eisenb.-Verw. entsprechend, nicht kleiner als 200 *mm* angenommen werden soll; manche Ingenieure ziehen statt dessen eine senkrecht zur Achse gezogene gerade Linie vor. An diesen Bogen (oder die Gerade) schliessen sich (meist unmittelbar) beiderseits stärker gekrümmte, seitliche Begrenzungskreise an, mit Halbmessern von 7 bis 17 *mm* bei den älteren Profilen, während jetzt allgemein laut § 12 der Techn. Vereinb. bei Neubeschaffungen 14 *mm* angenommen wird, nachdem man erkannt hat, dass dies für den Uebergang der Wägen von Bahn zu Bahn unbedingt erforderlich sei (V. Supplementband, S. 39). Hierauf folgen entweder, wie in Fig. 20*a*, wiederum Kreisstücke, oder gerade Linien, meist gleichlaufend mit der Achse (Fig. 20*b*), deren Ausdehnung je nach der erstrebten Kopfhöhe gewählt wird. Besonders wichtig ist die Ueberführung des Kopfes in den Steg. Sie musste früher, als die Walztechnik noch nicht genügend ausgebildet war, mittelst

schlanker Curven ganz allmählich erfolgen, so dass „birnförmige" Köpfe (Fig. 21) entstanden; später, als die Leistungsfähigkeit der Walzwerke zugenommen hatte, kamen allgemein „unterschnittene" Köpfe auf (Fig. 22), welche bei besserer Vertheilung des Materials gegen die neutrale Achse des Querschnittes, namentlich auch eine sichere Verbindung der Schienen unter einander gestatteten. Diese Verbindung hatte man im Laufe der Zeit mit mancherlei Mitteln zu erzielen gesucht, ohne jedoch zu einem ganz befriedigenden Ergebnisse gelangen zu können, bis man endlich auf die jetzt allgemein verwendete Laschenverbindung überging, wobei die zwischen zwei auf einander folgenden Schienen entstehende Fuge durch zwei, beiderseits zwischen Fuss und Kopf eingelegte und mit den Schienenenden verschraubte Stossplatten (Laschen) gedeckt wird. Anfangs formte man die Berührungsstellen dieser Laschen (Laschenanschlussflächen) aus Gründen, welche später bei Besprechung der Verbindungsmittel der Schienen genauer betrachtet werden sollen, cylindrisch (Fig. 22), später aber, um eine Keilwirkung der Laschen zu erzielen, eben (Fig. 20). Der Steg selbst wird so dünn wie möglich gehalten, man giebt ihm entweder, wie Fig. 20*b* zeigt, gleiche Stärke durchaus, oder verstärkt ihn, um einen allmählichen Uebergang zu haben, von der Mitte nach unten und oben hin (Fig. 20*a*). Wie der Uebergang vom Kopf in den Steg, so erfolgt auch der vom Steg in den Fuss. Auch hier sind Laschenanschlussflächen zu bilden und es muss namentlich auf einen nicht zu jähen Uebergang von der Lothrechten in die Wagrechte gesehen werden, weil sonst die Vertheilung der Spannungen über die Querschnittsfläche zu ungleichmässig erfolgt und Verkrümmungen des breiten Fusses bei starken Betriebseinwirkungen leicht hervortreten können. Für die Randstärke des unten nach einer Geraden senkrecht zur Schienenachse begrenzten Fusses und für dessen Breite sind hauptsächlich Rücksichten auf die Herstellung massgebend.

Was nun die Hauptabmessungen des Schienenquerschnittes betrifft, so sind dieselben durch langjährige Erfahrungen zwischen ziemlich enge Grenzen eingeschlossen. Für Hauptbahnen werden auch die Eisenschienen, falls sie in der gewöhnlichen

Weise durch Querschwellen unterstützt werden, jetzt kaum unter 130 *mm* hoch genommen. Die Breite des Kopfes liegt zwischen 57 und 60 *mm*, die des Fusses zwischen 100 und 110 *mm*. Der Steg wird an seiner dünnsten Stelle im Durchschnitt 15 *mm*, die Randstärke des Fusses etwa 10 *mm* betragen. Für die Neigungen der Laschenanschlussflächen gegen die Unterfläche der Schienen können Verhältnisse zwischen 1 : 4 und 1 : 2 festgehalten werden. Inwieweit eine Abänderung dieser Masse bei Verwendung von Flussstahl angezeigt sei, kann bei der Kürze der bisherigen Verwendungszeit des neuen Materiales noch nicht entschieden werden. Sicher ist, dass auf eine weitgehende Ausnützung des Kopfes gerechnet werden kann und dass der Annahme dünner Stege und Füsse Fabrikationsschwierigkeiten nicht mehr entgegenstehen. Bei Stahlschienen ist man mit der Stegdicke schon bis auf 10 *mm* heruntergegangen und mit der Randstärke des Fusses bis auf etwa 8 *mm*, doch scheint beides aus mehrfachen Gründen übertrieben zu sein. Die früher gehegte Erwartung, dass die Abmessungen der Flussstahlschienen, der grösseren Festigkeit dieses Materiales entsprechend, wesentlich kleiner genommen werden könnten, hat sich jedenfalls nicht erfüllt. Noch auf der Technikerversammlung zu Stuttgart 1878,[1]) gelegentlich der Berathung der Frage: „Lassen die bisherigen Erfahrungen mit Schienen aus Bessemerstahl es motivirt und rathsam erscheinen, für das Profil derselben andere Annahmen zu machen, wie für das Profil der eisernen Schienen?" — erklärten von 40 Bahnverwaltungen 17 es als nicht gerechtfertigt, für das Profil der Schienen aus Bessemerstahl andere Annahmen zu machen, wie für das der Schweisseisenschienen. Während aber ein Theil derselben zur Begründung dieser ihrer Meinung anführten: „Der Bessemerstahl habe allerdings eine grössere Festigkeit wie Eisen, doch sei von einer Verminderung des Querschnittes abzusehen, weil bei den Stahlschienen häufiger Brüche eintreten als bei den Eisenschienen und eine Vermehrung dieser Brüche zu befürchten sei, wenn man den Querschnitt vermindere" — erklärten andere Verwaltungen, dass,

---

[1]) VI. Supplementband, S. 10.

wenn auch die grössere Festigkeit des Bessemerstahles eine Verkleinerung des Profiles gestatte, so werde der hiermit erzielte Vortheil doch wieder durch die Nothwendigkeit aufgehoben, neue Sorten Kleineisenzeug etc. anzuschaffen. Da endlich die übrigen 23 Bahnverwaltungen, welche für eine Abänderung des Profiles eingetreten waren, dabei dennoch von ganz verschiedenen Gesichtspunkten geleitet wurden, indem nur ein Theil von ihnen für eine Verkleinerung des Eisenprofiles war, der andere aber die ursprüngliche Stärke beibehalten und nur einige Abmessungen verändert wissen wollte, so konnte die Schlussfolgerung: „Ueber die Frage, ob und eventuell in welchem Masse das Profil der Stahlschienen schwächer anzunehmen ist, als das der Eisenschienen, kann nach den bisherigen Erfahrungen eine Entscheidung noch nicht getroffen werden" — nicht mehr auffallend erscheinen. Ueber neuere Profile aus Stahl siehe: Stahlschienenprofile im Querschwellenoberbau, Zeitschrift für Baukunde 1883.

Wie wichtig eine passende Wahl der Querschnittsabmessungen sei und wie das Verständniss hiefür sich erst allmählich Bahn gebrochen, dafür mag folgender Fall als Beispiel dienen. Auf einer Bahn des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen waren im Laufe der Zeit, veranlasst durch die immer wachsenden Verkehrsverhältnisse nach und nach vier Querschnitte von Eisenschienen mit folgenden Abmessungen und Gewichten zur Anwendung gekommen:

Prof.	I	II	III	IV
Höhe der Schiene	92·9	107·9	120·6	131·0 *mm*
Breite des Fusses	98·0	93·2	88·9	101.0
„ „ Kopfes	58·9	59·2	57·2	59·0
Dicke des Steges	15·9	19·1	13·8	14·0
Gewicht des laufenden Meter	62·33	78·74	71·36	— alte pr. Pfund
	58·27	73·62	66·72	70·29 Zollpfund.

Besonders in die Augen springend ist der Uebergang von Profil II auf III, indem hierbei trotz Verminderung des Materialaufwandes eine wesentlich höhere Leistungsfähigkeit durch Vergrösserung der Profilhöhe und Verringerung der Stegdicke erzielt wurde. Aehnliches ist gewiss auch auf den anderen Bahnen vorgekommen, deren neueste Profile sich alle, den

früheren gegenüber, durch gute Materialvertheilung auszeichnen und zum grössten Theil die oben angeführten Hauptabmessungen haben.

Leider erstreckt sich diese Uebereinstimmung nicht auch auf die Einzelnheiten der Querschnitte, vielmehr zeigen dieselben mancherlei, meist ganz unwesentliche Abweichungen, so dass fast ebenso viele verschiedene Querschnitte als Bahnverwaltungen existiren. Dies macht sich aber in verschiedener Hinsicht sehr unangenehm fühlbar und namentlich ergiebt sich dadurch, dass die Hüttenwerke für jede sie in Anspruch nehmende Bahnverwaltung neue Walzen einrichten müssen, auch nicht auf Vorrath arbeiten können u. dgl. m. eine beträchtliche Preissteigerung, welche man schon zu vier Mark für die Tonne fertiger Schienen berechnet hat. (Glaser's Ann. 1877, S. 5.) Es sind deshalb auch wiederholt Vorschläge aufgetaucht, einige wenige, möglichst zweckmässig geformte Schienenquerschnitte, sogenannte Normalprofile, allgemein anzunehmen; aber bis heute kann von einem durchgreifenden Erfolge in dieser Hinsicht nicht gesprochen werden. Der Uebergang auf ein ganz neues Schienenprofil ist eben immer mit Schwierigkeiten verschiedener Art verknüpft, grosse Kosten sind nicht zu umgehen und die Betheiligten müssen auch bereit sein, bisher gehegte Anschauungen und Liebhabereien zum Opfer zu bringen. Einen gewissen Werth haben die bisherigen Vorschläge dennoch gehabt, dass sie nämlich die fragliche Angelegenheit überhaupt in Anregung gebracht und in den damit verbundenen Erörterungen und Untersuchungen nothwendige Anhaltspunkte für ihre Lösung geliefert haben. Die endgiltige Regelung jedoch kann nur durch eine grössere Körperschaft erfolgen, welche in der Lage ist, die verschiedenartigen Forderungen der einzelnen Bahnverwaltungen auf ihre Berechtigung zu prüfen und dem entsprechend bei den neuen Vorschlägen in Rücksicht zu bringen. Einige wenige Bemerkungen mögen noch ihren Platz finden. Wenn man von den praktisch ausprobirten Hauptmassen des Schienenquerschnittes in erster Linie Höhe und Fussbreite als gegeben betrachtet und dann mit Rücksicht auf alle übrigen Bedingungen einen Querschnitt sucht, welcher bei kleinstem Inhalt die grösste Tragfähigkeit

der Schiene liefert, so hat man folgende, theils an sich verständliche, theils aus besonderen Erwägungen abzuleitende Sätze zu beachten: Vor Allem sind die Dicke des Steges, die Randstärke des Fusses und die Höhe des abgenützt gedachten Kopfes so klein wie nur immer thunlich zu wählen, desgleichen die Höhe des Fusses, weil der Schwerpunkt des Querschnittes einer abgenützten Vignoles-Schiene immer unterhalb des Halbirungspunktes ihrer Höhe zu liegen kommt, das Zusammenfallen dieser Punkte aber erstrebt werden muss. Aus demselben Grunde ist von den beiden üblichen Formen des Schienenfusses die in Fig. 20 *a* gezeichnete vor der anderen (Fig. 20 *b*) zu empfehlen. Je kleiner der Neigungswinkel der Laschenanschlussflächen gegen die Wagrechte gewählt wird, desto kleiner fällt unter sonst gleichen Umständen der Inhalt der Querschnittsfläche aus. Der grösste Erfolg in dieser Beziehung wird erreicht, wenn man diesen Winkel am Fuss und Kopf ungleich annimmt, unten so klein als nur immer zulässig, oben etwas grösser. Die Breite des Schienenkopfes, welche im Allgemeinen möglichst gross genommen werden sollte, ist nach Feststellung der bisher besprochenen Grössen ebenfalls bestimmt, sobald die zulässige Spannung des Schienenmaterials gegeben ist. Man hat nur zu sehen, ob die so gefundene Kopfbreite innerhalb der durch die Erfahrung gegebenen Grenzen gelegen ist (Zeitschrift für Baukunde 1884, Bd. VII). Andere hiermit zusammenhängende Ausführungen siehe unter Nr. 5.

2. Länge der Schienen und ihr Gewicht. Nach Feststellung des Querschnittes der Schienen handelt es sich weiter um ihre Länge. Von ihr hängt die Anzahl der Trennungsfugen (Stösse) im Schienenstrange ab, der Aufwand an Eisentheilen zur Verbindung der Schienen unter einander und ebenso der Bedarf an Schienenunterlagen, da dieselben an den Stössen enger gelegt werden müssen, wie zwischen denselben. Je länger man die Schienen ausführt, desto weniger solche, als schwache Stellen des Schienenstranges zu bezeichnende Stösse kommen vor, desto niedriger stellen sich die Kosten für die Stossverbindungen und die Schwellenunterlagen. Andererseits aber wächst mit der Länge der Schienen sowohl ihr Gewicht, wie auch die Breite der Stossfugen, welche so

bemessen werden muss, dass die Ausdehnung in Folge Erwärmung zwanglos vor sich gehen kann. Das Gewicht darf ein gewisses Mass (nach der gewöhnlichen Anschauung etwa 300 *kg*) nicht überschreiten, weil sonst die Anzahl der zum Auf- und Abladen, Verlegen und Auswechseln erforderlichen Arbeiter unzweckmässig gross würde; damit aber ist für die Schienenlänge eine gewisse Grenze gegeben. Eine andere ergiebt sich aus der Erwägung, dass weite Temperaturzwischenräume starke Aufschläge der darüber gehenden Räder veranlassen und damit mindestens eine bedeutende Abnützung von Fahrzeugen und Gleisen. Man berechnet die von der Schienenlänge abhängigen Zwischenräume öfters aus der Gleichung

$$d = \gamma (t_2 - t_1) l + z$$

worin l die Länge der Schiene bedeutet, t_2 die höchste Temperatur, welche dieselbe unter Einwirkung der Sonnenstrahlen voraussichtlich annehmen wird, t_1 die Temperatur, bei welcher das Verlegen der Gleise vorgenommen wird, γ den Ausdehnungscoëfficienten des Schienenmateriales, welcher angiebt, um den wievielten Theil sich die Längeneinheit der Schiene verändert bei einer Temperaturänderung von 1^0 C., endlich z einen Zuschlag, welcher der Sicherheit wegen gegeben wird; wenn nämlich die Zwischenräume zu klein bemessen wurden, können gefährliche Zustände dadurch entstehen, dass die sich verlängernden Schienen mit ihren Enden zusammenstossen und dann seitlich ausbiegen. Für Schweisseisen kann man $\gamma = 0{\cdot}0000123$ und für Flussstahl $\gamma = 0{\cdot}0000108$ festhalten, für z wird öfters $0{\cdot}002\,m$ angenommen. Für $6\,m$ lange Schweisseisenschienen hätte man hiernach, wenn noch $t_1 = 0$ und $t_2 = 40^0$ wäre,

$$d = 0{\cdot}0000123 \,.\, 40 \,.\, 6 + 0{\cdot}002 = 0{\cdot}00495\,m = \text{rund } 5\,mm.$$

Die meisten handwerksmässigen Regeln, deren sich Bahnmeister bedienen, gründen sich auf diese Anschauung.

Ein dritter Grund, welcher ebenfalls gegen die Wahl einer zu bedeutenden Länge der Schienen spricht und besonders bei solchen aus Eisen in's Gewicht fällt, ist der, dass dieselben öfters wegen vereinzelter schadhafter Stellen (siehe Abnützung der Schienen) ausgewechselt werden müssen, wobei sich ein mit der Länge wachsender Verlust ergiebt, indem

die ganze ausgewechselte Schiene minderwerthig, wie man sagt, zu „altem Eisen" wird. Setzte nicht schon dieser Grund, in Verbindung mit den beiden vorhin genannten, ziemlich bestimmte Grenzen für die Schienenlänge, so kämen schliesslich noch Rücksichten auf die Fabrikation in Betracht, welche heutzutage allerdings den ersten Umständen gegenüber zurücktreten.

Aus den bisherigen Darlegungen geht zur Genüge hervor, dass ein richtiges, in jeder Hinsicht entsprechendes Mass für die Schienenlänge nur durch Versuche im Grossen, beim Betriebe der Bahnen, aufgefunden werden kann. Aufschlüsse hierüber sind deshalb vor Allem wieder aus den Verhandlungen der Technikerversammlungen des Ver. Deutsch. Eisenb.-Verw. zu erholen, welche zugleich ein übersichtliches Bild von dem jeweiligen Stande der Sache gewähren können.

Für die Versammlung zu München 1868 waren Beantwortungen über die Frage: „Welche Länge der Schienen ist zu empfehlen und aus welchen Gründen?" — eingefordert worden. Von 48 Bahnverwaltungen, welche dieser Aufforderung nachgekommen waren, wurde die als zweckmässig befundene, oder als äusserste Grenze noch zulässig zu erachtende Schienenlänge

von	8	Verwaltungen	zwischen	5·65	und 6·0 *m*	einschliesslich,
„	6	„	„	6	„ 6·5	„
„	22	„	„	6·5	„ 7	„
„	2	„	„	7	„ 7·5	„
„	9	„	„	7·5	„ 8	„

angegeben, während eine Verwaltung kein bestimmtes Mass empfahl, sondern nur die von ihr benützten Längen von 6·28, 6·59 und 7·22 *m* anführte. Die Anschauung der Versammlung fand dann ihren Ausdruck in dem Beschluss: „Nach den Beantwortungen vereinigen sich die meisten Ansichten auf Anwendung von Schienen mit einer Länge von 6·5 und 7 *m*" (III. Supplementband, S. 15).

Hierbei sind jedoch die Bahnverwaltungen nicht stehen geblieben, sondern haben fast alle in der Folgezeit grössere Längen für zweckmässig befunden, wie es scheint, hauptsächlich veranlasst durch Fortschritte bei der Schienenfabrikation, vielleicht auch weil sich zeigte, dass die übrigen massgeben-

den Umstände früher in ihrer Wirkung überschätzt worden waren. Hinsichtlich der Flussstahlschienen war dies allerdings mit einiger Sicherheit vorherzusehen, weil bei den Vorzügen des neuen Materials das Schienengewicht voraussichtlich kleiner ausfallen würde, weil auch dessen Ausdehnungscoëfficient, wie schon erwähnt, kleiner angenommen werden konnte und mehrere Formen der unregelmässigen Abnützung, so namentlich die mit der Schweissung zusammenhängenden, nicht zu erwarten waren (Org. f. d. F. d. E. 1876, S. 180). Aber auch für die aus Packeten hergestellten Schienen wurden allgemein grössere Längen beliebt. Nach den Beantwortungen der Frage: „Welche Maximallänge kann für Eisen- und Stahlschienen mit Rücksicht auf den gegenwärtigen Stand der Eisentechnik, sowie in Beziehung auf Herstellung und Unterhaltung des Querschwellen-Oberbaues empfohlen werden?"—für die achte Technikerversammlung zu Stuttgart (1878) und den damals gepflogenen Besprechungen ging zwar die Anschauung der Vertreter von 45 an der Beantwortung betheiligten Verwaltungen dahin, dass nach ihren Erfahrungen die Angelegenheit noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden könne, aber es ist bemerkenswerth, dass für Eisenschienen

19	der Verwaltungen	eine grösste Länge	von	6·5 — 7·0 *m* empfehlen,
12	„	„	„	7·5
5	„	„	„	8·0
2	„	„	„	8·0—9·0
6	„	„	„	9·0
1	„	„	„	10·0

u. f. Stahlschienen

14	eine	grösste Länge	von	6·5—7·0 *m*
11	„	„	„	7·5
6	„	„	„	8·0
9	„	„	„	9·0
3	„	„	„	10·0
1	„	„	„	12·0

eine Verwaltung will die Länge der Stahlschienen über 7·0 *m* haben, ohne jedoch Grenzwerthe anzugeben. (VI. Supplementband, S. 15.)

In dem Referat über die Beantwortungen der Frage: „Welche Schienenlängen erscheinen nach den bisherigen Er-

fahrungen als die geeignetsten?" — für die Versammlung zu Berlin (1884) endlich wird ausdrücklich hervorgehoben, dass von den 41 an der Beantwortung betheiligten Verwaltungen fast alle die normale Schienenlänge mit der Zeit vergrössert hätten und dass nirgends Erfahrungen gemacht worden seien, welche ein Zurückgehen auf kürzere Längen für nothwendig, zweckmässig oder auch nur fraglich hätten erscheinen lassen, dass sich vielmehr die Vergrösserung durchgehends bewährt habe. Als besonders geeignet wird eine Länge von 9 *m* bezeichnet. (IX. Supplementband, S. 3.)

Ob damit die Angelegenheit ihre endgiltige Erledigung gefunden habe, ist schwer zu sagen. Fast möchte man glauben, dass es wenigstens für den Querschwellen-Oberbau der Fall sei, während bei den Constructionen mit eisernen Langschwellen besondere Umstände in der Folge noch ihren Einfluss äussern könnten. Bemerkenswerth bleibt es jedenfalls, dass einzelne Mitglieder des Ver. Deutsch. Eisenb.-Verw. schon jetzt Längen von 10 und 12 *m* verwenden, ohne Anstände dabei zu finden.

Neben der bisher besprochenen „Normallänge" kommen für einen Theil der erforderlichen Schienen auch noch besondere Längen zur Ausführung. Vor Allem sind wegen der ungleichen Länge der Schienenstränge in gekrümmten Gleisstrecken sogenannte „Curvenschienen" erforderlich. Im Allgemeinen sollen nämlich je zwei Stossfugen in einer Senkrechten zur Gleisachse liegen, bei gekrümmten Gleisen also in der Richtung des Halbmessers. Wollte man nun in den Gleiskrümmungen beide Stränge mit lauter gleich langen Schienen auslegen, so würden die zusammengehörigen Fugen sich in steigendem Masse gegen einander verschieben und man wäre genöthigt, sämmtliche Schienen des inneren Stranges um den Längenunterschied der beiden Bögen zu kürzen. Statt dessen empfiehlt es sich, Curvenschienen zu verwenden, deren Länge von der Normallänge um einige Centimeter abweicht. Nun kommen aber auf einer grösseren Bahnlinie Krümmungen von verschiedenem Halbmesser vor. Für jede derselben eine besondere Curvenschiene in Vorrath halten zu wollen, wäre nicht zweckmässig, man pflegt nur eine einzige Sorte ausführen zu lassen, deren Länge gewöhnlich nach der schärfsten

vorkommenden Krümmung bemessen wird, so dass nur bei dieser der äussere Strang lauter normale, der innere lauter Curvenschienen enthält, während letzterer in allen Curven mit grösserem Halbmesser auf passende Weise aus langen und kurzen Schienen zusammengesetzt wird. Für verschiedene Zwecke, z. B. zur Herstellung von Ausweichungen u. dgl., sind endlich noch eine mässige Anzahl Schienen von besonderer Abmessung erforderlich, über welche jedoch im Allgemeinen keine Angaben gemacht werden können.

Das Gewicht eines Meters Schiene ergiebt sich natürlich sehr verschieden, je nach der Grösse ihres Querschnittes und hat, wie dieser, im Laufe der Zeit mit den Verkehrsansprüchen beständig zugenommen. Gegenwärtig stellt sich dasselbe auf den Hauptbahnen in Deutschland und Oesterreich-Ungarn bei den Eisenschienen ungefähr auf 35 bis 38 *kg*, für die vollen, noch nicht abgenützten Stahlschienen auf etwa 32 bis 35 *kg* f. d. Meter, womit jedoch nicht gesagt werden soll, dass geringere Gewichte überhaupt nicht mehr vorkämen; bei einzelnen Bahnen ist dies allerdings der Fall. Etwas schwerere Schienen sind unter sonst gleichen Verhältnissen in einigen anderen Ländern, namentlich in England, üblich.

Bezüglich der Nebenbahnen ist schliesslich zu erwähnen, dass sie bei ihrer verschiedenen Leistungsfähigkeit auch sehr verschiedene Schienengewichte aufweisen, so dass man im Grossen und Ganzen etwa 15 bis 25 *kg* für den Meter annehmen kann.

3. Material und Fabrikation der Schienen. Zur Herstellung der Schienen werden die verschiedenen Sorten des schmiedbaren Eisens verwendet, welche durch Umschmelzen des Roheisens gewonnen und mit dem Namen „Stahl" bezeichnet werden, wenn sie gleichzeitig die Eigenschaft der Härtbarkeit besitzen. Je nach der Art des Schmelzprocesses werden diese Materialien entweder nur in kleineren Mengen und dabei in nicht flüssigem Zustande gewonnen, so dass es nöthig wird, den zum Auswalzen einer Schiene erforderlichen Block durch Zusammenschweissen mehrerer Theile herzustellen, oder man erhält das Schienenmaterial als flüssige Masse und dabei in solcher Menge, dass der erwähnte Block

in einem Stück gegossen werden kann. Wie man deshalb in neuerer Zeit Schweiss- und Flussmetall unterscheidet, kann man auch die im Gebrauche stehenden Fahrschienen mit Rücksicht auf ihre Herstellung in Schweissmetall- und Flussmetallschienen eintheilen.

Erstere wurden bis ungefähr zum Beginne der Siebziger Jahre nahezu ausschliesslich verwendet und liegen auch noch jetzt auf einem grossen Theile der Eisenbahnen. Neben ihnen kamen damals ausnahmsweise noch die der zweiten Gruppe zugehörigen und im Preise sehr hoch stehenden Tiegelgussstahlschienen zur Verwendung, und zwar in solchen Fällen, wo besonders starke Angriffe, z. B. an einzelnen Theilen der Weichen und Kreuzungen, eine allzurasche Zerstörung der aus Eisen- oder auch aus Stahlstäben packetirten Schienen verursachten. In grösserer Ausdehnung konnten die Flussmetallschienen jedoch erst dann verwendet werden, als neue Schmelzmethoden, insbesondere der Bessemer- und Martinprocess eine genügend billige Herstellung des flüssigen Eisens und Stahls ermöglichten. Dann aber wuchs ihre Verwendung bei den Vorzügen, welche sie gegenüber den geschweissten Schienen besitzen, von Jahr zu Jahr.

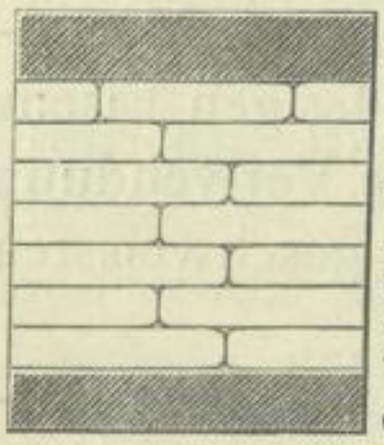
Es liegt nicht im Plane dieses Buches, eine genaue Darstellung der Schienenfabrikation zu geben, nur eine Uebersicht ist zum Verständnisse der späteren Betrachtungen nothwendig, wobei in erster Linie stets an die im Vereine Deutscher Eisenbahnverwaltungen so gut wie ausschliesslich üblichen breitfüssigen Vignolesschienen zu denken ist.

Die Umwandlung des Roheisens in Schweisseisen (Schweissstahl) zum Zwecke der Schienenfabrikation geschieht in Puddelöfen, wo die eingebrachte Masse unter beständigem Durcharbeiten der Einwirkung von Verbrennungsgasen und atmosphärischer Luft in allen ihren Theilen ausgesetzt wird. Ist hierdurch die erstrebte Ausscheidung fremdartiger Beimengungen, so weit als überhaupt möglich, vollzogen und zugleich die Entkohlung des Roheisens bis zu einem bestimmten Grade, den der geübte Arbeiter ziemlich gut zu treffen versteht, durchgeführt, so wird ein rundlicher Klumpen (Luppe) von etwa 30 *kg* Gewicht gebildet, unter einem Dampfhammer prisma-

tisch geschmiedet und mittelst Walzen zu beiläufig 10 bis 15 *cm* breiten und 2 *cm* dicken plattenartigen Rohschienen gestreckt. Ausserdem stellt man noch etwa 20 *cm* breite und 3 bis 5 *cm* dicke Platten entweder dadurch her, dass man mehrere der erwähnten Rohschienen flach auf einander legt (packetirt), zusammenschweisst und auf die gewünschten Ausmasse wiederholt auswalzt, oder indem man von vorneherein eine grössere Luppe von circa 80 *kg* Gewicht aus besonders gutem Material mit grösserer Sorgfalt hämmert und einmal unter den Walzen behandelt.

Aus diesen Platten wird dann ein Packet von ungefähr 20 *cm* Breite und Dicke nach gewissen Regeln zusammengelegt: Zu oberst kommt eine starke Kopfplatte von der ganzen Breite des Packets aus körnigem Eisen zu liegen, um den Schienenkopf, welcher der unmittelbaren Einwirkung der Radreifen unterliegt, besonders widerstandsfähig zu erhalten und als Abschluss nach unten eine ebensolche Platte aus zweimal gewalztem sehnigen Eisen, aus welcher sich die feinen Formen des Schienenfusses bilden sollen. Zwischen beide werden die schmäleren und dünneren, gewöhnlichen Rohschienen mit gut wechselnden Fugen so eingebracht, dass ein Uebergang aus dem körnigen in's sehnige Material stattfindet (siehe Fig. 23). Das so gebildete Packet wird unter dem Dampfhammer zu einem Blocke zusammengeschweisst und hierauf im Walzwerke ganz allmählich zur Schiene ausgestreckt. Dieselbe kommt, richtig profilirt, noch rothglühend aus dem letzten Walzencaliber heraus, wird sofort mittelst Kreissägen von den schadhaften Enden befreit und dabei nahezu richtig abgelängt. Genauer kann dies erst nach erfolgter Erkaltung geschehen, worauf auch kleine, noch verbliebene Verbiegungen mittelst der Dampfpresse nach dem Augenmass beseitigt und schliesslich an den Enden je zwei, zur Befestigung der Schienen unter einander erforderliche Löcher, sowie im Schienenfuss kleine Kerben (Einklinkungen), welche einem ähnlichen Zwecke dienen, mit einem durch Dampf bewegten Stahlstempel eingestanzt werden.

Fig. 23.



Die beschriebene Schweissung verschiedener Eisensorten zu einem Blocke (aus welchem dann die Schiene gewalzt werden soll) verlangt grosse Aufmerksamkeit, weil die Schweisstemperaturen derselben etwas von einander abweichen, und trotz aller Sorgfalt sind kleine Fehler in den Verbindungsflächen fast nie ganz zu vermeiden. Man hat deshalb hie und da schon versucht, das Packet ganz aus körnigem oder ganz aus sehnigem Eisen zu bilden und es ist auch hierdurch eine bessere Vereinigung der einzelnen Theile gelungen, jedoch immer auf Kosten entweder der Widerstandsfähigkeit des Kopfes oder der Güte des dünnen Schienenfusses, so dass sich die meisten Bahnverwaltungen veranlasst sahen, bei der erstbeschriebenen Herstellungsweise zu verbleiben. Eine andere, ebenfalls nur vereinzelte Abweichung von der üblichen Packetirung besteht in der hochkantigen Zusammenordnung der Rohschienen und der aus zweimal gewalztem Eisen bestehenden Platten, so dass die fertige Schiene parallel zu ihrer Höhenabmessung geschichtet erscheint. Doch sprach auch in diesem Falle die Erprobung im Grossen zu Gunsten der Schienenfabrication aus verschiedenartigem Material bei horizontaler Schichtung der Packete.

Dieses, von den meisten Bahnverwaltungen festgehaltene Verfahren wurde seit Beginn der Sechziger Jahre noch weiter entwickelt, indem man zur Erzielung sehr widerstandsfähiger, der Abnützung möglichst langsam und gleichmässig unterliegender Schienenköpfe die Packete mit einer Deckplatte aus Stahl versah und damit sogenannte Stahlkopfschienen herstellte. Bei der grossen Verschiedenartigkeit des Eisen- und Stahlmateriales wuchs natürlich jetzt die Schwierigkeit, beide vollständig zu vereinigen und nicht allen Hüttenwerken gelang es, eine Stahlsorte zu bereiten, welche bei entsprechenden übrigen Eigenschaften auch hinreichend sicher mit den Eisentheilen des Packets verschweisst werden konnte. Es wurden oft schlimme Erfahrungen mit Stahlkopfschienen gemacht, namentlich trat die höchst bedenkliche Erscheinung auf, dass sich plötzlich während des Betriebes die ganze Stahllage des Schienenkopfes in grösserer oder geringerer Ausdehnung, in einzelnen Fällen sogar auf Schienenlänge, ablöste. Zur besseren Verbindung des Stahls mit dem Eisen wurde daher die in

Fig. 24 und 25 dargestellte Form der stählernen Deckplatte angewendet, auch trug man Sorge für eine genügende Dicke (ca. 5 *cm*) derselben, so dass die gefährliche Grenzfläche zwischen Eisen und Stahl ziemlich tief in den Steg der Schiene zu liegen kam, nahe an die neutrale Achse, wo die Längsspannungen nur sehr gering sind.

Vor Einführung des Bessemer- und Martinverfahrens kamen, wie schon früher erwähnt worden ist, für besondere Zwecke Tiegelgussstahlschienen zur Anwendung, ausserdem aber auch öfters sogenannte Puddelstahlschienen, d. h. aus einzelnen Stahlplatten durch Schweissung und Auswalzung erzeugte Stahlschienen. Bezüglich der Gewinnung der stählernen Rohschienen und der Packetdeckplatte aus Stahl, wie auch für den ganzen Verlauf der Fabrikation, gilt im Wesentlichen

Fig. 24.

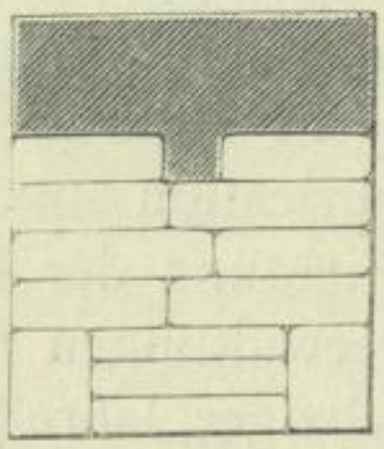
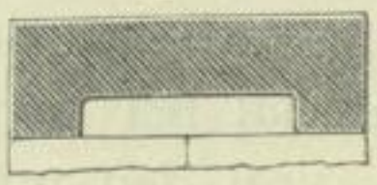


Fig. 25.



alles, was schon über die Schweisseisenschienen gesagt worden ist, so dass hier nicht weiter auf dieselbe eingegangen zu werden braucht; dagegen ist noch Einiges über die aus Gussblöcken erzeugten Fahrschienen zu sagen. Diese Blöcke werden zur Zeit entweder nach dem Verfahren von Bessemer oder dem von Martin gewonnen. Bei ersterem bedient man sich grosser schmiedeiserner, innen mit feuerfestem Material ausgekleideter Retorten, welche zum Zwecke der Anheizung, des Füllens und Entleerens um eine wagrechte Achse gedreht werden können. In dieselben wird das vorher verflüssigte Roheisen eingebracht und seine Reinigung und Entkohlung durch atmosphärische Luft bewirkt, welche von unten her mit grosser Gewalt durch die glühende Masse gepresst wird. Man unterbricht den Process, sobald an verschiedenen Anzeichen zu erkennen ist, dass die Reduction des Kohlenstoffgehaltes in dem erforderlichen Masse vollzogen ist, oder man treibt die Ent-

kohlung so weit als möglich und erzielt den gewünschten Gehalt an Kohlenstoff durch Zusatz reiner Roheisensorten von bekannter chemischer Zusammensetzung.

Ein hiervon verschiedenes Verfahren hat Martin eingeführt, indem er den seinerzeit von Uchatius erfundenen Process für die Anwendung im Grossen ausbildete. Nach seiner Angabe wird das Flussmetall durch Zusammenschmelzen von Roh- und Schmiedeisen (möglichst entkohltes Roheisen) gewonnen, indem man diese Materialien in bestimmten Verhältnissen mengt, vorwärmt und in besonderen Schmelzöfen mittelst eines Gemenges atmosphärischer Luft und den in Siemens-schen Regenerator-Gasöfen erzeugten Verbrennungsgasen behandelt.

Das in den Bessemerretorten oder im Schmelzofen gewonnene Metall wird in schwach kegelförmige Formen zu Blöcken ausgegossen, welche ähnlich wie die früher durch Schweissen von Packeten gewonnenen Prismen weiter zu Schienen verarbeitet werden, nur dass das Flussmetall grössere Sorgfalt beim Geradrichten und bei Herstellung der Bolzenlöcher und Einkerbungen verlangt.

Alle Schweiss- und Flussmetallschienen, welche auf die eine oder andere, im Vorstehenden beschriebene Art fabricirt wurden, zeigen bei ihrer Verwendung zwei Uebelstände, dass nämlich zwischen je zweien im Gleisstrang auf einander folgenden Schienen eine durch den ganzen Querschnitt reichende Trennungsfuge entsteht, welche Aufschläge aller über sie gehenden Räder verursacht, sodann, dass jede Schiene, welche wegen einzelner schadhafter Stellen ausgewechselt werden muss, ganz und gar zum minderwerthigen „alten" Eisen oder Stahl wird.

Beides sollte nach Vorschlägen, welche schon 1840 in Amerika, dann 1845 und 1846 in Deutschland gemacht wurden, durch Herstellung sogenannter zusammengesetzter Schienen vermieden werden, welche aus mehreren, durch Nieten oder Bolzen mechanisch zu vereinigenden Theilen bestehen sollten. Seit 1850 sind solche Schienen auf amerikanischen Bahnen wirklich zur Ausführung gelangt, deren einige aus den Figuren 26 bis 29 ersehen werden können.

Man unterscheidet demnach zwei- und dreitheilige Schienen dieser Art, je nachdem sie im Querschnitt zwei oder drei von einander gesonderte Theile zeigen. Es ist klar, dass die mit einer Auswechselung wegen schadhafter Stellen verbundene Werthminderung bei allen diesen, insbesondere aber den dreitheiligen Schienen, nicht die ganze Materialmasse betrifft, und dass bei letzteren der den Angriffen der Räder unmittelbar ausgesetzte Kopftheil von vorneherein auch aus besonders widerstandsfähigem Material hergestellt werden kann. Bei einem Theil derselben (Fig. 26 und 28) wird ausserdem durch Versetzung der Schienenhälften gegen einander der Vortheil erzielt, dass die Stossfugen nur die halbe Kopfbreite durchsetzen, so dass die Räder beim Uebergang über dieselben die Unterstützung nur theilweise verlieren.

Fig. 26.

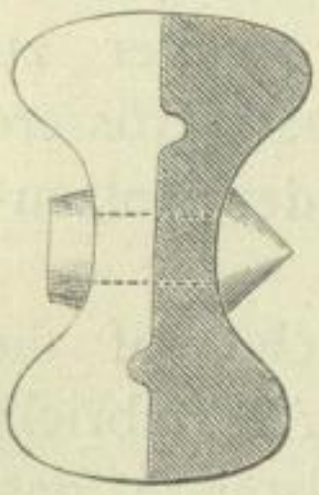


Fig. 27.

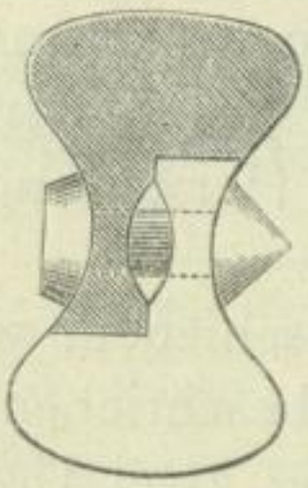


Fig. 28.

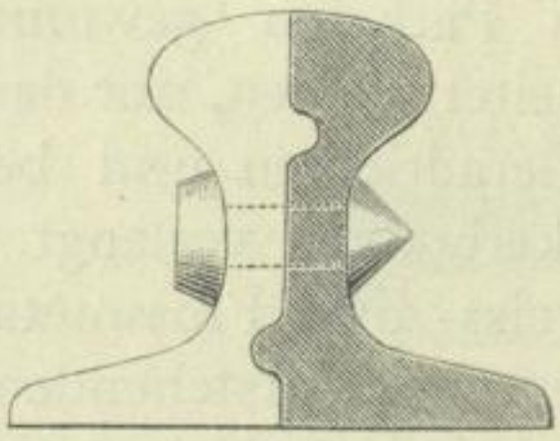
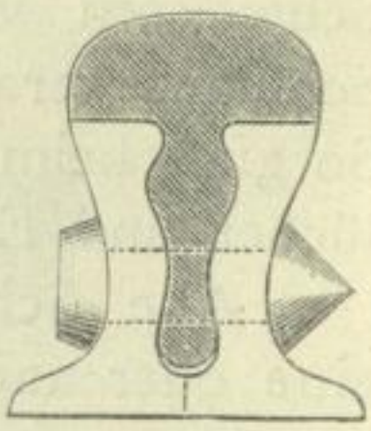


Fig. 29.



Diesen unzweifelhaften Vorzügen stehen nun wieder mehrere Nachtheile gegenüber, namentlich die hohen Kosten solcher Schienen, indem sie bei gleicher Tragfähigkeit bedeutend schwerer ausfallen als die sogenannten Vollschienen und weil das genaue Zusammenpassen der einzelnen Theile eine besonders sorgfältige Herstellung verlangt, wie auch die Schwierigkeit, das in Folge Erschütterung der Gleise fortwährend eintretende Loswerden dieser Theile zu verhüten, so dass die zusammengesetzten Schienen nirgends eine weitere Verbreitung gefunden haben.

4. Abnützung der Eisenbahnschienen. Ein grosser Theil der Anlagekosten einer Bahnlinie wird von dem Oberbau und insbesondere von den Fahrschienen in Anspruch genommen, und die Unterhaltung der letzteren beansprucht einen ungewöhnlich hohen Procentsatz ihrer Anschaffungskosten. Es ist deshalb eine wichtige Aufgabe der Betriebs-

ingenieure, alle die Dauer der Fahrschienen beeinflussenden Umstände klarzustellen, um denselben nach Möglichkeit entgegen wirken zu können. Leider ist diese Aufgabe äusserst schwierig, weil eine grosse Anzahl verschiedenartiger Umstände dabei in Betracht kommt, diese nur selten in gleicher Vereinigung sich geltend machen und in Folge dessen den meisten statistischen Angaben jene Gleichwerthigkeit fehlt, welche zur directen Vergleichung erforderlich ist. Erschwert wird die Lösung überdies noch durch den Umstand, dass die älteren statistischen Tabellen nicht so zweckmässig angeordnet waren, wie es zur sachgemässen Verwerthung ihrer Zahlen unbedingt nothwendig wäre.

Vor Allem muss man die unregelmässige Abnützung (Zerstörung) von der regelmässigen (Abnützung kurzweg) unterscheiden. Zu ersterer gehören die als Schienenbrüche bezeichneten Risse und Sprünge, welche den Schienenstrang nach der Quere ganz oder theilweise durchsetzen, dann die sogenannten Ausbrüche, nämlich Abbröckelungen kleiner Theile an einzelnen Stellen des Schienenkopfes, weiter jene kleinen Mulden in der Lauffläche der Schienen, welche unter gleichzeitiger Verbreiterung des Kopfes auftreten und den Namen „Druckflecken" führen, ebenso die verschiedenartigen Ablösungen von Materialtheilchen in Folge von Schweissfehlern. Alle diese Formen der unregelmässigen Abnützung zeigen die Eigenthümlichkeit, dass sie gänzlich regellos und meist schon in der ersten Zeit des Betriebes hervortreten und dann fast immer die Auswechselung der beschädigten Schiene bedingen. Als besondere Form nicht regelmässiger Abnützung könnte man auch jene Beschädigungen auffassen, welche durch Reibung von Befestigungstheilen an den Schienen entstehen; da dieselben aber bei guter Construction sich nur innerhalb längerer Zeiträume ausbilden und neben den erstgenannten sehr zurücktreten, werden sie in der Regel nicht weiter in Betracht gezogen. Der unregelmässigen Abnützung steht die regelmässige gegenüber, welche sich, ihrem Namen entsprechend, nach einer gewissen Gesetzmässigkeit vollzieht und in einer gleichmässigen Erniedrigung, beziehungsweise Verschmälerung des Schienenkopfes besteht.

Als man von dem Schweissmetall zum Flussmetall übergegangen war, da zeigten sich Brüche der Schienen häufiger als früher, zuweilen sogar in besorgnisserregender Anzahl, so dass man da und dort zu der Meinung gedrängt wurde, das neue Material entspreche doch nicht den gehegten Erwartungen. Heutzutage sind diese Bedenken gehoben; man weiss jetzt, dass der Grund jener beunruhigenden Erscheinung hauptsächlich in dem Gehalte an gewissen fremdartigen Körpern, also in einer fehlerhaften chemischen Zusammensetzung zu suchen sei, wie auch andererseits in kleinen, dem blossen Auge nicht bemerklichen mechanischen Verletzungen, welche durch eine nicht ganz entsprechende Behandlung während der Fabrikation und beim Verlegen der Schienen herbeigeführt werden können. Sicher ist, dass die in Rede stehende Form der unregelmässigen Abnützung gerade bei den Flussmetallschienen in den Hintergrund getreten ist, seitdem man auf möglichste Befreiung des Stahles von fremden Beimengungen, namentlich Kupfer, Phosphor und Kieselerde, hinarbeitet und durch Vorsicht beim Geradrichten der Schienen, durch Bohren der Laschenbolzenlöcher, sowie Vermeidung der Kerben (Einklinkungen) im Schienenfuss, endlich sorgfältige Behandlung beim Abladen und Verlegen, alle Schwächungen des Materials vermeidet. Ein sehr übersichtliches Bild von den Anschauungen, welche im Laufe der Jahre unter den Fachleuten herrschend geworden sind, geben die Verhandlungen der Technikerversammlungen,[1] aus welchen hier nur die auf der Versammlung zu Stuttgart 1878 behandelte Frage: „Liegen bei Bahnverwaltungen noch Gründe vor, welche gegen die allgemeine Verwendung der Stahlschienen sprechen, insbesondere, welche Erfahrungen sind vorhanden über die zweckmässigste Wiederverwendung, beziehungsweise Verhüttung alter, zu Betriebszwecken nicht mehr brauchbarer Stahlschienen?" — angezogen werden soll. Die Schlussfolgerung zu dem Referate über diese Frage, welche die Ueberzeugung der massgebenden technischen Kreise zum Ausdrucke bringt, lautet wörtlich: „Nach den bis-

[1] V. Supplementband, S. 55; VI. Supplementband, S. 3, 6, 8, 13; IX. Supplementband, S. 4.

herigen Erfahrungen liegen Gründe in keiner Richtung vor, welche gegen die allgemeine Anwendung der Stahlschienen sprechen. Auch aus der Wiederverwendung, respective Verhüttung alter, zu Betriebszwecken nicht mehr brauchbarer Stahlschienen werden Gründe gegen die Anwendung derselben nicht hervorgehen, indem die alten, ausgewechselten Schienen aus Stahl auf verschiedene Weise zweckmässig wieder verwendet werden können." (VI. Supplementband, S. 8.) Neuerdings ist man darauf aufmerksam geworden, dass möglicherweise zu dünn angenommene Schienenstege, in welchen beim Anschrauben der keilförmigen Laschen zu starke Spannungen entstehen, Veranlassung zu Schienenbrüchen geben könnten, doch ist dieser Umstand zur Zeit noch nicht genügend aufgeklärt.

Die in zweiter Linie genannten Schienenausbrüche entstehen, indem sich eingewalzte Schlackentheilchen oder unfertige und verbrannte Eisenpartien, welche zufällig in den Kopf der Schiene zu liegen kamen, unter dem Drucke der Räder ablösen; es entstehen Vertiefungen, welche den Schienen und Fahrzeugen gefährlich werden können, indem sie heftige Aufschläge der darüber rollenden Räder bewirken. Aehnlich verhält es sich mit den Druckflecken, jenen kleinen, muldenartigen Vertiefungen in der Kopfoberfläche, welche beim Einsinken der von Gasblasen herrührenden Hohlräume entstehen.

Viel häufiger wie die zuletzt genannten Abnützungsformen sind Ablösungen in Folge fehlerhafter Schweissung. Sie treten um so zahlreicher auf, je verschiedenartiger das Material ist, welches im Schienenpacket zu einem Block vereinigt werden soll. Da dieses in der Regel aus flach auf einander gelegten Platten zusammengesetzt und die Auswalzung so geleitet wird, dass die fertige Schiene horizontal geschichtet erscheint, so erfolgen die Ablösungen gewöhnlich nach wagrecht liegenden Flächen. Doch kommen auch Trennungen nach stehenden Flächen vor, wenn solche unbeabsichtigt, durch ein Versehen beim Walzen, entstanden sind oder wenn die Packete von vorneherein dem entsprechend angeordnet waren. Im ersten Falle reissen je nach der Tiefenlage und Längenausdehnung der fehlerhaften Schweissstelle kleinere oder grössere

Massen ab und werden durch die Radkränze meistens nach der Innenseite des Schienenkopfes gedrückt. Manchmal werden aber auch Ablösungen grösserer Theile beobachtet, so namentlich bei den Stahlkopfschienen, wenn sich deren stählerne Kopfschichte entweder an den Enden der Schiene, oder in der Mitte, oder gar auf die ganze Länge hin lostrennt. Dass hierdurch sehr gefährliche Zustände hervorgerufen werden, ist an sich klar. Aehnlich wie die zuletzt besprochenen Abtrennungen vollziehen sich auch solche längs stehenden Schweissflächen; zuerst wird die Berührungsfläche, so weit der Schweissungsfehler reicht, als dunkle Linie sichtbar, bald öffnet sich eine Fuge, welche eine Verbreiterung des Schienenkopfes zur Folge hat in dem Masse, wie ihre Stärke zunimmt, bis endlich die Auswechselung der Schiene unvermeidlich geworden ist.

Während die Formen der unregelmässigen Abnützung durch zufällig vorhandene fehlerhafte Stellen bedingt werden und gefährliche Zustände herbeiführen können, vollzieht sich die regelmässige Abnützung, als unvermeidliches Ergebniss der Reibung zweier Körper an einander, nach ganz bestimmten Gesetzen und ist an sich ungefährlich, so lange sie wirklich ganz gleichmässig vor sich geht und eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Die Wirkung der Räder auf die Schienen ist schon öfters mit der einer Feile verglichen worden, indem die Massentheilchen des Schienenkopfes im Allgemeinen durch die Triebräder der Locomotiven nach rückwärts, durch die sämmtlichen Laufräder nach vorwärts gepresst werden. Ohne näher hierauf einzugehen, kann man nur sagen, dass bei Gleisen, welche ausschliesslich in einer Richtung befahren werden, ein Verdrücken des Kopfes in der Richtung der Fahrt über den Schienenrand hinaus beobachtet wird und dass solche Gleise unter sonst gleichen Verhältnissen eine kleinere Abnützung zeigen, als diejenigen einspuriger Bahnen, welche dem Verkehre in beiden Richtungen dienen müssen.

Die regelmässige Abnützung hängt von einer ganzen Reihe verschiedener Umstände ab: 1. der Güte des verwendeten Materials und der Art der Herstellungsweise; 2. der Querschnittsform der Schienen und ihrem Gewichte; 3. der Anordnungs-

weise des ganzen Oberbaues und der Sorgfalt, mit welcher derselbe unterhalten wird; 4. von der üblichen Fahrgeschwindigkeit; 5. den Steigungs- und Krümmungsverhältnissen des Gleises; 6. von besonderen örtlichen Verhältnissen und Witterungseinflüssen; 7. von der Anzahl und dem Gewichte der Achsen, welche über die Schienen laufen. Es genügt, die meisten dieser Umstände nur zu nennen, doch mögen noch folgende erläuternde Bemerkungen zu einzelnen derselben am Platze sein:

Zwei sich reibende Körper aus gleichem Stoffe nützen sich gleichmässig ab und um so stärker, je weniger widerstandsfähig dieser Stoff ist. Behält man den einen Körper bei und verbessert die Qualität des anderen, so wächst die Abnützung des ersteren unverhältnissmässig, während der aus besserem Stoff geschont wird. Dieses Verhältniss trat auf allen Bahnlinien ein, wo man die vorhandenen Schweisseisenschienen beibehielt, während man Radreifen aus Stahl einführte, und der dann beobachtete auffallend rasche Verschleiss der Eisenschienen war mit ein Hauptgrund zur Annahme des Stahles auch für die Schienen. Allerdings dauerte es, wie schon früher erwähnt, längere Zeit, bis man die erforderlichen Eigenschaften desselben zu erzielen gelernt hatte, dann aber trat die Ueberlegenheit des neuen Materials in das hellste Licht. Jene Formen der unregelmässigen Abnützung, welche ihren Grund in fehlerhafter Schweissung haben und sich bei den Eisenschienen in so hohem Grade geltend machen, fielen nun bei den aus einem Block gleichartigen Materials gewalzten Schienen ganz weg und die regelmässige Abnützung gestaltete sich so gleichmässig und langsam fortschreitend, dass man auf ein sehr starkes Abschleifen des Kopfes rechnen konnte. Während dies in der Schweisseisenzeit nur in sehr geringem Masse der Fall war, so dass man sogar das volle Profil der neuen Schiene den äusseren Angriffen entsprechend zu bemessen pflegte, musste jetzt streng zwischen neuer und abgenützter Schiene unterschieden werden, deren Querschnitte bis zu 10 *mm* in der Höhe von einander abweichen können und man musste die Stärke der Schienen so bemessen, dass sie auch in vollkommen ausgenütztem Zustande den Betriebseinwirkungen eben noch gewachsen waren.

Zur Erläuterung des oben unter Nummer 2 angeführten Punktes kann bemerkt werden, dass zu schwache Fahrschienen auffallend rasch zugrunde gehen. Diese Thatsache konnte auf vielen Bahnen zeitweilig beobachtet werden, als man schwerere Fahrzeuge einführte, ohne in der Lage zu sein, sofort auch die Gleise dem entsprechend zu verstärken, und gerade hierin ist ein Grund für die Ungleichwerthigkeit der statistischen Angaben über Schienendauer zu erkennen.

Weiter ist durch Erfahrung festgestellt, dass die Abnützung unter sonst gleichen Verhältnissen mit der Fahrgeschwindigkeit wächst und durch die in gekrümmten Gleisstrecken hervortretenden besonderen Widerstände (worüber später mehr) auch eine besonders starke Anstrengung der Schienen bewirkt wird. Von Witterungseinflüssen ist es namentlich der Frost, welcher tiefgehende Einwirkungen äussert, einmal weil die Widerstandsfähigkeit des Schienenmaterials in der Regel mit der Temperatur abnimmt, dann auch weil die Lagerfläche der Schienenunterlagen niemals unter Frostlinie zu liegen kommt, in Folge dessen ungleiche Hebungen, beziehungsweise Senkungen der Unterlagen vorkommen, wenn Fröste eintreten, oder im Frühjahre der Boden unter mehreren auf einander folgenden Unterlagen ungleichmässig aufthaut. Die Oertlichkeit macht sich dabei insofern geltend, als diese Erscheinungen besonders häufig in Einschnitten hervortreten, deren Entwässerung nicht sorgfältig genug durchgeführt wurde.

Den älteren Angaben über Abnützungsgrössen oder die Dauer der Eisenbahnschienen ist niemals eine ausreichende Beschreibung derjenigen Verhältnisse beigefügt, unter welchen sie aufgefunden wurden. Es haben dieselben aus diesem Grunde auch nur eine beschränkte Bedeutung, etwa bei Aufstellung des Etats für jene Bahnstrecken, auf welchen sie erhoben wurden; bei allgemeinerer Benützung können sie nur als beiläufige Durchschnittswerthe gelten. Ein Literaturverzeichniss in dieser Beziehung findet sich im „Handbuch für Specielle Eisenbahntechnik", IV. Bd. Cp. XV, S. 410 ff. Ebenfalls nur solche Durchschnittswerthe war die Technikerversammlung zu Dresden (1865) im Stande zu liefern (I. Supplementband, S. 22). Es wurde festgestellt, dass nach den Erfahrungen von 33 Bahn-

verwaltungen eine mittlere Schienendauer von 16 Jahren bei Bahnen im Flach- und Hügellande angenommen werden könne. Die Dauer der Schienen auf Gebirgsstrecken wurde von einer Bahnverwaltung auf 8 bis 10 Jahre, von einer anderen auf 12 Jahre angegeben. An die Ableitung einer Gesetzmässigkeit war bei so wenig erschöpfenden Angaben nicht zu denken.

Eine grössere Anzahl zusammengehöriger Beobachtungsergebnisse wurde für die Technikerversammlung zu München (1868) gesammelt (III. Supplementband, S. 1), doch reichten auch diese nicht aus, um weitergehende Schlüsse zu ziehen. 10 Jahre später stand auf der Versammlung in Stuttgart (VI. Supplementband, S. 7) die folgende Frage zur Berathung: „Liegen auf den Bahnen des Vereins schon Erfahrungen über die Abnützung des Kopfes der Schienen aus Stahl vor, wie viele Züge oder Achsen, beziehungsweise welche Bruttolasten sind für die Abnützung von 1 *mm* Höhe nach den bisherigen Erfahrungen anzunehmen?" Das Schlussergebniss der Berathung wurde in einer Schlussfolgerung zusammengefasst, welche hier wörtlich angeführt zu werden verdient:

„Die bis jetzt vorliegenden Erfahrungen über Abnützung des Kopfes der Stahlschienen genügen zwar, um die grosse Ueberlegenheit der letzteren gegenüber den Eisenschienen in Bezug auf Widerstand gegen Verschleiss darzuthun; es ist indess, um in dieser Beziehung zu bestimmten Resultaten zu gelangen, welche ermöglichen, die muthmassliche Abnützung des Kopfes bei übrigens gegebenen Verhältnissen annähernd genau vorher zu berechnen, erforderlich, dass die Beobachtungen nach einheitlichen Grundsätzen, wie solche bereits zur Schienenstatistik angeordnet sind, fortgesetzt werden."

„Soweit es die oben mitgetheilten Angaben erkennen lassen, dürfte sich die Bruttolast, welche 1 *mm* Abschleifen des Kopfes herbeiführt, bei Bahnen mit schwachen Steigungen (mehr als 1 : 180) und grossen Curvenhalbmessern, für Strecken auf welchen nicht gebremst wird, auf **10** bis **20** Millionen Tonnen stellen, je nach der Güte des Materials und je nachdem die Verhältnisse etwas weniger oder ganz besonders günstig sind."

„Auf Strecken mit mittleren Gefällen (1 : 120 bis 1 : 150) und Curven von grossen Halbmessern, wo theilweise gebremst wird, vermindert sich obige Bruttolast auf 6 bis 7 Millionen Tonnen."

„Auf Bahnstrecken mit Gefällen von 1 : 60 bis 1 : 100 und Curven von etwa 500 *m* Halbmesser stellt sich die Bruttolast, welche 1 *mm* Abschleifen herbeiführt, auf ungefähr 4 Millionen Tonnen."

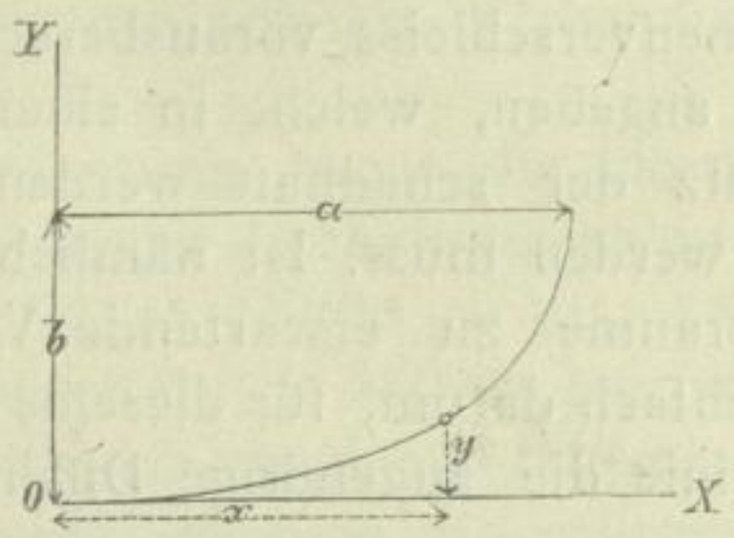
„Auf Gebirgsstrecken mit Steigungen bis 1 : 40 und Curven von etwa 200 *m* wird eine Abnützung des Kopfes von 1 *mm* schon durch den Verkehr einer Bruttolast von 1 bis 2 Millionen Tonnen herbeigeführt."

Sehr werthvolles Material ist in der periodisch erscheinenden „Statistik über die Dauer der Schienen in den Hauptgleisen der Bahnen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen" zu finden. Eine erste Veröffentlichung, im Auftrage der geschäftsführenden Direction des Vereins bearbeitet von F. Kiepenheuer, erschien 1879 in Wiesbaden bei C. W. Kreidel, eine zweite für die Erhebungsjahre 1879/81 von der geschäftsführenden Direction selbst herausgegeben, in Berlin 1884.

Eine sehr gründliche Arbeit „Ueber Abnützung und Dauer der Eisenbahnschienen" ist von Franz Stockert, Centralinspector der Kaiser Ferdinands-Nordbahn, in der Zeitschrift d. österr. Ing.- und Arch.-Vereines 1872 und im Organ f. d. F. d. E. 1873 veröffentlicht worden. Auf 20 Gleisstrecken der genannten Bahn mit den verschiedensten Anlageverhältnissen und mehr oder weniger entwickeltem Verkehr, auf welchen Eisen- und Puddelstahlschienen der verschiedensten Abkunft verlegt waren, hatte man schon seit dem Jahre 1855 sorgfältige Aufzeichnungen gemacht und insbesondere die über jede Strecke innerhalb bestimmter Zeiträume gegangene Last und die Anzahl der dabei schadhaft gewordenen Schienen beobachtet. Diese, paarweise zusammengehörigen Zahlen wurden durch Zeichnung dargestellt, indem man in einem rechtwinkeligen Coordinatensystem den Verkehr in Bruttocentnern als Abscissen und die zugehörige Schienenauswechselung, der Einfachheit halber in Procenten

der auf die Strecke ursprünglich verlegten Gesammtzahl der Schienen, als Ordinaten auftrug. Dabei ergab sich die Thatsache, dass die in solcher Weise erhaltenen Punkte in allen Fällen nach Fig. 30 auf einen Linienzug hinwiesen, welcher vom Ursprunge (O) des Achsensystems ausgehend, convex gegen die X-Achse mit wachsender Krümmung verlief und sich passend durch eine Viertelellipse ersetzen liess. Die den Ordinaten gleichlaufende Halbachse (b) derselben stellte dann die Anzahl der ursprünglich eingelegten Schienen, beziehungsweise die Zahl 100 dar, wenn die Auswechselung in Procenten jener Anzahl ausgedrückt wurde, und die wagrechte Halbachse (a) entsprach der Gesammtlast, welche über die Strecke gegangen war, bis auch die letzte der anfangs ein-

Fig. 30.



gelegten Schienen wegen Schadhaftigkeit ausgewechselt werden musste. Das Verhältniss dieser Halbachsen zu einander ergab sich verschieden je nach den besonderen Umständen, unter welchen die Strecke bestand; je günstiger dieselben waren, desto mehr gestreckt fiel der Ellipsenbogen aus.

Obgleich die beobachteten Punkte wegen der ihnen anhaftenden, unvermeidlichen Fehler mehr oder weniger von dem idealen Ellipsenzuge abweichen, besonders in der Nähe des Ursprungs O, wo die gesetzlos auftretenden Formen der unregelmässigen Abnützung mit hereinspielen, und am Ende der Curve, wo sich verschiedene andere störende Einflüsse geltend machen, so kann doch die gewählte Viertelellipse, von Stockert „Ausnützungslinie" genannt, und demnach ihre Gleichung

$$b^2 x^2 + a^2 (y^2 - 2 b y) = 0$$

als eine befriedigende Darstellung des Gesetzes betrachtet werden, nach welchem sich die regelmässige Abnützung geschweisster Schienen vollzieht.

Dieses Ergebniss ist an sich von Interesse, kann aber auch zu mancherlei Zwecken praktisch verwerthet werden. Es lässt sich z. B. für jede Bahnstrecke verhältnissmässig bald nach ihrer Eröffnung die Halbachse

$$a = \frac{b\,x}{\sqrt{2\,b\,y - y^2}} \text{ oder } a = \frac{100\,x}{\sqrt{200\,y - y^2}}$$

feststellen, indem man zusammengehörige Werthe von x und y beobachtet, mit Hilfe der vorstehenden Gleichung für jedes Paar derselben a berechnet und aus den erhaltenen Werthen den wahrscheinlichsten Werth von a ableitet. Ist aber dieser einmal bekannt, so kann man mit grösserer Sicherheit als bisher den Schienenverschleiss vorausberechnen, das heisst die Schienenzahl angeben, welche in einem künftigen Zeitraume zum Ersatz der schadhaft werdenden Schienen in Vorrath gehalten werden muss. Ist nämlich $(x_2 - x_1)$ die im kommenden Zeitraume zu erwartende Verkehrsgrösse, so handelt es sich einfach darum, für dieselbe aus der Gleichung der Ausnützungslinie die zugehörige Differenz $(y_2 - y_1)$ zu berechnen.

So unmittelbar kann nun allerdings nicht immer vorgegangen werden. In der Ausnützungslinie kommt nämlich die Gesammtwirkung aller, den Verschleiss beeinflussenden Umstände zum Ausdruck, und da diese auf zwei verschiedenen Strecken wohl niemals ganz übereinstimmend auftreten, so können auch die betreffenden Ausnützungslinien nicht ohneweiters in Vergleich gesetzt werden. Nur wenn bei zwei Strecken sämmtliche Umstände bis auf Einen ganz die gleichen wären, liesse sich die Bedeutung dieses Einen aus einem Vergleiche der Ausnützungslinien entnehmen. So würde beispielsweise ihr Flächeninhalt einen Massstab für die Werthbestimmung zweier Schienensorten liefern, wenn diese unter sonst gleichen Verhältnissen in Verwendung stünden.

Es kommt also weiter darauf an, die Bedeutung der einzelnen, die Abnützung bedingenden Umstände ziffermässig

zum Ausdrucke zu bringen. Auch hierzu ist von Stockert der Anfang gemacht worden.

Nach seinen Erfahrungen ist der Einfluss der Steigungen für sich durch folgende Coëfficienten in Rechnung zu bringen:

Steigungsverhältniss	Coëfficient	Steigungsverhältniss	Coëfficient
1:1000	0·28	1:500	0·56
1: 900	0·31	1:400	0·70
1: 800	0·35	1:300	0·93
1: 700	0·40	1:200	1·40
1: 600	0·47	1:150	1·87

das heisst: Unter sonst gleichen Verhältnissen ist die Abnützung auf einer Steigung von beispielsweise 1:500 um 56 Procent grösser wie in der Horizontalen oder: Ein Verkehr x_1 übt auf der erwähnten Steigung eine eben so grosse Wirkung aus wie der grössere Verkehr $x_1\,(1+0{\cdot}56)$ in der Horizontalen.

Dieselbe Bedeutung haben die folgenden, für Gefällsstrecken angegebenen Verhältnisszahlen

1:250 0·12; 1:200 0·40; 1:150 0·87;

Gefälle bis zu ungefähr 1:280 sollen wagrechten Strecken gleich geachtet werden, weil auf ihnen noch nicht gebremst zu werden braucht und auch die Fahrgeschwindigkeit selten grösser sein wird als in horizontalen Gleisen.

Der Einfluss der Gleiskrümmung an sich wird weiter je nach der Grösse des Halbmessers $r_o = 1000$, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300 und 200 Klafter beziehungsweise zu $c_h = 0{\cdot}15$, 0·17, 0·19, 0·21, 0·25, 0·30, 0·38, 0·50 und 0·75 geschätzt, wonach also ein Verkehr von x_1 Gewichtseinheiten im gekrümmten Gleis einem Verkehre $x_1\,(1+c_h)$ in der Geraden gleichwerthig zu achten wäre. Den ungünstigen Einflüssen nicht vollständiger Entwässerung der Einschnitte soll im Grossen und Ganzen mit dem Coëfficienten 0·06 Rechnung getragen werden können, und schliesslich wird auch die Bedeutung der Achsenbelastung in einem einzelnen, allerdings bemerkenswerthen Falle nachgewiesen.

Es ist selbstverständlich, dass die angegebenen Zahlenwerthe, wie auch Stockert wiederholt betont, nicht als

unbedingt richtig anzusehen sind, vielmehr ist eine Berichtigung derselben durch weiter fortgesetzte Beobachtungen aller Wahrscheinlichkeit nach zu erwarten. Hierdurch wird jedoch ihre Bedeutung als erstmalige Aufstellungen nicht abgeschwächt, und selbst ihrer praktischen Verwerthung dürfte vorerst kaum ein Bedenken entgegenstehen. Mit ihrer Benützung ist es dann möglich, an Stelle jeder Strecke mit beliebigen Anlage-, Steigungs- und Richtungsverhältnissen eine ihr gleichwerthige, in gut entwässerter Aufdämmung gelegene, horizontale und gerade Strecke zu setzen und damit Grössen zu gewinnen, welche direct mit einander verglichen werden können.

Will man z. B. wissen, welche von zwei Schienensorten den Vorzug vor der anderen verdient, so bestimmt man in der früher beschriebenen Weise für die beiden Bahnstrecken, auf welchen dieselben zur Verlegung gelangten, die Halbachsen a_1 und a_2, d. h. die Verkehrsgrössen, durch welche die vollständige Ausnützung der Schienen voraussichtlich bewirkt wird. Diese beiden Grössen sind noch nicht vergleichbar, weil sie von ungleichwerthigen Umständen abhängig sind. Man berechnet deshalb weiter noch mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der fraglichen Bahnstrecken und des auf ihnen stattfindenden Verkehrs mit Benützung der Stockert'schen Coëfficienten zwei andere Verkehrsgrössen a'_1 und a'_2, durch welche die zu vergleichenden Schienen auf gerader, wagrechter Bahn, bei gleicher Achsenbelastung, Fahrgeschwindigkeit u. s. w. vollständig ausgenützt würden. Die dem grösseren dieser Werthe zugehörige Schienensorten wäre offenbar die bessere.

Als dritte Verwerthungsart der Ausnützungslinien wird in der angezogenen Abhandlung schliesslich noch die Aufstellung sachgemässer Bedingungen über die Haftung der die Schienen liefernden Hüttenwerke angegeben. Es führt dies zunächst auf die folgenden allgemeinen Betrachtungen: Für die Bahnverwaltungen ist es von der grössten Wichtigkeit, sich so weit, wie nur immer möglich, Sicherheit über die Güte der angekauften Schienen zu verschaffen. Dieselben haben deshalb von jeher in ihre Lieferungsbedingnisse sehr

eingehende, hierauf bezügliche Anordnungen aufgenommen: Es wurde die Art der zu verwendenden Materialien, wie auch die ganze Herstellungsweise der Schienen, oft nur zu eingehend, vorgeschrieben, man wahrte sich das Recht, die Fabrikation von Anfang bis zu Ende durch eigens abgeordnete Beamte überwachen zu lassen und die fertigen Schienen bestimmten Proben zu unterwerfen, ohne dass jedoch hierdurch die Haftbarkeit des Lieferanten vermindert wurde. Bei Ablieferung der Schienen auf die Lagerplätze wurden sie vielmehr einzeln noch einer sorgfältigen Besichtigung unterzogen und alle nicht vollkommen bedingnissgemäss befundenen zurückgewiesen, ja die Haftbarkeit erlosch erst nach Ablauf eines gewissen Zeitraumes, nachdem alle bis dahin hervorgetretenen Mängel gutgemacht worden waren. Es ist bekannt, dass trotzdem das angestrebte Ziel nur selten in ganz befriedigender Weise erreicht wurde; Stockert sucht dies rechnungsmässig darzuthun und macht dann Vorschläge über eine zweckentsprechende Anwendung seiner Ausnützungslinien auch in dieser Richtung, worauf jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann.

Dagegen möchte es angezeigt sein, noch einmal auf die Proben zurückzukommen, welche mit einem Procentsatz der fertigen Schienen zur Feststellung der von ihnen geforderten Eigenschaften vorgenommen werden sollen. Dieselben wurden bis vor Kurzem allgemein in der Art durchgeführt, dass man die Schienen, auf zwei Unterstützungspunkten von bestimmtem gegenseitigen Abstand ruhend, dabei in richtiger Lage, sodann verkehrt und auf der Seite liegend, einer in der Mitte der freien Länge einwirkenden ruhenden Belastung, wie auch dem Schlage eines aus bestimmter Höhe abstürzenden Rammklotzes von vorgeschriebenem Gewichte aussetzte. Je nach der Grösse der dabei vorgeschriebenen Anstrengung durfte keine bleibende Formänderung oder kein Bruch eintreten, und, falls die Anstrengung bis zum Bruche getrieben wurde, mussten die Bruchflächen die gewünschte Beschaffenheit des Materials, der Schweissung u. s. w. zeigen.

Im Jahre 1876 wurde von der Technikerversammlung in Constanz und bald darauf von der Generalversammlung

des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen ein Antrag, die staatlich anerkannte Classification für Eisen und Stahl betreffend, angenommen und demzufolge eine besondere Commission zur Behandlung der Angelegenheit ernannt. Dieselbe gelangte bei weiterer Verfolgung der Sache unter Anderem auch zu der Anschauung, dass durch die bisher übliche Erprobung der fertigen Eisenbahnschienen die erstrebte Sicherstellung gegen ungeeignetes Material nicht erzielt werden könne, es vielmehr empfehlenswerth sei, Zerreissungsfestigkeit und Zähigkeit, wodurch die Güte des Flussstahls hauptsächlich abhängig sei, in's Auge zu fassen.

Nachdem erfahrungsgemäss bei gleicher Güte des fraglichen Materials die Festigkeit auf Kosten der Zähigkeit und umgekehrt vermehrt werden kann, sollte die Summe dieser beiden Grössen als Ausdruck für die Güte des Stahls betrachtet werden unter der Voraussetzung, dass die Zerreissungsfestigkeit in Kilogramm für den Quadratmillimeter und als Zähigkeit die Zusammenziehung des Zerreissungsquerschnitts, ausgedrückt in Procenten des ursprünglichen Querschnitts, angegeben sei.

In den Entwurf für „Besondere Bedingungen für die Lieferung von Eisenbahnschienen aus Flussstahl" wurde sodann der folgende Paragraph aufgenommen:

„§ 15. Qualität des Stahls, Belastungs-, Biege-, Fall- und Zerreissproben. Aus der Mitte des Schienenkopfes werden Versuchsstäbe, welche in den Längenmassen und in der Form ihrer Köpfe den nachstehenden Zeichnungen entsprechen sollen, kalt herausgearbeitet, in 240 *mm* Länge genau cylindrisch auf einen Durchmesser von nicht unter 20 *mm* (thunlichst 25 *mm*) gedreht und auf einer Zerreissmaschine geprüft.

Diese Prüfungen erfolgen nach Wahl der Eisenbahnverwaltung in den eigenen Werkstätten, oder auf den Werken der Lieferanten, oder in einer öffentlichen Prüfungsanstalt. Die geringste zulässige absolute Festigkeit soll 50 *kg* für den Quadratmillimeter, die geringste zulässige Contraction 20 Procent des ursprünglichen Querschnitts betragen.

Für die Bestimmung der Qualität sind beide Eigenschaften nöthig, und zwar sind die beiden gefundenen Zahlen (absolute Festigkeit und Contraction) zu addiren und müssen wenigstens die Zahl 85 ergeben.

Minderwerthige Schienen, bei denen also die Summe der zusammengehörigen Festigkeits- und Zähigkeitszahlen weniger als 85 beträgt, jedoch unter Innehaltung der vorstehend bezeichneten Minimalwerthe, können, wenn sie sonst den Vorschriften entsprechen, nach freier Vereinbarung zu einem gegen den Submissionspreis ermässigten Preis übernommen werden."

Diese Vorschläge wurden durch Generalversammlungsbeschluss den Vereinsverwaltungen zur Anwendung empfohlen, sodann sammt ausführlichen Mittheilungen über Versuche mit Eisen- und Stahlmaterialien im VII. Supplementband des Organs f. d. Fortschr. d. Eisenbahnwesens, Wiesbaden 1880, veröffentlicht und seitdem auch von einer Anzahl Verwaltungen angenommen. Wie wenig übereinstimmend übrigens die Anschauungen gerade in dieser Hinsicht zur Zeit noch sind, geht aus den Beschlüssen der von Professor Bauschinger veranlassten „Conferenz zur Vereinbarung einheitlicher Untersuchungsmethoden etc." hervor, welche im September 1884 in München stattfand und sich für Erprobung der Eisenbahnschienen hauptsächlich auf Biegung und Schlag aussprach.

5. Anstrengung der Schienen im Querschwellen-Oberbau. Durch die früher angegebenen Masse des Schienenquerschnittes, wie sie beim Eisenbahnbetriebe ausprobirt worden sind, ist die für Haupt- oder Vollbahnen erforderliche Stärke der Fahrschienen ziemlich sicher festgestellt. Als nächste Aufgabe erscheint die Untersuchung der Spannungsverhältnisse im Innern der Schienen oder der Anstrengung, welche das Material unter den obwaltenden Umständen auszuhalten hat.

Die Lösung dieser Aufgabe ist bei der sehr verwickelten Art der äusseren Angriffe, welchen die Schienen ausgesetzt sind, ungewöhnlich schwierig und noch keineswegs in befriedigender Weise durchgeführt.

Durch die in der Lothebene wirkenden Drucke und Stösse der Räder werden Durchbiegungen der Schienen, sowie Stauchungen und Formänderungen ihres Querschnittes veranlasst, ausserdem streben die durch Unregelmässigkeiten in der Bewegung der Fahrzeuge und die in gekrümmten Gleisstrecken aus deren Form entstehenden seitlichen Angriffe gegen den Schienenkopf Ausbiegungen nach der Seite, Verdrehungen und Kantungen der Schienen an, bei den Stossfugen endlich verursachen die zur Verbindung der Schienenenden dienenden Theile Anstrengungen besonderer Art.

Am eingehendsten hat man sich bis jetzt mit den Längsspannungen in den äussersten Fasern des Fusses und Kopfes der Schienen in Folge der lothrechten Durchbiegung beschäftigt, indem man die Theorie des continuirlichen Trägers auf den Schienenstrang anwandte. Dieser erscheint nämlich bei dem hier in Rede stehenden Oberbau mit hölzernen Querschwellen als ein Balkenträger auf einer grossen Anzahl von Stützstellen und es gilt für ihn die allgemeine Biegungsgleichung

$$\text{Max. } \mathfrak{M} = \frac{\sigma_m}{m} \cdot \Theta_o = \frac{\sigma_n}{n} \cdot \Theta_o.$$

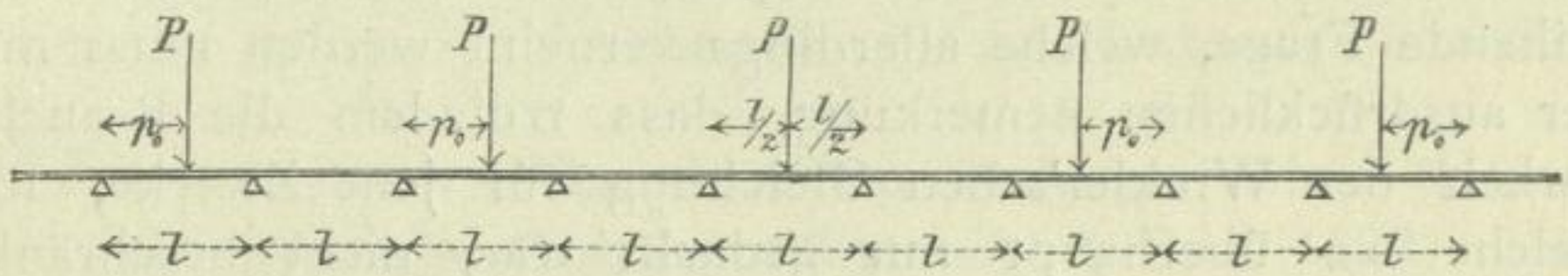
In derselben bedeutet Max. $\mathfrak{M}$ ein Mass für den äusseren Angriff, das sogenannte Angriffsmoment, in gleicher Weise der Quotient $\frac{\Theta_o}{m}$ oder $\frac{\Theta_o}{n}$ ein Mass für den Widerstand, welchen die Schiene zu leisten im Stande ist. Insbesondere stellt Θ_o das Trägheitsmoment des Schienenquerschnittes für dessen wagrechte Schwerpunktsachse vor und m wie n den Abstand des Schwerpunktes von der Schienenbasis, beziehungsweise der Oberfläche des Kopfes. Mit σ_m und σ_n endlich wird der Werth der in den äussersten Fasern des Fusses und Kopfes auftretenden Längsspannungen bezeichnet.

Für ein bestimmtes Schienenprofil ist Θ_o, m und n gegeben; hat man auch noch Max. $\mathfrak{M}$ mit Hilfe der Theorie des continuirlichen Trägers gefunden, so liefert die Biegungsgleichung die Spannungswerthe σ_m und σ_n. Gegenwärtig wird ziemlich allgemein der Momentenwerth

$$\text{Max. } \mathfrak{M} = 0{\cdot}189\, P\,.\, l$$

festgehalten (P der grösste vorkommende Raddruck, l der grösste Abstand zweier benachbarter Schwellen von Mitte zu Mitte). Derselbe wurde von Professor Winkler seinerzeit[1]) entwickelt und stellt das grösste Moment vor, welches an einem schwerlosen Träger mit unendlich vielen, gleich hoch gelegenen und unnachgiebigen Stützpunkten von gleichem gegenseitigen Abstand (l) durch lauter gleich grosse Lasten (P) hervorgerufen würde, falls diese in der denkbar ungünstigsten Zusammenstellung auf dem Träger ruhten, so zwar, dass auf der Strecke zwischen zwei auf einander folgenden Stützpunkten nie mehr als eine derselben vorhanden ist. Fig. 31 stellt einen Theil des in der beschriebenen Weise belasteten Trägers vor. Im Anhange ist die mathematische Entwickelung des Näheren angegeben.

Fig. 31.



Aus dieser Figur ist zu ersehen, dass die Lasten P vollkommen symmetrisch gegen die Mitte eines Feldes liegen, und es bedarf deshalb vor Allem einer Erklärung, wie man dazu komme, das aus einem künstlich zusammengestellten Belastungsfalle abgeleitete Angriffsmoment als der Wirklichkeit entsprechend anzusehen.

Zunächst muss man beachten, dass der Beitrag einer Last zum Momentenwerth an irgend einer Stelle ausserordentlich rasch abnimmt, wenn die Entfernung derselben von dieser Stelle vergrössert wird, so dass immer nur einige wenige, der fraglichen Stelle zunächst befindliche Lasten von Bedeutung für die praktische Anwendung sein werden. Im Falle der Fig. 31 z. B. erzeugt die in der Mitte des betrachteten Feldes

[1]) Handbuch für Specielle Eisenbahntechnik, unter Mitwirkung von Fachgenossen herausgegeben von Heusinger v. Waldegg, I. Bd. Eisenbahnbau, Leipzig 1870, Cap. VII; sodann: Winkler, Vorträge über Eisenbahnbau, 1. Heft, Eisenbahnoberbau, 2. Aufl. Prag 1871.

ruhende Last blos im Vereine mit ihren beiden Nachbarlasten schon ein Moment gleich 0·1874 *Pl* und alle übrigen unendlich vielen Lasten zusammen nur den kleinen noch fehlenden Betrag, welcher für die Anwendung als bedeutungslos bezeichnet werden kann. (Unendlich viele Lasten wurden überhaupt nur aus dem Grunde angenommen, weil die Rechnung dadurch wesentlich vereinfacht wird.) Ueberlegt man dann weiter, dass bei den üblichen Achsenständen der Locomotiven es im Allgemeinen immer möglich sein wird, neben einem in seiner Mitte besetzten Felde zwei unbelastete und dann wieder je ein belastetes Feld herzustellen, so gelangt man zu der Ueberzeugung, dass der Winkler'sche Momentenwerth in der That den wirklich vorkommenden Belastungsfällen als genau genug entsprechend angesehen werden könne, falls die bei Herleitung von Max. $\mathfrak{M} = 0{\cdot}189\,Pl$ gemachten Voraussetzungen mit den bestehenden Verhältnissen in genügendem Masse übereinstimmen. Ob letzteres der Fall sei, ist die sich unmittelbar anreihende Frage, welche allerdings verneint werden muss mit der ausdrücklichen Bemerkung, dass trotzdem die Brauchbarkeit der Winkler'schen Gleichung für jene Zwecke, für welche sie überhaupt nur gedacht war, nicht beschränkt wird.

Von den Voraussetzungen ist zum mindesten die Unveränderlichkeit in der Höhenlage der Stützpunkte nicht zutreffend, indem sowohl die Schwellen, wie auch der Bettungskörper unter dem Druck der Räder Zusammenpressungen erleiden; auch hat die Bewegung der Verkehrslasten, welche als ruhend gedacht werden, eine Steigerung des Angriffes zur Folge. Man kann deshalb bestimmt annehmen, dass die Gleisstränge stärkeren Angriffen ausgesetzt sind, als der Momentenwerth Max. $\mathfrak{M} = 0{\cdot}189\,Pl$ angiebt und grössere Spannungen erleiden, als hiernach aus der Biegungsgleichung gefolgert werden kann.

Trotzdem bleibt, wie schon bemerkt, das Winkler'sche Moment für gewisse Zwecke wohl verwendbar. Wenn man z. B. mit Hilfe von gut ausprobirten, ihrem Zwecke erfahrungsgemäss in jeder Hinsicht entsprechenden Schienenquerschnitten, die jenem Momente zugehörige sogenannte zuläs-

sige Spannung (der grössere von den beiden Werthen σ_m oder σ_n) aus der Biegungsgleichung

$$0{\cdot}189\, Pl = \sigma_m \cdot \frac{\Theta_o}{m} \text{ oder } 0{\cdot}189\, Pl = \sigma_n \cdot \frac{\Theta_o}{n}$$

bestimmt, so kann dieser Werth der zulässigen Spannung dann umgekehrt in passender Weise beim Entwurfe neuer Schienenprofile benützt werden. Man braucht nur das neue Profil mit Berücksichtigung aller massgebenden Umstände, namentlich auch der früher angegebenen erprobten Hauptabmessungen, zu zeichnen, das ihm zugehörige Θ_o und m, beziehungsweise n, zu bestimmen und nachzusehen, ob hiefür und mit dem Winkler'schen Moment aus der Biegungsgleichung ein Spannungswerth erhalten wird, welcher mit der zulässigen Spannung genau genug übereinstimmt. Ist dies nicht der Fall, so verändert man den Entwurf, prüft von neuem in der beschriebenen Weise und wiederholt das Verfahren so lange, bis die gewünschte Uebereinstimmung erzielt ist.

Winkler hat schon Ende der Sechziger Jahre (Handbuch für Specielle Eisenbahn-Technik, 1 Bd., 1870) eine grössere Anzahl der üblichen Schienenquerschnitte mit Hilfe seines Momentes auf ihre Anstrengung untersucht und gefunden, dass bei den Betriebsverhältnissen der Hauptbahnen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen für Schweisseisenschienen eine zulässige Spannung von 750 *kg* f. d. Quadratcentimeter, ungefähr die Hälfte der Spannung bis zur Elasticitätsgrenze, als entsprechend angesehen werden könne, und dasselbe scheint auch heute noch zutreffend zu sein (Organ f. d. F. d. E. XXII. Bd., 1885, Ergänz.-Hft. S. 246). Für Flussstahlschienen pflegt man unter gleichen Verhältnissen 1000 bis 1100 *kg* f. d. Quadratcentimeter festzuhalten.

Man erkennt aus dem Allen, dass die angegebenen Werthe der zulässigen Spannung nur insofern Bedeutung haben, als sie in Verbindung mit dem Momentenwerth Max. $\mathfrak{M} = 0{\cdot}189\, Pl$ nach der Biegungsgleichung ein Kennzeichen für die Zulänglichkeit eines sonst gut geformten Schienenprofils gewähren. Dagegen entsprechen sie keineswegs den

im Schienenstrang wirklich auftretenden Längsspannungen. Dieselben sind vielmehr entschieden grösser und würden nur in dem Falle mit den zulässigen Spannungswerthen übereinstimmen, wenn es möglich wäre, auch das thatsächlich vorkommende grösste Angriffsmoment genau zu berechnen.

Dass die wirklichen Längsspannungen des Schienenstranges sehr gross sein werden, grösser als man gewöhnlich anzunehmen pflegt, ist schon deshalb wahrscheinlich, weil bleibende Verbiegungen erst bei sehr hohen Anstrengungen hervortreten. Bei den früher schon einmal angeführten Weishaupt'schen Versuchen mit Eisenbahnschienen erlitten dieselben bei einer Gesammtdurchbiegung von $^1/_{10}$ Zoll $= 2{\cdot}62\,mm$ und der gleichzeitigen bleibenden Durchbiegung von 0·004 bis 0·015 Zoll $= 0{\cdot}10$ bis $0{\cdot}39\,mm$ auf eine freie Länge von 3 Fuss preuss. $= 0{\cdot}942\,m$ Spannungen, welche das 1·5- bis 2-fache der Spannung bis zur ursprünglichen Elasticitätsgrenze erreichten. Da nun bemerkbare Verbiegungen der Schienen bei besonders starker Anstrengung befahrener Gleise, wie sie sich z. B. beim Aufthauen des gefrorenen Bodens und der dadurch bedingten sehr ungleichen Höhenlage der Schwellen und bei anderen Gelegenheiten ergeben, thatsächlich beobachtet werden, andererseits auch die früher zusammengestellten, gegenwärtig üblichen Abmessungen des Schienenquerschnitts bei den Betriebsbeamten keineswegs als übermässig stark gelten, so kann man mit einem hohen Grad von Wahrscheinlichkeit voraussetzen, dass kleine bleibende Durchbiegungen, wenn auch nicht sichtbar, doch vorhanden sind. Wenn solche aber auch nur 0·2 oder $0{\cdot}3\,mm$ auf eine Schwellenentfernung von 900 bis $1000\,mm$ betragen, so müssen Spannungen erwartet werden, welche die ursprüngliche Grenzspannung (Spannung bis zur ursprünglichen Elasticitätsgrenze) beträchtlich übersteigen.

Eine genaue Feststellung der wirklichen Spannungen wird kaum jemals gelingen, aber man wird dieselben in immer engere Grenzen einschliessen und zuletzt eine genügend sichere Vorstellung von dem wahren Zustande der befahrenen Eisenbahnschienen erlangen. Die Schwierigkeit dabei liegt eben, wie immer bei Anwendung von Theorien auf praktische

Fälle, darin, den dortselbst nothwendig festzuhaltenden gesetzmässigen Zustand den derben Verhältnissen der Praxis auf Grund genauer Kenntniss derselben möglichst anzupassen.

Die Annahme unverdrückbarer Unterlagen, welche der Entwickelung des Winkler'schen Angriffsmomentes zu Grunde liegt, ist in dieser Beziehung als erste Annäherung an die Wahrheit zu betrachten. Es kann als ein Fortschritt bezeichnet werden, wenn man statt dessen verdrückbare Unterlagen in's Auge fasst, und wenn man hierbei vorerst nothgedrungen vollkommene Elasticität voraussetzt, so stimmt dies zwar noch nicht mit der Wirklichkeit überein, kommt ihr aber näher als jene erste Annahme. Die Untersuchung wird jetzt schon ziemlich umständlich, weil die in die Rechnung einzuführenden Höhenunterschiede der Stützpunkte nicht in bestimmter, unveränderlicher Grösse gegeben sind, sondern je nach der Stellung der Lasten mit dem jeweiligen Auflagerdruck wechseln, so dass nun die Senkung (c) einer Stütze, z. B. jener Nr. σ, in der Form

$$-c_\sigma = \frac{1}{f} \cdot A_\sigma$$

eingesetzt werden muss, wenn $\frac{1}{f}$ einen erfahrungsgemäss feststehenden „Verdrückungscoëfficienten" und A_σ den Auflagerdruck bei Nr. σ vorstellt. Die Clapeyron'schen Grundgleichungen, welche zur Beantwortung der gestellten Frage dienen, nehmen dadurch eine verwickeltere Form als früher an, worüber im Anhange Näheres angegeben ist. Ueber den Coëfficienten $\frac{1}{f}$ wird demnächst genauere Auskunft gegeben.

Im Folgenden soll nur noch kurz angegeben werden, wie sich bei dieser zweiten Annäherung der Gang der Untersuchung gestaltet und welches die Ergebnisse derselben sind. Zunächst kann man sich überzeugen, dass es zulässig sei, vom Schienenstrang nur ein Stück, höchstens von der Länge der Normalschiene, in Betracht zu ziehen und dass durch die zuweilen entstehenden negativen Auflagerdrücke die Schlussfolgerungen nicht wesentlich beeinflusst werden. Die

genaue Verfolgung der beim Befahren der Gleise mit Locomotiven eintretenden Belastungsfälle führt dann zu folgenden Ergebnissen:

Durch ruhig stehende Maschinen werden an sorgfältig unterhaltenen Gleisen bei einem durchschnittlichen Zustand der Bettung Angriffsmomente hervorgerufen, welche den Momentenwerth Max. $\mathfrak{M} = 0 \cdot 189\, Pl$ um beiläufig 50 Procent übertreffen und dieser Unterschied erhebt sich sogar über 100 Procent, wenn durch das Hohlliegen einer Schwelle ein Unterstützungspunkt verloren geht und die Schiene auf eine Entfernung $(2\,l)$ frei tragen muss. Noch grösser fallen die Momente aus, wenn sich die Maschinen in Bewegung befinden, weil die Tragfedern dabei in's Spiel gerathen und eine wechselnde Vertheilung des Gewichtes auf die Achsen verursachen, und weil ausserdem in Folge der Bewegung Stosswirkungen nicht zu vermeiden sind. Auch wird das Material noch aus dem Grunde stärker in Anspruch genommen, weil jetzt die Spannung an einer und derselben Stelle einem sehr rasch erfolgenden Wechsel, und oft von Zug in Druck übergehend, unterworfen ist.

Zur Beurtheilung der Ueber- und Entlastung von Locomotivenachsen liegen einige Versuche des Freiherrn M. M. v. Weber vor, welche er mit dreiachsigen Maschinen anstellte und unter der Ueberschrift: „Experimentative Ermittelungen über den Wechsel der Belastung der Locomotiven beim Betriebe" als Anhang zu seinem berühmten Buche: „Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise, Weimar 1869" veröffentlichte. Es waren dabei über den Federn der Hinter- und Vorderachsen an den Rahmen mehrerer in Dienst stehenden Locomotiven stählerne Schaber angebracht worden, welche die Bewegung der Federn auf Metallplatten verzeichneten, die an deren Gurten ihren Platz erhalten hatten. Aus den so gewonnenen Massen und der bekannten Widerstandsfähigkeit der Federn konnte nachträglich auf die Belastung der Achsen geschlossen werden. Entnimmt man aus den Beobachtungen v. Weber's die Thatsache, dass eine Vermehrung der normalen Achsenbelastung um 25 Procent auch unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht zu den Selten-

heiten gehört und verfolgt man den Einfluss einer solchen Aenderung an den massgebenden Belastungsfällen, so kommt man zu der Anschauung,

dass die Wirkung der Federschwingungen durch einen Coëfficienten $\varphi = 0{\cdot}25$ in Rechnung gebracht werden könne, dem entsprechend der für ruhende Lasten gefundene Momentenwerth zu vergrössern wäre.

Schwieriger ist es, die Wirkung der Stösse abzuschätzen, doch lässt sich immerhin als wahrscheinlich darthun,

dass die Stosswirkung durch den in gleicher Weise wie φ_1 anzubringenden Coëfficienten $\varphi_2 = 0{\cdot}69$ in Rücksicht gezogen werden dürfe,

wenn man nämlich unter Festhaltung der schon besprochenen Thatsache, dass bei sehr geringen, jedenfalls noch nicht bemerklichen Verbiegungen Längsspannungen, mindestens gleich dem 1·5-fachen der sogenannten Grenzspannung, eintreten, die Voraussetzung macht, dass bei den jetzt allgemein üblichen Schienenstärken solche geringe Verbiegungen wirklich vorhanden sind.

Will man endlich noch den Einfluss wechselnder Spannungen überschlagen, so muss man suchen, eine richtige Vorstellung von der Anzahl der auftretenden Wechsel und der Grösse des jedesmaligen Spannungsunterschiedes zu gewinnen.

Man findet dabei, dass für jede Achse ein Spannungswechsel gerechnet werden könne, und

dass sich in Anbetracht der gefundenen Werthe des Angriffsmomentes mit einiger Berechtigung ein Coëfficient $\varphi_3 = 1{\cdot}00$ in Vorschlag bringen lasse.

Bezüglich der drei angegebenen Coëfficienten ist noch zu bemerken, dass φ_1 nur für dreiachsige Locomotiven und φ_3 nur bei regelmässig wiederkehrenden Anstrengungen in Anwendung zu bringen sind.

Unter den wirklich vorkommenden Belastungsfällen stellt sich derjenige als besonders ungünstig dar, bei welchem über einer hohl liegenden Schwelle, in Folge dessen der Schienenstrang nach Fig. 32 auf die Länge $2l$ ohne Unterstützung

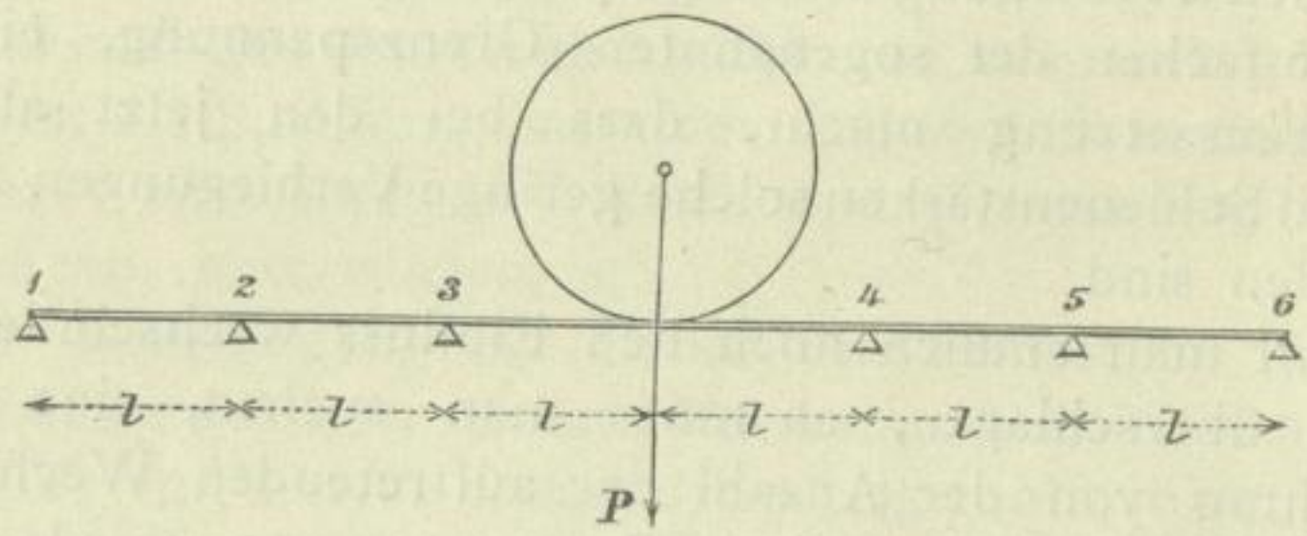
bleibt, ein besonders schwer belastetes Locomotivenrad zu stehen kommt. Gestattet man sich, wegen der Unsicherheit aller in Frage kommenden Constanten, von allen übrigen Rädern abzusehen und nur das eine in Fig. 32 gezeichnete in Rücksicht zu ziehen, so gestaltet sich die Berechnung des grössten Angriffsmomentes sehr einfach. Man berechnet nämlich vorerst den Ausdruck

$$\alpha = \frac{6\,\varepsilon\,\Theta_0}{l^3}\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right)$$

worin ε der Elasticitätsmodul des Schienenmaterials (circa 2·200.000 *kg* f. d. Quadratcentimeter),

der Abstand der Schwellen von Mitte zu Mitte (gewöhnlich $l = 90$ bis $100\,cm$),

Fig. 32.



Θ_0 das Trägheitsmoment des Schienenquerschnitts für die wagrechte Schwerpunktsachse in Centimeter ausgedrückt,

$\frac{1}{f_1}$ ein mit dem Zustande der Bettung, mit der Bettungsconstanten wechselnder und aus Tabelle VI zu entnehmender Coëfficient, wozu bemerkt werden kann, dass man zur Zeit gewöhnlich für Durchschnittsberechnungen die Bettungsconstante $c = 12{\cdot}5$ oder 14 angenommen findet, endlich

$\frac{1}{f_2} = 0{\cdot}000057$ eine, wegen der Pressbarkeit des Schwellenholzes einzuführende und aus Versuchen von Weber abgeleitete Constante.

Für den so gefundenen Werth von α entnimmt man sodann aus Tabelle VII den zugehörigen, von dem ruhenden Locomotivenrad erzeugten Momentenwerth

Tabelle VI.

Bettungs-Constante c	Coëfficient $\frac{1}{f_1}$
4	0·0000800
6	533
8	400
10	320
12	267
14	229
16	200
18	178
20	160
22	145
24	133
30	107
35	091
40	0·0000080

Tabelle VII.

Coëfficient α	Angriffsmoment in der Mitte des grossen Feldes, wenn die Last P daselbst ruht $\mathfrak{M} = \mu \,.\, Pl$
0·6	0·3649 Pl
0·8	0·3759
1·0	0·3854
1·2	0·3939
1·4	0·4017
1·6	0·4089
1·8	0·4157
2·0	0·4222
2·2	0·4283
2·4	0·4342
2·6	0·4400

$\mathfrak{M} = \mu \,.\, Pl$, welcher endlich noch wegen der Bewegung der Räder auf

$$\text{Max } \mathfrak{M} = \mu\, Pl\,(1 + \varphi_1 + \varphi_2) = 1{\cdot}94\, \mu\, Pl$$

zu erhöhen wäre, womit dann aus der Biegungsgleichung ein entsprechend hoher Spannungswerth gefunden wird. Näheres siehe in der Abhandlung: Zur Frage der Betriebssicherheit der Eisenbahngleise etc., Organ f. d. F. d. E. 1883, S. 125, oder im Separatabdruck, Wiesbaden 1883.

Neben den Längsspannungen sind auch schon die im Schienenstrang auftretenden Schubspannungen untersucht und daran Betrachtungen über die Stärke des Schienensteges geknüpft worden (Winkler, Vorträge über Eisenbahnbau, 1. Heft). Dieselben haben jedoch weniger Bedeutung erlangt, weil die Dicke des Steges nach mehreren Gesichtspunkten ziemlich sicher bestimmt ist und bei Schweisseisenschienen hiernach sogar grössere Abmessungen erhalten werden, als mit Rücksicht auf die Schubfestigkeit.

Unter den Versuchen zur Klarlegung dieses Umstandes stehen die von v. Weber ausgeführten obenan (Stabilität etc., S. 103). Derselbe hatte sich die Aufgabe gesetzt, „zu erörtern, welche kleinste Abmessung des Halses der Schienen demselben noch eine Widerstandsfähigkeit belasse, die dem höchsten Masse der Widerstandsfähigkeit der Befestigungsmittel der Schienen auf den Schwellen noch überlegen sei." Er legte zu diesem Zweck eine Schiene in richtiger Stellung auf zwei Stützpunkte von 0·9 *m* Abstand und beobachtete die Verticaldurchbiegung, welche dieselbe durch eine in der Mitte zwischen den Stützen angebrachte Last von 50 Centner (wodurch eine Anstrengung bis nahe an die Elasticitätsgrenze erzielt wurde) erlitt. Derselbe Versuch wurde mehrmals wiederholt, nachdem der Steg jedesmal durch Abhobeln um 3 *mm* verschwächt worden war. Die dabei erzielten Ergebnisse waren folgende:

Bei der ursprünglichen Dicke des Steges von $^5/_8$ Zoll (15 *mm*) betrug der Biegungspfeil 0·016 Zoll,

bei der Stegdicke von	$^1/_2$"	(12 *mm*)	war der Biegungspfeil	0·016"
„ „ „ „	$^3/_8$	(9)	„ „ „	0·019
„ „ „ „	$^1/_4$	(6)	„ „ „	0·0194
„ „ „ „	$^1/_8$	(3)	„ „ „	0·022

Gleichlaufend mit diesen Versuchen wurden andere angestellt, wobei dieselbe Schiene, jedesmal auf doppelt so vielen frischen Föhrenschwellen als in Wirklichkeit üblich waren, und mit doppelt so vielen Nägeln befestigt, an ihren Enden durch Kräfte so stark auf Kantung beansprucht wurde, bis die inneren Befestigungsnägel sich zu heben begannen, und zwar wurde zuerst mittelst einer gegen den Kopf wirkenden Winde ruhiger Druck, sodann mittelst eines langen Hebels, der den Schienenkopf mit einer Klaue umfasste, ein ruck- und stossweise erfolgender Angriff ausgeübt. Die Formänderungen des Querschnitts hierbei wurden durch Einschlagen des Schienenendes in eine Bleiplatte bestimmt.

Das Ergebniss war, dass der Querschnitt auch bei einer Stegdicke von nur 6 *mm* noch keine Formänderung erlitten hatte und erst, nachdem der Steg auf 3 *mm* vermindert worden war, eine kleine bleibende Neigung des

Kopfes in dem Augenblicke erfuhr, als sämmtliche Nägel nachgaben. Schliesslich wurde auch noch eine Schiene mit 3 *mm* starkem Steg als Auffahrtsschiene vor einer stark benützten Drehscheibe eingelegt, wo sie sich eine Reihe von Jahren gut bewährte.

v. Weber schliesst daraus, „dass eine Stegdicke von $^1/_4''$ (6 *mm*) in Bezug auf alle Betriebseinwirkungen ausreichen würde, wenn nicht bei den Senkungen der Schienenstösse dann leicht ein Aufreissen des Halses in den Laschenlöchern zu befürchten wäre, dem indessen durch gehörige Construction der Anlageflächen zwischen Schiene und Laschen in beträchtlichem Masse zu begegnen sei", dagegen werde die Fabrikation durch dünne Stege zu sehr erschwert. Weiter spricht er sich dahin aus: „Jedenfalls erheben die Versuche es über allen Zweifel, dass eine Stärke des Schienenhalses von $^3/_8$ — $^1/_2''$ (9—12 *mm*) für jede übliche Schienenhöhe ausreichenden Widerstand gegen alle verticalen, horizontalen und drehenden Einwirkungen, welche auf Schienen stattfinden können, gewähre."

Mit diesen Schlussfolgerungen scheint v. Weber allerdings etwas zu weit gegangen zu sein, wenigstens darf man nicht übersehen, dass ein grosser Theil der beim Bahnbetriebe beobachteten Schienenbrüche durch die Bolzenlöcher an den Schienenenden verlaufen und mehrere Bahnverwaltungen sich deshalb veranlasst gesehen haben, eine grössere Stegdicke anzuwenden. Vielleicht spielt hierbei die Art, wie die Stossverbindungstheile auf die Enden der Schienen wirken, eine gewisse Rolle, welche neuerdings auch theoretischen Untersuchungen unterworfen wird (z. B. Organ f. d. F. d. E. 1883, S. 159), wobei jedoch allerlei Constante in die Rechnung eingehen, deren Werthe sich erst im Laufe der Zeit sicher feststellen können.

Im Grossen und Ganzen darf man aussprechen, dass die Hauptabmessungen des Querprofils bei Schweisseisenschienen richtig ausprobirt sind und eine dementsprechend geformte und nach der Biegungsgleichung in der früher beschriebenen Weise geprüfte Schiene sich allen vorkommenden Angriffen, namentlich auch den von der Seite her wirkenden, voll-

kommen gewachsen erweisen werde. Nicht ganz so klar liegt zur Zeit die Sache bei den Flussstahlschienen, wenigstens hinsichtlich einzelner Abmessungen, wie die Stärke des Fussrandes und des Steges, welche wahrscheinlich mitunter zu gering angenommen wurden. Auch noch über die zweckmässigste Abnützungshöhe des Schienenkopfes sind Erfahrungen abzuwarten, wie endlich über die geringste noch zulässige Neigung der Laschenanschlussflächen, nachdem beobachtet worden ist, dass bei zu flacher Unterschneidung des Kopfes die Reibung in jenen Flächen so bedeutend werden kann, dass sogar die Längenänderung der Schienen bei Temperaturschwankungen verhindert wird. Eine Zusammenstellung neuerer Stahlschienenprofile im Querschwellenoberbau siehe Zeitschr. f. Baukunde 1883, S. 297.

Die Schienenunterlagen.

Der Zweck der Unterlagen ist, sichere Befestigungsstellen für die Schienen abzugeben, die von diesen überkommene Belastung möglichst gut über den Bettungskörper zu vertheilen und einen hinreichend grossen Beitrag zum Gesammtgewicht des Oberbaues zu liefern. Bei den älteren Formen desselben unterscheidet man je nach dem Material

1. Unterlagen aus Stein und steinähnlichen Stoffen,
2. Unterlagen aus Holz,
3. Unterlagen aus Eisen.

6. Unterlagen aus Natur- oder Kunststein. Steinquader als Unterlagen für Schienenstränge wurden zum erstenmal im Jahre 1797 von M. Barns auf einer Bahn der Lawson-Main-Kohlengruben verwendet (Weber, Stab. S. 26, 61, 66), als er plattenförmige, gusseiserne Schienen mit angegossenem Seitenrande auf prismatische Steine von 16 bis 20″ Seitenlänge des quadratischen Querschnittes und 8″ Dicke lagerte und damit den Schienensträngen zugleich die durchlaufende Unterstützung und die Querverbindung entzog. Seinem Beispiele folgten Andere, so dass derartige Steinunterlagen in England bald allgemein üblich wurden und bis in die Vierziger Jahre hinein die herrschende Form blieben. Dann aber trat ein Rückschlag ein. Auf den grösseren

Bahnen mit ihren schweren Fahrzeugen und bedeutenden Fahrgeschwindigkeiten wurden allerlei Missstände fühlbar, die allerdings nicht ausschliesslich ihren Grund in den steinernen Unterlagsquadern hatten und sich wahrscheinlich auch nicht allzuschwer hätten beseitigen oder doch abmindern lassen. Allein zufällige Umstände, wie der mässige Preis der als Handelsgegenstand eingeführten Schwellenhölzer, der Wunsch, Gusseisen für Schienenunterlagen zu verwerthen u. dergl. m. bewirkten in Verbindung mit dem Misstrauen gegen die Steinquader das Aufgeben derselben fast auf allen englischen Bahnen. Dieser Umstand übte dann sicherlich wieder Einfluss auf die Anschauung der Technikerkreise in anderen Ländern, wo steinerne Unterlagen thatsächlich im Ganzen nur wenig Anerkennung gefunden haben. Im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen sind es eigentlich nur die Taunusbahn und die Bayerische Staatsbahn, welche damals solche Unterlagen in grösserer Anzahl zur Verwendung brachten, aber die dort gemachten Erfahrungen verdienen volle Beachtung, da sie zur Richtigstellung mancher Vorurtheile und zur Klärung der ganzen Sachlage wesentlich beitrugen. Als Nachtheile der Quader waren immer geltend gemacht worden: Die geringe Elasticität des Steines, in Folge dessen ein „hartes Fahren" und die rasche Abnützung der Gleise und Fahrzeuge sich ergebe, sodann die Zerbrechlichkeit der Quader, die mangelnde Querverbindung der Stränge und die Schwierigkeit der Befestigung derselben, wodurch die Betriebssicherheit sehr vermindert werde, endlich die hohen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der Gleise mit Steinquader.

Aus den Betriebsergebnissen der genannten Bahnverwaltungen konnte entnommen werden, dass sich die Härte und Unnachgiebigkeit der Steine nur insofern unangenehm fühlbar mache, als dadurch alle jene Mängel des Oberbaues, durch welche Stösse und Erschütterungen veranlasst werden, besonders deutlich hervortreten, dagegen in keiner Weise schädlich wirke, sobald diese Mängel durch zweckmässige Verbindung der Schienenenden, durch Anwendung ausreichend starker Schienen u. s. w. gehoben seien. Ebenso

könnten alle, die Gleislage gefährdenden Umstände durch sorgfältige Auswahl der Quaderstücke, Sachkenntniss beim Eintreiben der Nägel in die mit Holz ausgefütterten Bohrlöcher und ausreichende Abmessung der Quader vermieden werden. Ja auch bezüglich der Kosten der Gleise mit Steinunterlagen lauteten die Erfahrungen keineswegs ungünstig.

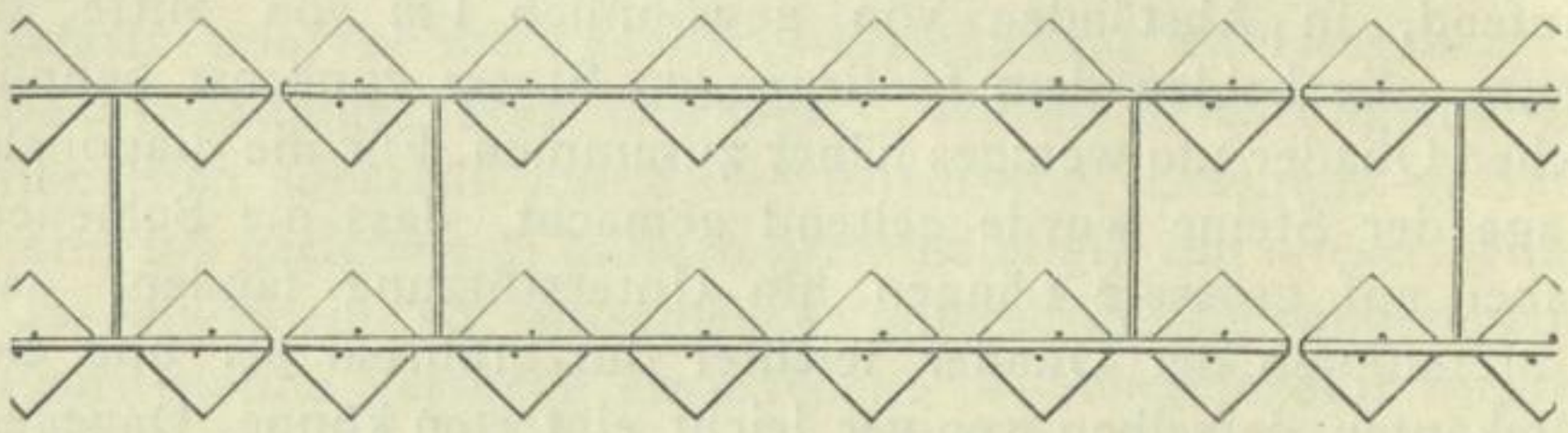
So kam es, dass zu Anfang der Sechziger Jahre, als man wegen des immer steigenden Preises der Holzschwellen in manchen Gegenden auf einen passenden Ersatz derselben denken musste, die Steinunterlagen von Neuem in's Auge gefasst und für die Technikerversammlung zu Dresden 1865 Beantwortungen über die Frage: „Welche Erfahrungen liegen über den Oberbau auf Steinwürfeln vor? Erscheint es rathsam, bei geeignetem, billigen Steinmateriale mit dieser, früher fast allgemein als entschieden unzweckmässig angesehenen Construction Versuche anzustellen?" — eingefordert wurden. Auf Grund der eingegangenen Mittheilungen gab die Versammlung damals ihr Gutachten dahin ab, dass nach so günstigen Erfahrungen, wie sie auf den bayerischen Staatsbahnen und der Taunusbahn gemacht worden seien, Versuche mit Steinunterlagen nur empfohlen werden könnten, vorausgesetzt, dass geeignetes und billiges Steinmaterial zur Verfügung stehe (I. Supplementband, S. 46). In Folge dessen wurden an verschiedenen Orten, namentlich auch von der Staatsbahnverwaltung in Württemberg, neuerdings Versuchsstrecken solcher Art angelegt, allein das Endergebniss war selten befriedigend, so dass die beiden mehrfach genannten Verwaltungen mit ihrer Vorliebe für Quader ziemlich allein blieben, ja auch sie, welche so lange und entschieden für dieselben eingetreten waren, kamen allmählich davon ab. In Bayern wenigstens werden die Steinunterlagen schon seit längerer Zeit planmässig auf allen Hauptgleisen eingezogen und nur in den Nebengleisen bleiben sie noch in Benützung. Der Grund hiervon scheint unter Anderem darin zu liegen, dass die Quader doch ihre Lage nicht sicher beibehalten, sondern durch Frostwirkungen u. dergl. namentlich auch Verdrehungen erleiden, so dass die Schienen nicht mehr fest zwischen den Nägeln sitzen.

Von den zur Anwendung gebrachten Steinmaterialien haben sich Granit und quarzreiche Sandsteine am besten bewährt, da dieselben frostbeständig und auch hinreichend fest sind, so dass sie beim Unterstopfen nicht leiden und die Füsse der unmittelbar aufgelegten Schienen sich nicht zu schnell in den Stein einfressen. Die winkelrecht, sonst aber ziemlich rauh bearbeiteten Quader erhielten bei Hauptbahnen einen quadratischen Horizontalschnitt von 0·6 *m* Seite und eine Höhe von 0·3 *m*. Man legte sie entweder mit der Seite oder der Diagonale ihrer Grundfläche den Schienensträngen gleichlaufend, in Abständen von gewöhnlich 1 *m* von Mitte zu Mitte, die beiden dem freiliegenden Stosse zunächst befindlichen Quader um weniges näher zusammen. Für die diagonale Lage der Steine wurde geltend gemacht, dass die Schienen dabei auf grössere Längen hin Unterstützung fänden, das Unterstopfen der Quader leichter durchführbar sei und ein Umkanten derselben weniger leicht eintreten könne. Dagegen sprach die Erfahrung mancher Ingenieure, wonach wegen der Keilwirkung der Quader in dieser Lage gegen das sie umgebende Bettungsmaterial leichter Verschiebungen und in Folge dessen Spurveränderungen eintreten könnten. Um eine Querverbindung der Stränge zu erzielen, welche zuweilen in den geraden Strecken, jedenfalls aber in den Krümmungen für nöthig erachtet wurde, legte man die Stossfugen des Schienenstranges zwischen je zwei hölzerne Querschwellen und brachte eine solche wohl auch noch in der Mitte jeder Schienenlänge an, oder man benützte eiserne „Spurstangen", welche zwischen den Stegen der Schienenstränge angebracht waren, etwa zwei oder drei auf Schienenlänge. Bei Ausführung ruhender Stösse wurden auch schon Querschwellen aus Eisen zur Vereinigung der Stränge benützt u. dergl. m. Die Schiefstellung der Schienenstränge, welche wegen der Kegelform der Radkränze nothwendig ist, wurde durch schiefes Einlegen der Quader in die Bettung bewirkt. In Fig. 33 und 34 ist das Gesagte bildlich dargestellt.

Noch sind der Vollständigkeit halber einige Mittheilungen über Unterlagen aus künstlicher Steinmasse anzufügen, obgleich dieselben eine weitergehende Bedeutung nicht gewonnen

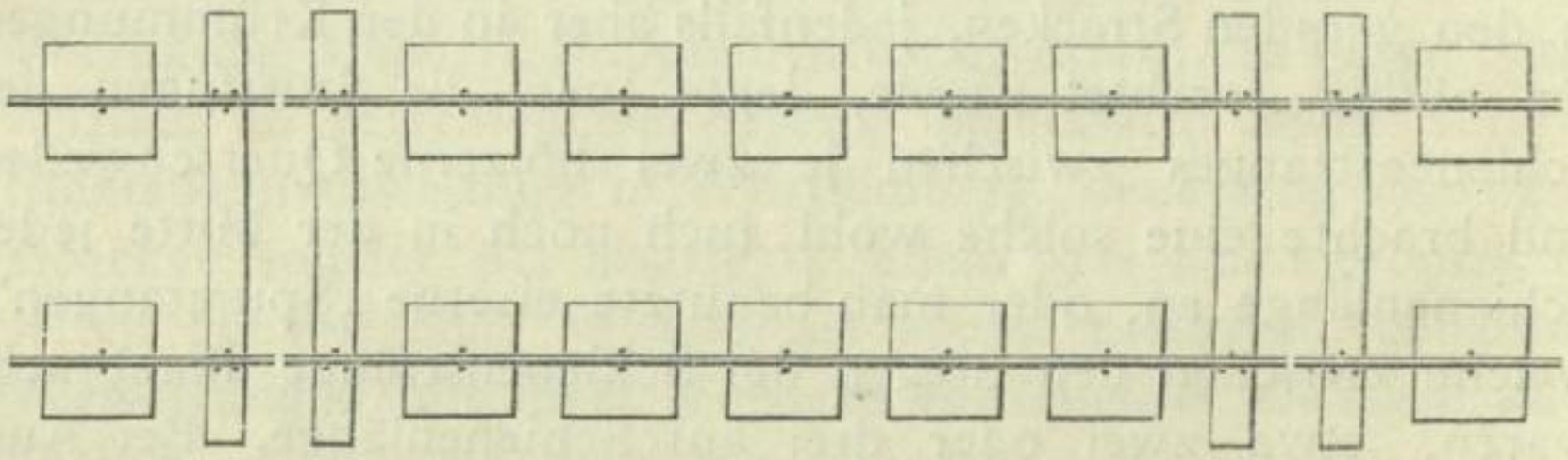
haben. In einigen Gegenden, wo Cemente vielfach verarbeitet werden, stellte man auch Schienenunterlagen daraus her, ungefähr mit denselben Abmessungen wie die Naturquader, und verlegte sie auch in derselben Weise wie diese. Sie haben sich aber neben den ausserdem üblichen Unterlagen, bis jetzt wenigstens, nicht halten können. Dasselbe gilt von einigen anderen eigenthümlichen Constructionen, deren eine, von Stierlin auf der Weltausstellung zu Wien (1873) bekannt

Fig. 33.



gewordene, als Beispiel hier noch ihren Platz finden mag. Dieselbe ist aus einem Gemenge von Asphalt und Kies nach Fig. 35 kreuzförmig gebildet, mit 0·60 *m* langen, 0·18 *m* breiten

Fig. 34.

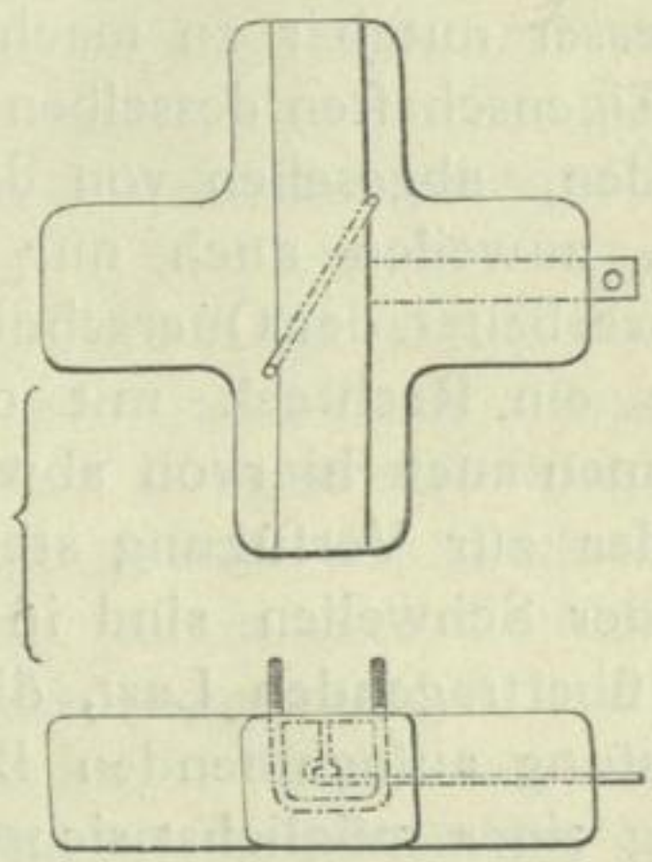


und 0·15 *m* dicken Schenkeln. In dieses Kreuz sind drei Eisentheile eingegossen: Ein Stück T-Eisen von der Länge des Kreuzarmes, dessen breite Flantsche an der oberen Fläche sichtbar ist und zur unmittelbaren Unterstützung des Schienenfusses dient, ein zweimal im rechten Winkel umgebogenes Rundeisen, an dessen Enden Schraubenspindeln angebracht sind, so dass die Befestigung der Schienen auf den Unterlagen mittelst der Deckplättchen und Schraubenmuttern geschehen kann, endlich ein Flacheisen, dessen eines Ende um

den unteren Kopf des T-Eisens gebogen ist, während das andere durchlochte Ende aus dem Kreuze hervorragt, um zwischen je zwei, einander gegenüber angeordneten Unterlagen eine eiserne Querverbindung anbringen zu können.

7. **Hölzerne Langschwellen.** Schienenunterlagen aus Holz haben entweder die Form von Langschwellen oder Querschwellen. Erstere wurden früher zur Unterstützung von Flach- und Brückschienen öfters verwendet, haben aber zur Zeit nur noch geringe Bedeutung, indem sie auf Locomotivbahnen so gut wie aufgegeben sind und auch von den städtischen Trambahnen, wo sie zuletzt noch ziemlich allgemein

Fig. 35.



beliebt waren, allmählich verschwinden. Der Grund hiervon ist in mancherlei Nachtheilen zu suchen, welche sich bei dieser Art von Unterlagen zu der geringen Dauerhaftigkeit der Hölzer gesellen. Die langen Stücke verdrehen und werfen sich nämlich sehr stark, so dass eine sichere Schienenlage kaum erzielt werden kann; die Entwässerung des Bettungskörpers wird durch sie gehindert, es erweicht sich in Folge dessen der Untergrund und die Zerstörung des Holzes vollzieht sich in noch kürzeren Zwischenräumen; die Arbeiten zur Unterhaltung der Gleise sind bei Verwendung von Langhölzern sehr erschwert, weil dieselben an sich ein grosses Gewicht besitzen und zur Erhaltung ihres gegenseitigen Abstandes auch noch durch Querhölzer verbunden werden

müssen u. dergl. m. Es kann deshalb von weiteren Betrachtungen derselben abgesehen werden.

8. **Querschwellen aus Holz.** Viel wichtiger für den Eisenbahningenieur sind die hölzernen Querschwellen, welche gegenwärtig noch auf den allermeisten Eisenbahnlinien vorkommen. Die „Statistik der im Betriebe befindlichen Eisenbahnen Deutschlands", bearbeitet vom Reichseisenbahn-Amt, Band V, Betriebsjahr 1884/85, giebt die Länge sämmtlicher normalspuriger Gleise der deutschen Bahnen zu 62.394·46 *km* an, darunter 51.395·73 *km* mit hölzernen Querschwellen.

Am häufigsten kommt Eichen-, Föhren- und Fichtenholz zur Verwendung, seltener Lärchen- und Buchenholz, doch giebt man sich in neuerer Zeit viel Mühe, auch letzteres für die Eisenbahnen besser nutzbar zu machen, indem man gewisse nachtheilige Eigenschaften desselben zu beseitigen sucht. Die Schwellen werden, abgesehen von den Endflächen, gewöhnlich auf vier, zuweilen auch nur auf drei oder zwei Seitenflächen eben bearbeitet, der Querschnitt ist rechteckig oder trapezförmig, oder ein Rechteck mit oben abgestumpften Ecken, jedoch kommen auch hiervon abweichende Formen je nach der Stärke der zur Verfügung stehenden Bäume vor. Die Abmessungen der Schwellen sind in erster Linie durch die Grösse der zu übertragenden Last, die Widerstandsfähigkeit des diese Belastung aufnehmenden Bettungskörpers und durch die Forderung einer möglichst sicheren Schienenbefestigung bedingt, in zweiter Linie kommt ihr Gewicht für die Standfestigkeit der ganzen Oberbauconstruction in Betracht.

Es ist begreiflich, dass diese, nach so verschiedenen und theilweise rein praktischen Gesichtspunkten zu wählenden Masse auch wieder nur durch Versuche im Grossen festgestellt werden konnten. Dies ist im Laufe der Zeit geschehen. Auf den Hauptbahnen macht man jetzt die Grundfläche der gewöhnlichen Schwellen im Durchschnitt 25 *cm* breit und verkleinert dieses Mass nur bei Verwendung sehr guten Steingeschläges oder giebt ihm umgekehrt einen Zuschlag, wenn man ausnahmsweise einmal genöthigt ist, Bettungsmaterial von sehr geringer Güte zu verwenden. Als erforderliche Dicke der Schwellen kann man 16 *cm* und als Inhalt der Quer-

schnittsfläche ungefähr 400 cm^2 bezeichnen. Dies gilt jedoch Alles nur für die gewöhnlichen, sogenannten Mittel- oder Zwischenschwellen. Bei Stossschwellen für „ruhende Stösse", auf welche die Trennungsfuge zweier aufeinanderfolgenden Schienen zu liegen kommt, muss wegen Befestigung der Schienenenden auf eine ausreichend breite obere Fläche gesehen werden, überhaupt erhalten dieselben schon wegen der stärkeren Erschütterungen, welchen sie ausgesetzt sind, grössere Querschnittsabmessungen als die Zwischenschwellen. Einige Ergänzungen hierzu werden bei Besprechung der Ausweichungen ihren Platz finden, da gerade dort ruhende Stösse vorkommen.

Die Länge der Querschwellen wird vorzugsweise durch Rücksichten auf die Befestigung der Schienen bestimmt. Sie muss gross genug genommen werden, dass beim Eintreiben der Befestigungsmittel kein Aufspalten des Holzes und durch Formänderung der Schwellen in Folge der äusseren Belastung keine fehlerhafte Lage der Schienenstränge entsteht. Das für Hauptbahnen schon seit längerer Zeit als zweckentsprechend erachtete Längenmass von 2·5 m hat in jüngster Zeit eine Bestätigung auf der Technikerversammlung zu Berlin 1884 erhalten, indem sich die Mehrzahl der dort vertretenen Bahnen dafür ausgesprochen hat.[1]) Den Stossschwellen geben übrigens manche Ingenieure zur Erzielung einer grösseren Grundfläche bedeutendere Längenabmessungen, ausserdem sind bei den Weichenanlagen aus anderen Gründen sehr verschiedene Längen erforderlich. Bezüglich der Bahnen untergeordneter Bedeutung ist schliesslich noch zu erwähnen, dass bei ihnen die Abmessungen der Schwellen, namentlich die Dicke, entsprechend kleiner genommen werden können, bei Schmalspurbahnen Länge und Breite im gleichen Verhältnisse zur Abminderung der Spurweite.

Der Abstand der Schwellen von Mitte zu Mitte ist von der Stärke der Fahrschienen abhängig, bei den Hauptbahnen wechselt er ungefähr zwischen 90 und 100 cm; nur an den Schienenenden rückt man die Schwellen näher zusammen,

---

[1]) IX. Supplementband, S. 6.

so zwar, dass bei Anwendung „ruhender Stösse", wenn also die Trennungsfuge des Schienenstranges über einer Schwelle angeordnet ist, zu beiden Seiten derselben je ein um mehrere Centimeter kleinerer Abstand hergestellt wird und beim „freiliegenden Stoss", wenn die erwähnten Trennungsfugen je zwischen zwei Schwellen gelegt werden, diese eine Entfernung von 50—60 *cm* von Mitte zu Mitte erhalten. Das letztgenannte Mass muss aus später darzulegenden Gründen so klein wie möglich angenommen werden und ist deshalb durch die Forderung bestimmt, dass eine gute Unterstopfung der dem Stosse zunächst gelegenen Schwellen ausführbar sein soll.

Fig. 36.

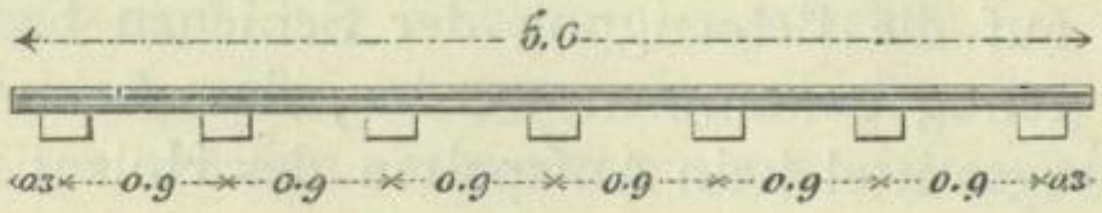


Fig. 37.

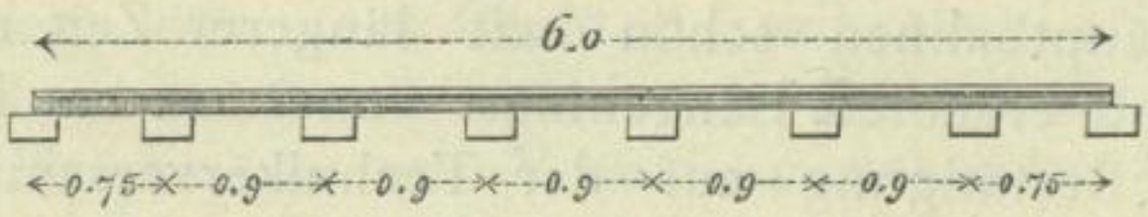
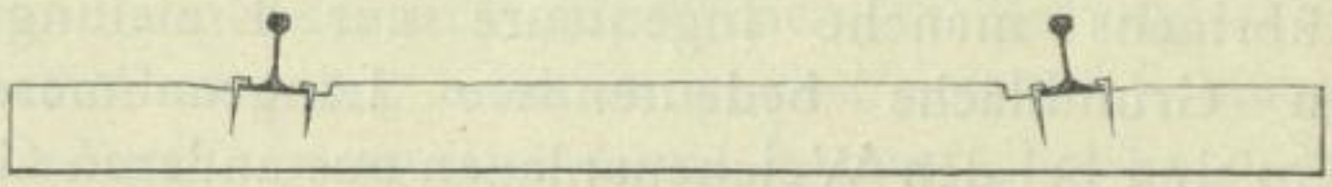


Fig. 38.



Als Erläuterung hierzu dienen Fig. 36 und 37.

Die erforderliche Schiefstellung der Schienen wird bei Verwendung hölzerner Querschwellen dadurch erzielt, dass man nach Fig. 38 zwei kleine Auflagerflächen anschneidet, die Schwellen „kappt".

Unter den Eigenschaften, welche die Querschwellen aus Holz zu Schienenunterlagen besonders geeignet machen, sind vor Allem ihre Massigkeit, die tiefe Lagerung in der Bettung und ihre verhältnissmässig starke Reibung an derselben hervorzuheben, wodurch eine beträchtliche Widerstandsfähigkeit der Gleise gegen Hebungen und seitliche Verschiebungen erzielt wird.

Sehr schätzenswerth ist sodann die sogenannte Verarbeitungsfähigkeit derselben, vermöge welcher sie Stösse und Erschütterungen aufzunehmen und unschädlich zu machen im Stande sind, wie auch die grosse Grundfläche, welche sie zur Druckvertheilung darbieten. Daneben könnte man noch hervorheben, dass die Querschwellen sich sehr leicht unterstopfen lassen und die seitliche Entwässerung des Bettungskörpers in keiner Weise behindern.

Diesen vielen Vorzügen stehen aber andererseits einige bedenkliche Schwächen gegenüber, die Schwierigkeit nämlich, eine genügende Befestigung der Schienen im Holzkörper zu erzielen und die geringe Dauerhaftigkeit des Schwellenholzes. Der erste Punkt wird mit den Befestigungsmitteln zur Sprache kommen, über den zweiten ist es nothwendig, hier Mehreres zu sagen.

9. Dauer des Schwellenholzes, Mittel zu deren Erhöhung. Dass die hölzernen Schwellen so rasch der Zerstörung anheimfallen, ist bei den ausserordentlich ungünstigen Umständen, unter welchen sie aushalten müssen, nicht verwunderlich: Allen Einflüssen der Witterung preisgegeben, unterliegen sie chemischen Entmischungsprocessen, die sich je nach den besonderen Verhältnissen mehr oder weniger schnell entwickeln, und daneben erleiden sie beim Befahren durch die schweren pressenden und stossenden Fahrzeuge mechanische Angriffe, durch welche sie oft in kurzer Zeit zugrunde gerichtet werden. Welche von diesen beiden Einwirkungen mehr zur Geltung gelange, hängt von den jeweiligen Umständen ab. In wenig benützten Nebengleisen oder auf Bahnen mit mässigem Verkehre und sehr günstigen Anlageverhältnissen werden die Schwellen meist durch Anfaulen zugrunde gehen, während sie in sehr belebten Bahnhofsgleisen, in scharfen Bahnkrümmungen oder auf Bremsstrecken zur vollständigen Abnützung gelangen können, ehe noch die Fäulniss grössere Fortschritte gemacht hat. Dabei kommt die Art des Schwellenholzes in Betracht, die besonderen Umstände, unter welchen es gewachsen, die ganze Behandlungsweise von der Fällung des Stammes bis zur Verwendung der fertigen Schwelle, die Art der Befestigungsmittel und

verschiedenes Andere. Auf alle diese Umstände müsste bei statistischen Angaben Bezug genommen werden, weil nur dann vergleichbares Material gewonnen werden könnte. Leider ist dies in solcher Ausdehnung kaum durchführbar, bisher aber auch mit Rücksicht auf die wichtigsten Umstände nur selten geschehen, so dass insbesondere die oft benützten Angaben über die Dauer der Bahnschwellen nur als grobe Durchschnittswerthe zu betrachten sind. Solche Dauerzahlen wurden zuerst aus den für die Technikerversammlung zu Dresden 1865 eingesammelten statistischen Angaben entnommen und ihre Bedeutung von der Versammlung selbst am besten in folgender Weise gekennzeichnet[1]): „Soweit die Erfahrungen bis jetzt vorliegen, ist die mittlere Dauer der nicht imprägnirten und der auf eine gute Art imprägnirten Schwellen in einer auf Zuverlässigkeit keinen Anspruch machenden Weise zu folgenden Zahlen abzuschätzen."

Holzart	Mittlere Dauer nicht imprägnirt	Mittlere Dauer imprägnirt
Eichenschwellen	14 bis 16	20 bis 25
Kiefernschwellen	7 „ 8	12 „ 14
Tannen- oder Fichtenschwellen	4 „ 5	9 „ 10
Buchenschwellen	$2^1/_2$ „ 3	9 „ 10
Lärchenschwellen	9 „ 10	—

Später hat dann Geh. Reg.-Rath Funk auf Grund umfassenden Zahlenmateriales die hier anzuführenden Schlussfolgerungen gezogen:[2])

1. „Als mittlere Dauer der nicht imprägnirten Schwellen auf den deutschen und österreichischen Bahnen hat sich bis jetzt ergeben

a) für eichene Schwellen 13·6 Jahre,
b) „ kieferne „ 7·2 „
c) „ fichtene „ 5·1 „
d) „ buchene „ 3·0 „

2. Als mittlere Dauer der auf rationelle Weise unter einem kräftigen Druck mit Zinkchlorid oder Kreosot imprägnirten Schwellen

---

[1]) I. Supplementband, S. 42.
[2]) Organ f. d. F. d. E. 1880, S. 62.

a) für eichene Schwellen 19·5 Jahre,
b) „ kieferne „ 14 bis 16 „
c) „ fichtene „ 8 „ 10 „
d) „ buchene „ 15 „ 18 „

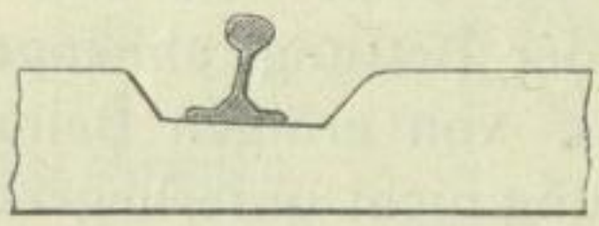
3. Die mittlere Dauer von 831.341 Stück Kiefernschwellen, welche auf 13 deutschen Bahnen in sehr verschiedener Weise imprägnirt worden sind, ist zu 14 Jahren berechnet worden."

Bei der Schwierigkeit der Sache dauerte es ziemlich lange, bis auch nur wenig tiefer eingehende Beobachtungen zur Aufklärung der einzelnen, die Dauer des Holzes beeinflussenden Umstände bekannt wurden. Einiges brachten die Technikerversammlungen des Vereins Deutsch. Eisenb.-Verw., welches besonderen Werth deshalb besitzt, weil es unter den verschiedensten Umständen auf dem weiten Gebiete der Vereinsbahnen gesammelt wurde; so stimmen von den Verwaltungen, welche sich bei der Versammlung zu Stuttgart 1878 an der Berathung betheiligten, alle bis auf zwei darin überein, dass die Dauer der Schwellen besonders von der Beschaffenheit der Bettung abhänge; zu empfehlen sei durchlässiges, reines, von erdigen Beimengungen möglichst freies, der Verwitterung nicht unterliegendes Bettungsmaterial; hartes und reines Steingeschläg verdiene den Vorzug vor feinem Sand. Von 34 Verwaltungen hielten 27 eine Bedeckung der Schwellen mit reinem Kies, wodurch dieselben der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen und des Lichtes entzogen und gegen schnellen Wechsel von Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit geschützt würden, vortheilhaft für die Schwellendauer. Nach der Erfahrung vieler Verwaltungen ist es zu empfehlen, sowohl imprägnirte, wie nicht imprägnirte Schwellen vor dem Verlegen in die Bahn an der Luft zu trocknen. Alle, damals an der Berathung betheiligten Verwaltungen wollen endlich die Beobachtung gemacht haben, dass im Winter gefälltes Schwellenholz eine längere Dauer als Sommerholz besitze, welcher Unterschied besonders stark bei nicht imprägnirten Schwellen hervortrete.

Noch seltener kommen in der Literatur Mittheilungen über das Mass jener Angriffe vor, durch welche äussere Beschädigungen der Schwellen verursacht werden und über

das Verhältniss dieser Angriffe zu den Wirkungen der Fäulnissvorgänge. Sicher ist, dass die Schwellen wegen solcher Beschädigungen oft in erschreckend kurzer Zeit zugrunde gehen. Dieselben ergeben sich hauptsächlich durch das gewaltsame Eintreiben der zur Befestigung der Schienen auf den Unterlagen dienenden Hakennägel und das öftere Umnageln, welches zur Wiederherstellung der verdrückten Schienenstränge von Zeit zu Zeit nothwendig wird, besonders häufig in scharfen Gleiskrümmungen. Ausserdem wirken die beständig wiederholten Pressungen des Schienenfusses gegen die oberen Faserschichten der Schwellen allmählich zerstörend auf dieselben ein, die schiefe Auflagerfläche geht verloren und zu ihrer Erneuerung müssen die Schwellen nachgekappt werden. Es sind Fälle bekannt, wo sonst ganz gesunde Holzschwellen nur deshalb ausgewechselt wurden, weil ihre Dicke (nach Fig. 39) durch oft wiederholtes

Fig. 39.



Nacharbeiten der Auflagerflächen in dem Masse vermindert worden war, dass ein Bruch befürchtet werden musste.

Sehr werthvoll in dieser Beziehung sind Mittheilungen[1]) über Erfahrungen auf der Strecke Deutz-Siegen der Köln-Mindener Eisenbahn, wo man beim Auswechseln der Schwellen immer auch den Grund hiervon aufgezeichnet hatte. Genauer kann hier nicht darauf eingegangen werden, doch mögen wenigstens die folgenden Zusammenstellungen ihren Platz finden, weil dieselben überraschende Aufschlüsse gewähren.

Nach diesen Aufschreibungen, welche einen Zeitraum von $2\,^3/_4$ Jahren umfassen, sind auf jener Strecke nur 21 Procent der unterdessen ausgewechselten Schwellen durch Fäulniss zugrunde gegangen, aber 79 Procent durch äussere Verletzungen. Noch deutlicher wird die Sachlage, wenn die hierin ver-

---

[1]) Deutsche Bauz. 1877 S. 465, 475; 1880, S. 55, 77, 97; Centralbl. d. Bauverwaltung 1883, S. 437, 449.

Tabelle VIII.

Ausgewechselt im Ganzen		Davon waren zerstört durch							
		Verfaulen		Zernageln		Aufspalten		Einfressen	
eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern
6145	2777	1200	689	1746	526	1338	146	1861	1416
Sa. 8922		1889		2272		1484		3277	
100%		21·1		25·5		16·7		36·7%	

zeichneten Schwellen auch noch mit Rücksicht auf die Art der Gleise geordnet werden, in welchen sie Verwendung gefunden hatten. Es ergeben sich dann die folgenden Zahlenreihen.

Tabelle IX.

Ausgewechselt in den Hauptfahrgleisen		Davon waren zerstört durch							
		Verfaulen		Zernageln		Aufspalten		Einfressen	
eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern
3898	2164	198	357	1189	426	1115	103	1396	1278
Sa. 6062		555		1615		1218		2674	
100%		8·2		26·7		20·9		44·2%	

Tabelle X.

Ausgewechselt in den Bahnhofs-Nebengleisen		Davon waren zerstört durch							
		Verfaulen		Zernageln		Aufspalten		Einfressen	
eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern	eichen	kiefern
2247	613	1002	332	557	100	223	43	465	138
Sa. 2860		1334		657		266		603	
100%		46·6		23·0		9·3		21·1%	

Hieraus ist deutlich zu ersehen, dass in den stark befahrenen Gleisen nur sehr wenige (8·2 Procent) Schwellen verfaulten, während 91·8 Procent den mechanischen Einwirkungen zum Opfer gefallen waren, und selbst in den

Nebengleisen wurden nur 46·6 Procent der Schwellen bis zum Verfaulen ausgenützt, dagegen alle anderen schon früher ausgewechselt.

Durch die von Sarrazin mitgetheilten Beobachtungsergebnisse wird zugleich der ziffermässige Nachweis geliefert, dass die verschiedenen Formen der mechanischen Abnützung durch sogenannte Unterlagsplatten, welche schon lange als unentbehrlich zur Erzielung ausreichender Befestigung des Schienenstranges erkannt worden sind, in der That wesentlich abgemindert werden können, so dass man diese Platten auch als bedeutsames Mittel zur Verlängerung der Schwellendauer bezeichnen kann. Bei Besprechung der Schienenbefestigungsmittel wird von ihnen noch ausführlich die Rede sein.

Dass die Dauer der Schwellen ausserdem durch eine künstliche Behandlung (Imprägnirung, Tränkung) des Holzes erhöht werden kann, geht schon aus den oben angeführten Dauerzahlen hervor und ist namentlich durch das in den Supplementbänden des Organs f. d. F. d. E. niedergelegte Beobachtungs- und Berathungsmaterial klar erwiesen. Auch der ökonomische Vortheil einer solchen Behandlung ist auf den Technikerversammlungen und sonst in der Literatur wiederholt entschieden betont worden. Schon in Dresden (1865) wurde ausdrücklich hervorgehoben: „Durch Imprägniren der Schwellen sowohl mit Metallsalzen als mit Kreosot sind gute, zum Theil vorzügliche Ergebnisse erzielt worden und es steht über allem Zweifel, dass durch das Imprägniren eine Verlängerung der Schwellendauer zu erzielen ist, welche die darauf verwendeten Kosten mehr als compensirt, wenngleich nicht durch alle angewandten Verfahrungsarten dieses Ergebniss erreicht wird." Und auf der Versammlung zu Berlin (1884) hiess es: „Von den Bahnen, welche diese Frage beantwortet haben, wenden gegenwärtig 34 das Tränken der Schwellen an, während solches im Jahre 1868 nur von 24 Bahnen geschah." Sodann: „Ueber die Erfolge des Tränkens sind nur von wenigen Verwaltungen bestimmte Zahlen und vergleichende Ergebnisse angegeben, diese zeigen jedoch augenscheinlich die erhebliche Verlängerung der Dauer der

Schwellen durch das Tränken und stimmen hierin auch jene Bahnen überein, welche keine statistischen Zahlen angeben können. Keine der Verwaltungen, welche eine der bewährten Methoden des Tränkens angewendet, beabsichtigt dasselbe wieder aufzugeben."

Was nun die üblichen Verfahrungsweisen zur künstlichen Zubereitung des Schwellenholzes betrifft, so laufen sie alle darauf hinaus, in erster Linie den Saft-, beziehungsweise Wassergehalt des Holzes zu vermindern, und sodann den rückständigen Theil durch fäulnisswidrige Stoffe chemisch so zu verändern, dass er der Fäulniss überhaupt nicht mehr, zum mindesten nicht so leicht als vorher zugänglich ist. Den ersten Zweck erstrebt man schon beim Fällen der Baumstämme durch Rücksichtnahmen verschiedener Art, worauf hier nicht weiter eingegangen zu werden braucht, sodann insbesondere noch durch Trocknen, Auslaugen oder Dämpfen des Holzes.

In vielen Fällen begnügt man sich mit dem einfachen Austrocknen an der Luft, indem man die bearbeiteten Schwellen, locker aufgeschichtet und gegen starken Luftzug geschützt, längere Zeit liegen lässt. Der hierdurch zu erzielende Erfolg wird in kürzerer Zeit und in erhöhtem Masse durch künstliches Trocknen oder Dörren in besonderen Trockenräumen herbeigeführt, wo die auf Rollwägen eingebrachten Schwellen der Einwirkung erhitzter Luft sammt Rauch und Verbrennungsgasen ausgesetzt werden, wofür allerdings starke Trockenrisse mit in den Kauf zu nehmen sind. Statt dieser Behandlung wird in seltenen Fällen das Auslaugen angewendet, wobei das Holz noch in Stammform längere Zeit in fliessendes Wasser eingelegt, oder aber zu Stücken verarbeitet in Wasser gekocht wird. Oefters wird eine ähnliche Wirkung durch Behandlung der Schwellen in grossen Kesseln mit Wasserdampf, durch „Ausdämpfen" erzielt.

Es ist nicht schwer einzusehen, dass von diesen Operationen diejenigen keinen grossen Erfolg haben können, welche eigentlich nur zu einer theilweisen Beseitigung des Wassers und einzelner darin enthaltenen Saftbestandtheile führen. Er-

folgreicher sind jene, bei welchen durch die hohen, dabei in Anwendung kommenden Hitzgrade ein Gerinnen der Eiweisskörper des Saftes bewirkt wird, jedenfalls aber bleibt die nun folgende chemische Behandlung von der grössten Bedeutung. Man hat hiezu im Laufe der Zeit mancherlei Stoffe verwendet; als brauchbar für die Anwendung im Grossen gelten jedoch gegenwärtig nur vier davon: drei Metallsalze und eine organische Verbindung, von welchen neuerdings auch wieder zwei den anderen gegenüber zurücktreten. Diese vier Stoffe sind Quecksilberchlorid oder Sublimat, Kupfervitriol und Zinkchlorid, welche in wässeriger Lösung angewendet werden, sodann das schwere Steinkohlentheeröl mit Kreosot, Carbolsäure u. dergl. als wirksamen Bestandtheilen. Auch das Einbringen dieser Flüssigkeiten in's Innere des Holzes wird auf verschiedene Weise ausgeführt: durch einfaches Einlegen der Schwellen in die Lösung (Einlaugen), unter hydrostatischem Druck gegen die Hirnseite des Holzes, oder endlich durch Anwendung eines starken Druckes auf die ganze Oberfläche der Stücke.

Mit dem Einlaugen sind im Ganzen wenig günstige Erfahrungen gemacht worden, indem sich die damit erzielte oberflächliche Durchdringung des Holzes nur bei Verwendung des giftigen Sublimats als genügend erwiesen hat. Seit längerer Zeit wird denn auch dieses Verfahren nur noch in Verbindung mit dem Quecksilbersalz zur Ausführung gebracht. Hydrostatischer Druck wurde von vorneherein für Kupfervitriollösung empfohlen und dabei unter gewissen Umständen ein befriedigendes Ergebniss erzielt; für die übrigen fäulnisswidrigen Stoffe ist dieses Druckverfahren nicht üblich geworden und umgekehrt haben alle Versuche, das Kupfersalz auf andere Weise dem Safte beizubringen, zu keinem befriedigenden Ergebnisse geführt. Da endlich die Behandlung der Schwellen in geschlossenen Kesseln unter hohem Druck sich nur unter gleichzeitiger Verwendung von Zinkchlorid oder Steinkohlentheeröl (gewöhnlich kurzweg Kreosot genannt) empfiehlt, so ergeben sich schliesslich folgende zur Präparirung der Bahnschwellen im Grossen geeignete und von den Bahnverwaltungen zur Zeit allein geübte Verfahrungsweisen:

1. Einlegen der fertigen Schwellen in eine wässerige Lösung von Quecksilberchlorid, das Kyanisiren;

2. Durchpressen von Kupfervitriollösung nach der Längenrichtung unbearbeiteter und noch mit Rinde versehener Rundhölzer vermöge des von der Lauge selbst ausgeübten hydrostatischen Druckes (Verfahren von Boucherie);

3. Behandlung der fertigen Schwellen in geschlossenen Kesseln mit einer Auflösung von Zinkchlorid oder mit Steinkohlentheeröl, neuerdings auch mit einer Mischung beider, unter einem Druck von 8 bis 12 Atmosphären (Hochdruckverfahren).

Ueber die chemischen Vorgänge, welche durch die angewendeten fäulnisswidrigen Stoffe im Inneren des Holzes hervorgerufen werden, weiss man nichts Bestimmtes, nur so viel scheint angenommen werden zu können, dass durch sie die stickstoffhaltigen Körper im Safte, welche der Fäulniss zuerst anheimfallen, dann andere Saftbestandtheile und zuletzt auch die, eine organische Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff darstellende Holzfaser in Mitleidenschaft ziehen, auf irgend eine Weise verändert und in neue Verbindungen übergeführt werden.

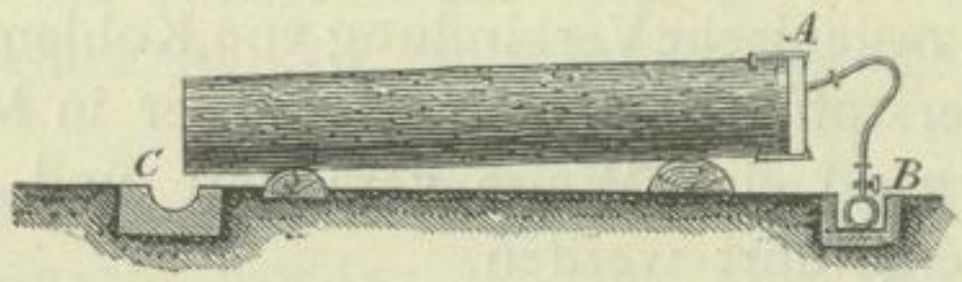
Ueber die erwähnten Verfahrungsweisen noch einige Worte:

Kyanisiren. Schon im Jahre 1832 nahm Kyan in England ein Patent auf die jetzt nach ihm benannte Methode der Behandlung, nicht lange danach fand dieselbe Eingang auf mehreren englischen Bahnen und später auch auf dem Continent. Während sie aber in ihrem Heimatlande bald wieder verlassen wurde, gewann sie, besonders in Deutschland, an Boden und wird hier erst neuerdings durch wirksamere und billigere Verfahrungsweisen zurückgedrängt. Das Kyanisiren besteht einfach darin, dass man die fertig bearbeiteten und an der Luft oder auch künstlich getrockneten Schwellen, in hölzernen Trögen aufgeschichtet, der Einwirkung der Lauge eine Reihe von Tagen aussetzt. Nach Ablauf dieser Zeit, die je nach der Art des Schwellenholzes und sonstigen Umständen verschieden zu bemessen ist, wird die Lauge ausgepumpt, die Schwellen herausgenommen, von einem

Niederschlag auf ihrer Oberfläche durch Abspülen befreit und schliesslich einige Wochen an der Luft getrocknet. Das Verfahren ist wegen der giftigen Eigenschaften des Sublimats sehr gefährlich und verlangt besondere Vorsichtsmassregeln zum Schutze der Arbeiter.

Das an zweiter Stelle oben genannte Verfahren von Boucherie wurde 1841 patentirt und 1846 auf mehreren Bahnen in Frankreich eingeführt, wo es überhaupt am meisten Anerkennung gefunden hat. Das Holz, welches nach der Angabe Boucherie's behandelt werden soll, muss zwischen September und März gefällt werden, zu welcher Zeit der Saft sich in dünnflüssigem Zustande befindet und sich leichter aus den Zellen verdrängen lässt. Kann es nicht sofort der Behandlung zugeführt werden, so bewahrt man es, um die Saftverdickung zu verhüten, unter Wasser auf. Die Behandlung selbst ist

Fig. 40.



sehr einfach: Das noch nicht entrindete Stammholz wird in Blöcke von der Länge der Schwellen zerschnitten und nach Fig. 40 in Reihen neben einander, mit schwacher Neigung nach der einen Seite, auf Längshölzer gelagert. An dem erhobenen Ende *(A)* eines jeden Blockes wird über dessen Hirnseite eine Kammer gebildet, in einfachster Weise dadurch, dass man auf diese Schnittfläche einen Ring aus gefettetem Seil, dann ein Brettstück auflegt und dieses mittelst Klammern am Blocke befestigt, oder indem man hierzu eine metallene Kapsel benützt. In jede dieser Kammern mündet aus einem längs der Blockreihe hingeführten Rohre *(B)* ein Kautschukschlauch mit Hahn, das Zuleitungsrohr selbst steht mit dem, auf einem entsprechend hohen Gerüste aufgestellten Bottich, welcher die Kupfervitriollösung enthält, in Verbindung. Hierdurch gelangt die Lösung unter starkem Drucke vor die Hirnseite der Blöcke, durchdringt dieselben in der Faserrichtung und verdrängt dabei den Saft, welcher an der tiefer-

liegenden Hirnseite austritt und in der Längsrinne *C* abgeführt wird.

Zuweilen imprägnirt man Blöcke von doppelter Schwellenlänge. Man bildet dann in halber Länge jedes derselben eine Kammer, indem man den Stamm der Quere nach zum grösseren Theile mit der Säge durchschneidet und in den klaffenden Schnitt wieder den Ring aus einem stark gefetteten Seilstücke einlegt, welcher jetzt bei dem Bestreben der beiden Blockhälften, den aufgezwängten Spalt zu schliessen, fest zusammengepresst wird. Das Zuleitungsrohr befindet sich jetzt unter den Mitten der Rundholzstücke, dieselben haben von hier aus nach beiden Seiten hin eine kleine Neigung und es sind beiderseits Längsrinnen zur Aufnahme des herausgepressten Saftes angebracht. Aus dem Vitriolgehalte desselben wird der Verlauf des Processes beurtheilt, dessen Dauer von mancherlei Umständen, wie Art und Beschaffenheit der zu behandelnden Hölzer, ihrer Stärke, von der Druckhöhe, unter welcher die Vitriollösung steht u. dergl. m. abhängt. Die Anlage einer Imprägniranstalt zur Behandlung des Holzes nach Boucherie ist sehr einfach und wenig kostspielig, dagegen ist es misslich, dass die Hölzer in Stammform behandelt werden müssen, so dass beim nachfolgenden Beschlagen derselben ein Theil der fäulnisswidrigen Flüssigkeit in den Spähnen zu Verlust geht, auch ist es unter Umständen empfindlich, dass das Holz in möglichst frischem Zustande imprägnirt werden soll und die Leistungsfähigkeit einer Boucherie'schen Anstalt durch ihre Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen wesentlich beeinträchtigt wird.

Das jetzt so beliebte Hochdruckverfahren wurde schon in den Dreissiger Jahren von Bréant in Vorschlag gebracht und später von Burnett, unter gleichzeitiger Verwendung des von ihm zuerst empfohlenen Zinkchlorids, mit grossem Erfolge auf englischen Bahnen zur Ausführung gebracht, von wo es dann immer weitere Verbreitung erlangte. Die Schwellen werden dabei in vierräderigen, eisernen Gestellen zu je 30 bis 40 Stück auf Schienensträngen in einen langen Kessel eingebracht, wo drei oder mehrere solche Gestelle hinter einander Platz finden können. Der Kessel ist mit ver-

schiedenen Rohrleitungen in Verbindung und mit den nöthigen Sicherheitsvorrichtungen ausgerüstet; das eine kugelhaubenförmige Ende desselben lässt sich wie ein Thor öffnen und nach dem Einbringen der Schwellen luftdicht schliessen. Nachdem dies geschehen, wird einige Stunden lang Wasserdampf aus dem Dampfkessel eingeleitet und die dabei ausgezogenen Saftbestandtheile durch ein Rohr am Boden entfernt, hierauf mittelst einer Dampfpumpe im Kessel ein luftverdünnter Raum erzeugt. Ist auch hierdurch wieder ein Theil des Saftes sammt Luft und niedergeschlagenem Dampfe aus dem Holze entfernt, so lässt man die Zinkchloridlösung einsteigen, pumpt den Kessel voll und setzt ihn schliesslich unter einen, mehrere Stunden constant zu erhaltenden Druck von mindestens 8 Atmosphären. Damit schliesst die Behandlung; die Pumpe wird abgestellt, die Flüssigkeit aus dem Kessel abgelassen und die Schwellen herausgefahren. Unterdessen sind schon wieder andere Gestelle beladen worden, welche nach Reinigung des Kessels eingebracht werden, so dass ein nahezu ununterbrochener Betrieb erzielt wird.

Manche Techniker halten das Ausdämpfen der Hölzer für unzweckmässig, sie glauben, dass die Festigkeit derselben dadurch leide und setzen deshalb an seine Stelle das künstliche Trocknen der Schwellen. Das letztere muss unbedingt geschehen, wenn statt der Zinkchloridlösung sogenanntes Kreosot, nämlich das schwere Steinkohlentheeröl, verwendet wird. Auch dieser Stoff wurde zuerst in England von Bethel im Jahre 1838 zur Schwellenconservirung verwendet und nach seiner Erprobung daselbst von verschiedenen Bahnverwaltungen anderer Länder angenommen. Im Ganzen und Grossen bleibt das Verfahren dabei das gleiche wie früher, nur ist, wie schon erwähnt, das Ausdämpfen der Schwellen unzulässig, weil die ölige Substanz nur schwer in feuchtes Holz eindringen würde. Am besten eignet sich jetzt das künstliche Austrocknen oder Dörren der Schwellen, weil dieselben dabei warm und besonders geeignet werden, das Oel in sich aufzunehmen, das übrigens vor dem Einpumpen in den Kessel auf ungefähr 40° C. erwärmt wird.

Ueber den Werth der verschiedenen Verfahrungsweisen, die Dauer der Bahnschwellen zu erhöhen, Erschöpfendes anzugeben, verlangte eine sehr ausführliche Darlegung; es mag deshalb hier nur das Einschlägige aus der betreffenden Schlussfolgerung der Berliner Technikerversammlung (1884) seinen Platz finden.[1])

Demnach sind die zur Zeit im Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen üblichen Tränkungsverfahren und ihr Verhältniss zu den in früheren Jahren angewendeten Methoden aus der folgenden Tabelle (XI) zu ersehen:

Tabelle XI.

Lauf-Nr.	Bezeichnung der üblichen Tränkungsverfahren durch Benennung des fäulnisswidrigen Stoffes	Anzahl der Bahnverwaltungen, welche die verschiedenen Verfahrungsweisen anwandten			
		1865	1868	1878	1884
1	Kupfervitriol	15	6	5	1
2	Eisenvitriol und Zinkvitriol . .	1	—	—	—
3	Schwefelbaryum und Eisenoxydul	2	—	—	—
4	Quecksilbersublimat	3	6	8	4
5	Zinkchlorid	8	7	20	22
6	Kreosot	4	5	13	11
7	Zinkchlorid und Kreosot gemischt	—	—	4	7
8	Kreosotdämpfe (Pat. L. de Paradis)	—	—	—	1
9	Kreosotdämpfe und Kreosot (Verfahren von Blythe)	—	—	1	1
10	Antisepticum mittelst Einpressens	—	—	—	1

wobei zu beachten ist, dass mehrere Bahnverwaltungen verschiedene Verfahrungsweisen angewendet haben und seit 1878 durch die Verstaatlichung der Bahnen in Preussen mehrere derselben, welche noch 1878 getrennte Referate geliefert hatten, nun unter einer Verwaltung vereinigt sind.

„Hiernach ist die Benützung von Kupfervitriol, Quecksilbersublimat und Kreosot in Abnahme, die Anwendung von Zinkchlorid (rein) und Zinkchlorid mit Kreosot gemischt in Zunahme begriffen. Eisenvitriol, Zinkvitriol, Schwefelbaryum und Eisenoxydul finden keine Verwendung mehr."

[1]) IX. Supplementband, S. 7 bis 22.

Dann weiter: „Da der Erfolg des Tränkens mit Zinkchlorid dem des Tränkens mit Kreosot und Quecksilbersublimat nach den 25- bis 30-jährigen Erfahrungen mehrerer Bahnen etwa gleich zu schätzen ist, das Tränken mit Zinkchlorid aber nur $^1/_2$ bis $^1/_4$ so viel kostet als das Tränken mit Kreosot und Quecksilbersublimat, so sind nach und nach immer mehr Bahnen zu der ersteren Methode übergegangen."

„Ob das in neuerer Zeit von mehreren Bahnen eingeführte Tränken mit Zinkchlorid und Kreosot, gemischt, in seinem Erfolge der dadurch herbeigeführten Erhöhung der Kosten um 57, 64 und resp. 94 Procent entspricht, wird erst durch längere Erfahrung festzustellen sein."

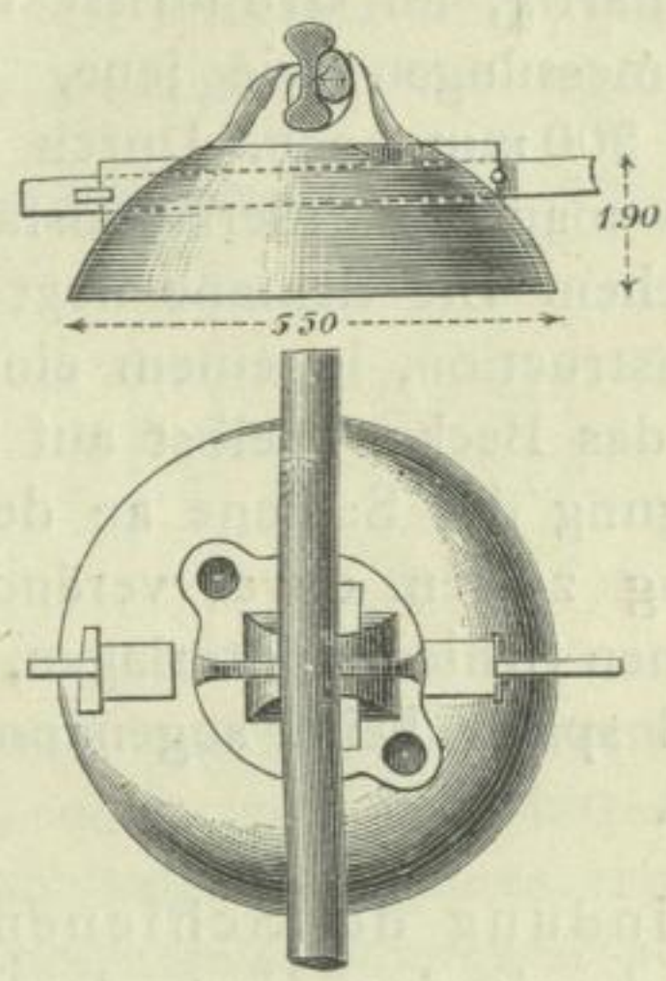
10. Gusseiserne Unterlagen. Es sind hierher jene, dem Stuhlschienenoberbau eigenthümlichen Unterlagen aus Gusseisen zu rechnen, welche, wie die Steinquader, schon ziemlich frühe zum Ersatz der schnell vergänglichen Holzschwellen Anwendung gefunden haben, oder auch nur in Vorschlag gekommen sind. Von den wirklich ausgeführten Formen mögen einige ihre Erwähnung finden. In erster Linie die im Jahre 1846 von Bessas, Lamégie und Henry auf der Bahn von Paris nach Versailles probeweise eingelegten viereckigen Gussplatten, welche oben mit Ansätzen zur Aufnahme der Stuhlschienen, unten mit angegossenen Rippen zur Verstärkung der Platten und zur Verhütung einer Verschiebung derselben in der Bettung versehen waren. Zwischen je zweien derselben war, um die Spurweite zu erhalten, eine schmiedeiserne Querstange angebracht (Bulletin de la Société d'Encouragement, Nov. 1846, S. 585; Organ f. d. F. d. E. 1847, S. 70). Ausserdem kann auf die von Peter Barlow Ende der Vierziger Jahre in England angewendeten Unterlagen aus Gusseisen hingewiesen werden, welche bei einer Länge von über 1 *m* zweitheilig waren, so dass die Schienen zwischen sie eingelegt und mit Schraubenbolzen befestigt werden konnten, während die Querverbindung der Stränge durch gegossene Stücke von kreuzförmigem Querschnitte erzielt wurde.

Weder die französische, noch diese englische Unterlage hat sich bewährt. Erstere scheint zu leicht gewesen zu sein

und bei ihrer seichten Lagerung in der Bettung zu wenig Widerstandsfähigkeit gegen Verschiebung in derselben geboten zu haben; bei der anderen wirkte zwar ihr grosses Gewicht günstig, doch scheint auch sie die für eine ausreichende Standfestigkeit des ganzen Oberbaues erforderliche Tiefenlage nicht besessen zu haben, im Uebrigen wurde zuweilen ihre Zerbrechlichkeit gerügt.

Eine entschieden grössere Bedeutung erlangten die seit 1847 in England bekannten gusseisernen Glocken- oder Schalenlager von Greave. Sie haben (Fig. 41) die Form

Fig. 41.



eines umgekehrten, kreisrunden Beckens mit oben angegossenem Stuhle, in welchem die Schiene in gewöhnlicher Weise mittelst Keil befestigt wird. Zwei Löcher oben in der Wandung des Hohlkörpers gestatten, das im Inneren befindliche Bettungsmaterial mittelst eines Stampfers zu bearbeiten und dadurch die Glocken in die richtige Lage zu bringen. Je zwei derselben sind durch ein hochkantig eingelegtes und mit Keil befestigtes Flacheisen quer verbunden.

Solche Unterlagen fanden seit 1851 in Aegypten, etwas später auch in Algier, seit Anfang der Sechziger Jahre öfters in Ostindien Verwendung. Die mit ihnen gemachten Erfahrungen lauten theils günstig, theils ungünstig und man

kann wohl annehmen, dass sie sich, besonders in tropischen Gegenden, bei nicht zu grobem Bettungsmateriale und unter mässigen Betriebseinwirkungen als empfehlenswerth erwiesen haben, dass aber die meist üblichen Abmessungen von durchschnittlich 550 *mm* Durchmesser für die kreisrunde Grundfläche, 190 *mm* Höhe, 13 *mm* Wandstärke und das hierdurch bedingte Gewicht von beiläufig 36 *kg* den Einwirkungen eines starken Verkehres mit schweren, schnell bewegten Fahrzeugen nicht mehr gewachsen waren.

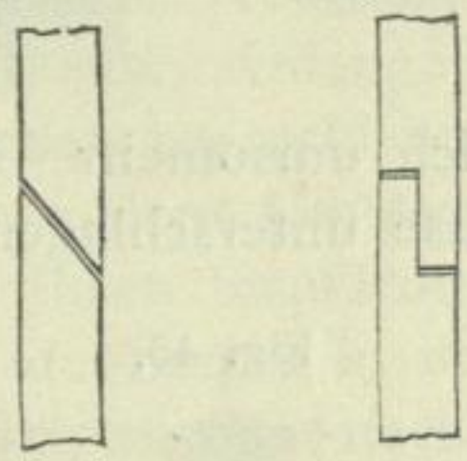
Als Fortbildung der Greave'schen Unterlage ist die von Griffin zu betrachten, welche zu Anfang der Sechziger Jahre in Südamerika (Argentinien) zur Ausführung kam. Sie ist ebenfalls beckenartig, im Grundrisse meist elliptisch und von grösseren Abmessungen wie jene, etwa 700 *mm* lang, 450 *mm* breit und 200 *mm* hoch. Durch eine Wellung ihrer Oberfläche suchte man sie widerstandsfähiger gegen Stosswirkungen zu machen. Die Schiene liegt nicht, wie bei der Greave'schen Construction, in einem einzelnen Stuhle, sondern wird durch das Becken selbst auf grössere Länge gefasst. Die Befestigung der Schiene an der Unterlage, sowie die Querverbindung zeigen etwas veränderte Einzelnheiten. Von anderen eisernen Schienenunterlagen, welche nicht hierher gehören, wird später beim sogenannten eisernen Oberbau die Rede sein.

Mittel zur Verbindung der Schienen unter einander und mit den Unterlagen.

11. Verbindung der Schienen zu einem Gleisstrange. Vor Allem sind die einzelnen, den Gleisstrang zusammensetzenden Schienen zu einem Ganzen zu vereinigen, wobei nach den Ausführungen in Nr. 2 zwischen je zweien derselben eine Trennungsfuge belassen werden muss, damit die beim Steigen der Temperatur eintretende Verlängerung der Schienen zwanglos vor sich gehen kann. Da in Folge dessen Aufschläge der Räder beim Ueberspringen dieser Zwischenräume unvermeidlich sind, hat man bekanntlich durch Ausführung der „zusammengesetzten Schienen" (Nr. 3) zu helfen gesucht, indem man die Stossfuge öfters nur über den

halben Schienenkopf reichen liess, so dass die Radkränze niemals ganz ohne Unterstützung blieben, allein andere, dieser Art von Schienen anhaftende Mängel haben den Versuch scheitern lassen. Dann wollte man eine Milderung des Aufschlages durch schräges Abschneiden der Schienenenden (Fig. 42a) oder durch Zusammenblatten derselben (Fig. 42b) erzielen, aber auch davon kam man wieder ab, als die erhoffte Wirkung ausblieb, dagegen eine raschere Abnützung der so behandelten Enden eintrat. So blieben also die über die ganze Kopfbreite reichenden Fugen und es handelte sich nun darum, deren Schädlichkeit so weit als möglich abzumindern. Man musste suchen, die beiden Schienenenden in solcher Weise von einander abhängig zu machen, dass jedes Ende alle durch Belastung hervorgerufenen Bewegungen

Fig. 42a. Fig. 42b.



des anderen insoweit mitzumachen genöthigt wurde, dass weder nach oben, noch zur Seite hin Absätze oder Ecken entstehen konnten; zugleich war es erforderlich, der Verbindung eine entsprechende Steifigkeit zu verleihen und die Verschwächung des Schienenstranges an der Verbindungsstelle auf ein möglichst kleines Mass zurückzuführen. Damit sind die Anforderungen gekennzeichnet, welche an eine gute „Stossverbindung" gestellt werden müssen: Dieselbe soll den durch die Fuge unterbrochenen Zusammenhang des continuirlichen Trägers so gut als möglich wiederherstellen, ohne aber die Längenänderungen der Schienen in ihrer Richtung zu verhindern.

Die älteren Formen der Stossverbindung beim Oberbau mit breitfüssigen Schienen haben diesen Anforderungen nicht genügend entsprochen. Man legte gewöhnlich unter die Enden der Schienen eine schmied- oder gusseiserne Unterlagsplatte

mit seitlichen, erhöhten Rändern, diese selbst auf eine sorgfältig unterkrampte Schwelle oder einen Steinquader und befestigte alle diese Theile unter einander nach Fig. 43 und 44 durch Nägel oder Schraubenbolzen. Die Ränder der Unterlagsplatten sollten seitliche Verschiebungen der Enden und die Befestigungsmittel solche in lothrechter Richtung verhindern. Aber weder das eine, noch das andere wurde hierbei wirklich erzielt, namentlich waren ungleiche Verdrückungen der Schienenköpfe in Folge Kantung unvermeidlich, ja die gewöhnlich vorhandenen kleinen Unterschiede in der Höhe

Fig. 43.

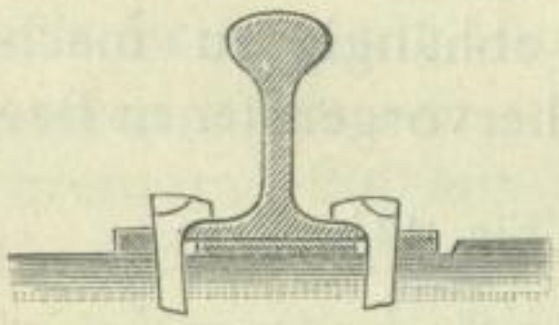
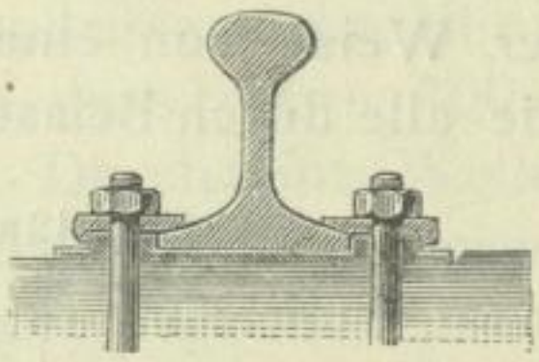
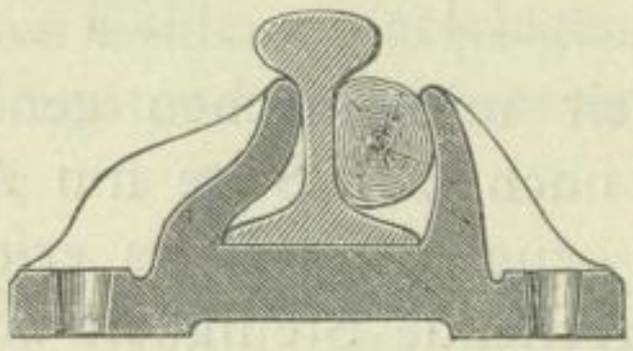


Fig. 44.



der Enden machten sich umsomehr fühlbar, je sorgfältiger die Unterlage am Stosse unterschlagen war.

Fig. 45.



Eine andere Art der Stossverbindung war der beim Stuhlsystem üblichen nachgebildet, wo man die Schienenenden in einem gusseisernen Zwischenmittel, Stuhl genannt, mittelst Keil zu befestigen pflegt. Erwies sich diese, in Fig. 45 dargestellte Befestigungsart auch in mancher Hinsicht zweckentsprechender als die vorige, so traten doch gerade hier die Mängel der Stühle und Keile besonders stark hervor, indem erstere wegen ihrer grossen Weite leicht zerbrechlich erfunden wurden und die sehr starken Keile Veränderungen durch atmosphärische Einflüsse in hohem Grade unterworfen waren.

Viel besser als die genannten und alle sonst noch zur Verwendung gelangten Stossverbindungen hat sich die so-

genannte „Verlaschung" bewährt, wobei man die Fuge durch Platten aus Eisen oder Stahl deckt, welche sich in den Raum zwischen den beiden Köpfen der Stuhlschienen oder zwischen Fuss und Kopf der breitbasigen Schienen einlegen und mit deren Enden durch Schrauben, in seltenen Fällen auch durch Nieten verbunden werden. Verlaschungen sollen zuerst im Jahre 1838 durch einen Holländer auf einer amerikanischen Bahn versucht worden sein, allerdings in einfacherer Gestalt, indem er eine einzige Platte (Lasche) in der beschriebenen Weise mit den Enden der auf Langschwellen gelagerten Schienen verband. Die doppelte Verlaschung scheint um die Mitte der Vierziger Jahre gleichzeitig in Amerika und England aufgekommen zu sein, und unter den deutschen Bahnen waren es dann die zwischen Köln und Minden und in Hannover, welche solche Doppellaschen, und zwar bei breitbasigen Schienen, früher (1848) als andere benützten. Ueberall dauerte es bis zum Anfange der Fünfziger Jahre, bis der Werth der Laschen so recht zur Geltung gelangte, was sich namentlich aus dem Umstande erklärt, dass die damaligen Schienen mit ihren birnförmigen Köpfen und der schlanken Ueberführung des Steges in den Fuss zur Laschenverbindung ungeeignet waren. Erst nachdem man angefangen hatte, den Schienenquerschnitt mit besonderer Rücksicht auf einen guten Anschluss der Laschen zu bilden, traten deren Vorzüge so deutlich hervor, dass sie von da ab rasch allgemeine Anerkennung sich erwarben.

Nicht unerwähnt darf hier bleiben, dass die jetzt allgemein beliebte Anordnung des „freiliegenden Stosses" zuerst durch Verwendung der Laschen im Stuhlschienenoberbau englischer Bahnen (1851 oder 1853) veranlasst wurde und damit eine, allen früheren Anschauungen entgegenstehende, in der Folge aber als durchaus richtig bewährte Massregel rein zufällig unter dem Drange der Umstände in Aufnahme kam. Da nämlich der beiderseits mit Laschen gedeckte Stoss nun keinen Platz mehr in den Stühlen fand, mussten entweder grössere Stühle für die Stossschwellen beschafft oder aber der Stoss „freischwebend" zwischen zwei Schwellen gelegt werden. Die in Rede stehenden englischen Bahnverwal-

tungen sahen sich zu letzterem veranlasst und gelangten so zur Ausführung eines Versuches, auf welchen man ausserdem wahrscheinlich nicht so bald gekommen wäre. Anfangs wurde der neuen Construction leicht erklärliches Misstrauen entgegengebracht, namentlich auch im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen, wo sie 1858 auf der Lübeck-Büchener Bahn und Anfangs der Sechziger Jahre auf verschiedenen anderen Bahnen versuchsweise zur Ausführung kam (I. Supplementband, S. 46). Das Misstrauen schwand jedoch in dem Masse, als die Laschenverbindung in ihrer Ausbildung fortschritt.

Schon die Technikerversammlung zu Dresden (1865) fasste den Beschluss: „Nach den auf einer Mehrzahl von Bahnen angestellten grösseren oder kleineren Versuchen mit schwebenden Stössen ist die Ausführung vielseitiger, ausgedehnter Versuche mit dieser Construction dringend zu empfehlen (I. Supplementband, S. 43—46)" — und die Versammlung in München (1868) empfahl bereits die Annahme des freiliegenden Stosses auf das wärmste, vorausgesetzt, dass Form und Stärke der Schienen, Laschen und Schraubenbolzen eine ganz entsprechende Verbindung der Schienenenden unter einander ermögliche (III. Supplementband, S. 30 bis 48). In den Beantwortungen einer diesbezüglichen Frage für die Düsseldorfer Versammlung (1874) erklären sich 29 von 30 Verwaltungen zu Gunsten des freiliegenden Stosses, weil durch denselben Gleis und Fahrmaterial besser geschont und niedrigere Unterhaltungskosten als bei Anwendung des ruhenden Stosses erzielt würden. Die Befürchtung, es könnten bei Verwendung schwebender Stösse in starken Gefällsstrecken Laschenbrüche eintreten, wurde durch die Erfahrungen einer grösseren Zahl von Verwaltungen entkräftet, nachdem sogar in Gefällen von 1 : 40 irgend welche Nachtheile nicht beobachtet werden konnten (V. Supplementband, S. 12).

Dieselben günstigen Erfahrungen wurden in den folgenden Technikerversammlungen zu Stuttgart (VI. Supplementband, S. 75) und zu Berlin (IX. Supplementband, S. 67) bekannt und namentlich die folgende, von der letzteren im Jahre 1884 gegebene Schlussfolgerung lässt an Deutlichkeit

nichts zu wünschen übrig: „Die neuen Erfahrungen mit dem schwebenden Stosse sind eben so günstig wie die bisherigen. Danach zeichnet sich derselbe durch ruhigen Gang der Fahrzeuge, dadurch bedingte Erhöhung der Betriebssicherheit, Schonung der Schienenenden und der Fahrbetriebsmittel, sowie durch geringe Erhaltungskosten in vortheilhafter Weise aus und verdient, dem festen Stosse unbedingt vorgezogen zu werden. Bedingungen für die Erreichung dieser Vortheile sind aber ein genügend tragfähiges Schienenprofil, eine der Natur des schwebenden Stosses entsprechend starke Anordnung der Laschen und eine zweckmässig gewählte, nicht zu grosse Entfernung der dem Stosse zunächst liegenden Schwellen."

Es ist bis jetzt allgemein üblich, die Stossfuge gerade in die Mitte zwischen die beiden, ihr zunächst befindlichen Stossschwellen zu legen. Doch sind auch schon Vorschläge gemacht worden, bei Gleisen, welche immer in der gleichen Richtung befahren werden, sogenannte „excentrische" Stösse auszuführen, d. h. die Fuge um ein, versuchsweise festzustellendes Mass seitlich der Mitte anzuordnen, und zwar näher gegen jene Schwelle hin, welche dem ankommenden Bahnzuge zunächst gelegen ist. Man hoffte den Aufschlag der Räder beim Uebergange über die Fuge noch weiter zu mildern, wenn sich das kürzere Ende unter der Last eines Rades nicht stärker durchbiege als das längere, erst durch Vermittlung der Laschen gebogene, wodurch der ausserdem vorhandene kleine Höhenunterschied der Schienenenden vermieden würde. Der erste Vorschlag dieser Art ging von dem Oberingenieur der k. k. priv. österr. Staatsbahngesellschaft H. Schmidt aus (Zeitschr. d. österr. I. u. A. V. 1868, S. 94 und 123), ein zweiter von M. Bernstein, Ingenieur der Berlin-Anhaltischen Bahn, ist im Organ f. d. F. d. E. 1876, S. 246 enthalten.

Weiter ist es Regel, die Stossfugen der beiden Schienenstränge normal zur Gleisachse einander gegenüberzulegen. Nur ausnahmsweise werden dieselben gegen einander versetzt, um ein Stück gleich der Schwellenentfernung oder der halben Schienenlänge (Verwechselte Stösse, Stösse im Ver-

band). Obgleich sich einzelne Ingenieure entschieden zu Gunsten dieser Annahme erklärt haben, steht doch die Mehrzahl der Fachgenossen ihr entgegen, wie dies besonders auf den Technikerversammlungen hervorgetreten ist. In Berlin kam die Versammlung sogar zu dem Beschlusse: „Das Verlegen der Stösse in Krümmungen im Verbande kann für Hauptbahnen nicht empfohlen werden" (IX. Supplementband, S. 66).

Die Querschnittsform der Laschen hängt von der Art der äusseren Angriffe ab. Diese streben eine Durchbiegung in der Lothebene, sowie nach der Seite an und damit in Verbindung eine Verschiebung des Kopfes, beziehungsweise des Fusses der Schienen zwischen den Laschen. Das Material muss aus diesem Grunde vor Allem thunlichst entfernt, so-

Fig. 46.

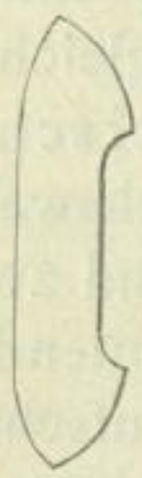


Fig. 47.

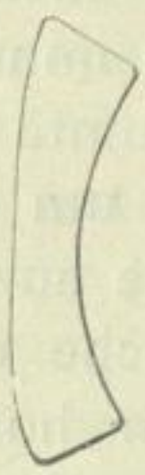


Fig. 48.

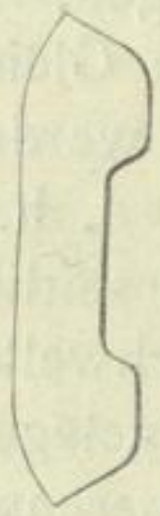
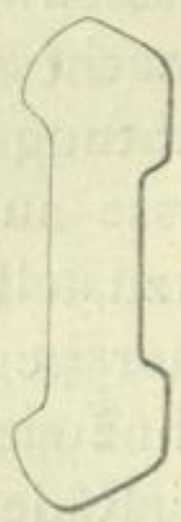


Fig. 49.



wohl von der wagrechten, wie auch der lothrechten neutralen Achse angebracht werden. Allerdings kann dieser Forderung bei der geringen Höhenabmessung der Laschen, der verhältnissmässig grossen Dicke, welche sie in halber Höhe erhalten müssen und aus anderen Gründen nur in geringem Masse entsprochen werden, immerhin aber ist das Streben danach an den Querschnitten gut geformter Laschen, Fig. 46 bis 49, wohl zu erkennen.

Besonders wichtig ist sodann die Form der Flächen, in welchen sich Laschen und Schienen berühren. Um dem Verschieben beider an einander möglichst entgegenzutreten, wählte man früher zuweilen cylindrische Flächen (Fig. 46), gab sie aber wieder auf, nachdem der Versuch im Grossen gezeigt hatte, dass die unvermeidlichen kleinen Unterschiede in der Höhe der Laschen einen mangelhaften Anschluss derselben

an die Schienen zur Folge hatten. An ihre Stelle traten dann ebene Berührungsflächen (Fig. 47 bis 49), wodurch die Laschen zu Keilen wurden und kleine Unterschiede ihrer Höhen so lange unschädlich blieben, als die Neigung dieser Flächen bei Laschen und Schienen genau genug übereinstimmte.

Die ersten keilförmigen Laschen soll schon W. H. Barlow im Jahre 1850 an der Midland-Counties-Bahn angewendet haben (Weber, Stab., S. 51). 1855 kamen solche auf der Aachen-Mastrichter Bahn und ein Jahr später bei der Main-Weser Bahn zur Ausführung. Um die gleiche Zeit liess Nördling an dem für den Laschenanschluss ungeeigneten Profile der französischen Orleans-Centralbahn kurze Stücke ebener Anschlussflächen mittelst Maschinen anschneiden, woran sich bald darauf die Frage knüpfte, ob es nicht überhaupt zweckmässig sei, Schienen mit birnförmigem Kopf zu walzen und passende Anschlussflächen an ihren Enden auf mechanischem Wege herzustellen, ein Verfahren, welches sich in der Folge in mehrfacher Hinsicht als unzweckmässig erwies und gänzlich verlassen wurde.

Die von den einzelnen Bahnverwaltungen angewendeten Neigungen der Anschlussflächen gegen den Horizont stimmen wenig mit einander überein, doch herrschen bei den besseren Schienenformen flache Neigungen vor, bei den neuesten Profilen Werthe zwischen $tg\,\varphi = 0{\cdot}25$ und $0{\cdot}50$. Das erstgenannte Mass, welches sich mit Rücksicht auf die Materialvertheilung im Schienenquerschnitte und zur Erzielung einer starken Verbindung empfiehlt, scheint jedoch die äusserst zulässige Grenze zu bilden, insoferne hiebei die Reibung in den Anschlussflächen so bedeutend werden kann, dass die Längenveränderungen der Schienen nicht ungehindert vor sich gehen können. Was die übrigen Abmessungen der Laschen betrifft, so ist ihre Höhe durch die Form der Schienen bestimmt, ihre Dicke in halber Höhe wird zu 14 bis 15 *mm* angenommen und die Länge beträgt gewöhnlich gegen 500 *mm*. Sehr empfehlenswerth ist es, die Länge der Laschen so zu wählen, dass dieselben noch auf beide Stossschwellen reichen und sich auf dieselben, wenigstens

durch Vermittlung des Schienenfusses stützen (VI. Supplementband, S. 38, Schlussfolgerung).

Die Befestigung der Laschen an den Schienenenden geschieht wohl immer durch Schraubenbolzen, nachdem ein Vorschlag Heusinger v. Waldegg's aus dem Jahre 1853, Nieten aus weichem Eisen zu verwenden, keine weitergehende Anerkennung gefunden hat. Früher brachte man drei Schraubenbolzen an, einen in der Mitte der Laschen, gerade durch die Stossfuge reichend, weil man hoffte, damit am besten den dortselbst hervortretenden seitlichen Ausbiegungen der Laschen entgegentreten und lothrechte Verschiebungen der Schienenköpfe verhüten zu können. Jetzt zieht man vier Bolzen vor, zwei in jedem Schienenende, bei besonders langen Laschen manchmal auch drei auf jeder Seite.

Die Schäfte dieser Bolzen sind kreiscylindrisch; damit sie sich beim Anziehen der Muttern nicht drehen, erhalten sie hinter dem Kopf auf eine kurze Strecke einen quadratischen, ovalen oder in anderer Weise geformten Querschnitt, mit welchem sie in entsprechenden Löchern der einen Lasche sitzen, oder man lässt die quadratischen Köpfe der Bolzen zwischen zwei Längsstreifen der einen Lasche greifen, so dass auch hierdurch das Drehen verhütet wird u. dergl. m. Die ovale Verstärkung des sonst kreisrunden Schaftes gilt nach den Erfahrungen eines Theiles der Bahnverwaltungen als besonders empfehlenswerth (VI. Supplementband, S. 36, erster Absatz der Schlussfolgerung). Damit Längenänderungen der Schienen eintreten können, müssen die Laschenbolzen im Steg derselben Spielraum haben; die Löcher im Schienensteg werden deshalb entweder mit einem grösseren Durchmesser kreisrund oder aber länglich geformt.

Wie aus der bisherigen Besprechung hervorgeht, hängt die Wirksamkeit der Laschen von dem festen Schlusse der Schrauben ab. Nun wurde aber öfters ein Loswerden der Schraubenmuttern in Folge der starken Erschütterungen und Verbiegungen des Schienenstranges beobachtet, besonders in früheren Jahren, als die Laschenverbindung noch nicht so weit ausgebildet war wie heute. Man ging damals näher auf die Sache ein, brachte die Angelegenheit zur Besprechung auf

den Technikerversammlungen und kam in München (1868) zu dem Schlusse, dass es allerdings zweckmässig erscheine, auf die Verhütung des fortwährenden Losrüttelns der Bolzenmuttern an den Laschen Bedacht zu nehmen, die sicherste Abhilfe jedoch sei in der Construction der Laschenverbindung selbst zu suchen. Wichtig vor Allem sei die Wahl eines, mit Rücksicht auf den Laschenanschluss gut geformten und sonst ausreichend starken Schienenprofiles, sodann starker Schraubenbolzen mit sauber geschnittenen, kräftigen und nicht zu steilen Gewinden, sowie starker, gut schliessender und genügend hoher Schraubenmuttern. Auch der freiliegende Stoss habe sich in dieser Hinsicht als zweckmässig erwiesen (III. Supplementband, S. 20). Ausserdem hat man dann auf vielen Bahnen noch besondere Mittel gegen das Losrütteln ausgedacht

Fig. 50 a.

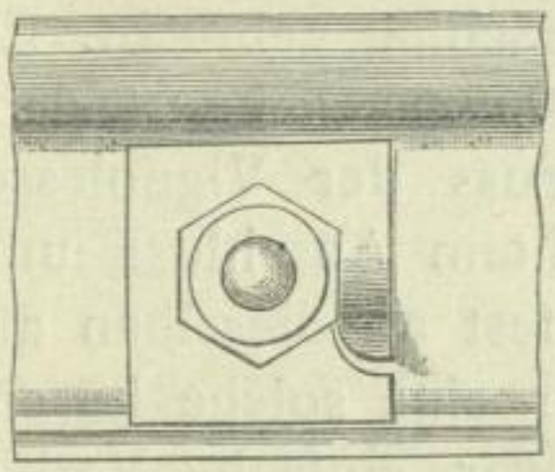
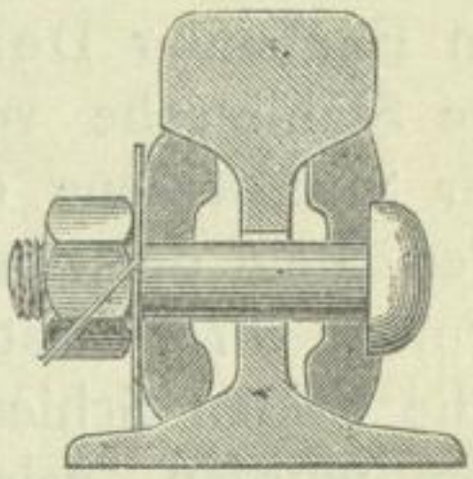


Fig. 50 b.



und im Laufe der Zeit eine ganze Reihe solcher versuchsweise zur Ausführung gebracht, über welche die früher erwähnten ausführlichen Handbücher Aufschluss geben. Hier mag nur auf einige derselben hingewiesen werden. Häufig kamen Doppelmuttern mit gleichen oder entgegengesetzten Gewinden zur Verwendung, dann elastische Scheiben oder sogenannte Federringe aus Stahl, welche, zwischen Lasche und Mutter liegend, durch letztere zusammengepresst werden und dabei vermöge ihrer Elasticität starke Reibung an den Schraubengängen und den übrigen Berührungsflächen erzeugen; endlich Plättchen mit aufgebogenen Theilen, z. B. das von Hohenegger angegebene und in Fig. 50 dargestellte, durch welche ein Zurückgehen der Mutter verhindert wird. Das von Hohenegger empfohlene Mittel besteht in einem viereckigen, in der Mitte durchlochten Plättchen von etwa 2·5 *mm*

Stärke, welches auf die Schraubenbolzen zwischen Lasche und Mutter aufgesteckt wird. Nachdem die letztere fest angezogen, wird ein Lappen des Plättchens mit einem Meisel oder dergleichen aufgebogen, so dass es sich vor die eine Seitenfläche der Mutter legt. Diese könnte sich daher nur gleichzeitig mit dem Plättchen drehen, ist aber daran gehindert, weil dieses mit einer Seitenfläche auf dem Schienenfusse aufsitzt. Ein bestimmtes Urtheil über den Werth der hier angeführten und sonstiger zur Anwendung gekommener Mittel zur Verhütung des Losgehens der Bolzenmuttern hat sich bis jetzt noch nicht festgestellt (VI. Supplementband, S. 33—36), ein Theil der Bahnverwaltungen wendet überhaupt derartige Mittel nicht an, sondern begnügt sich mit einer sorgfältigen Beaufsichtigung der Gleise.

Eine besondere Art der Schienenverbindung mittelst „Federlaschen" wurde zum Beginn der Sechziger Jahre von dem Engländer Dering in Vorschlag gebracht. Es sind elastische Stahlbleche von 6 bis 10 *mm* Dicke, welche den Kopf der Stuhlschiene oder den Fuss der Vignolesschiene, sowie den Steg derselben mit dichtem Anschluss umfassen und vermöge ihrer Elasticität sich fest an dieselben anlegen. Indem die beiden Schienenenden in eine solche Lasche eingeschoben wurden, gelang eine zwar einfache Verbindung derselben ohne Nieten oder Bolzen, die sich aber im Uebrigen nicht vollkommen zweckmässig erwies.

Die oben besprochenen gewöhnlichen Laschen besitzen, wie schon der Augenschein lehrt, nicht die Stärke des vollen Schienenstranges und ihre Befestigung an den Schienenenden ist nur bei entsprechender Schienenform und fest angezogenen Bolzenmuttern eine genügende. Es ist deshalb unbedingt nothwendig, die dem Schienenstoss zunächst gelegenen Schwellen näher zusammen zu rücken, als es bei den übrigen Schwellen mit Rücksicht auf die Stärke der Schienen sein kann. Bei älteren Laschenverbindungen an Schienen mit weniger passendem Querschnitt, wie sie z. B. von Weishaupt im Jahre 1851 untersucht worden sind, ergab sich bei gleicher Entfernung der Schwellen unter dem freiliegenden Stoss und dem vollen Strang der Bruch der Laschen gewöhnlich schon bei Be-

lastungen, durch welche die Schiene noch nicht bis zur Elasticitätsgrenze angestrengt wurde und unzulässig grosse Einbiegungen wurden durch Lasten hervorgebracht, welche weit unter den in Wirklichkeit auftretenden blieben (Weishaupt, Untersuchungen über die Tragfähigkeit verschiedener Eisenbahnschienen etc. Berlin 1852, S. 28 und Anlage C, S. 38 bis 40). Aehnliches ist durch andere Versuche dieser Art wiederholt nachgewiesen worden. Für Laschen mit cylindrischen Anschlussflächen insbesondere fand v. Weber (Stab. S. 120) folgende Werthe:

Druck in Centnern	Mittelwerthe für die Durchbiegung der vollen Schiene	d. verlaschten freiliegenden Stosses
17·5	0·515 *mm*	0·68 *mm*
27·5	0·612	1·02
64·7	1·020	3·04
74·7	1·230	—
84·7	1·440	9·05
94·7	1·600	—
104·7	2·050	15·55

und von besonderem Interesse sind seine Versuche, durch welche der Schwellenabstand für den freiliegenden Stoss unter der Bedingung ermittelt werden sollte, dass die Durchbiegungen hier nicht grösser wären als die der vollen Schiene bei normaler Schwellenentfernung. Er setzte zuerst durch Rechnung und Ueberlegung den voraussichtlich passenden Abstand der beiden Stossschwellen zu $l_1 = 0{\cdot}6\,m$ für die gewöhnliche Entfernung $l = 0{\cdot}976\,m$ fest und verwendete sodann zwei 18 Fuss ($5{\cdot}5\,m$) lange Schienen, „die nach diesem Principe gestützt und dem Halt der Nagelung und Belastung durch die Fuhrwerke gemäss festgespannt wurden, während man die Kuppelungsstelle belastete und ihre Niederbiegung mass. Sodann wurden die Schienen wieder in ganz gleicher Weise festgespannt, jedoch die Biegung eines Stückes der vollen Schiene zwischen den um $3\,^1/_5$ Fuss ($0{\cdot}976\,m$) von einander entfernten Stützpunkten gemessen". Die hierbei erhaltenen Mittelwerthe waren folgende:

Belastung	Biegung der Schienen $l = 0{\cdot}976\,m$	Biegung des Stosses $l_1 = 0{\cdot}60\,m$
64·7 Centner	0·32 *mm*	0·30 *mm*
74·7 „	0·52	0·53
94·7 „	0·62	0·62
104·7 „	0·72	0·72

v. Weber schliesst hieraus, dass im Allgemeinen für $l_1 = 0{\cdot}6\,l$ an allen Stellen des Schienenstranges eine nahezu gleiche Tragfähigkeit erzielt werde.

In der That ist dieses Verhältniss in der Folge auch allgemein festgehalten worden. Gegenwärtig gilt als Regel, die Stossschwellen so nahe zusammen zu rücken, als es nur immer mit Rücksicht auf das Unterkrampen derselben geschehen kann, und es wird als das kleinste in dieser Beziehung zulässige Mass $l_1 = 0{\cdot}5\,m$ bezeichnet (VI. Supplementband, S. 83, Schlussfolgg.).

Wenn durch eine solche Verkleinerung der Stützpunktentfernung am Stosse auch ein erträglicher Zustand herbeigeführt wird, so bleibt eine Verstärkung der Laschenverbindung doch immer noch wünschenswerth und es sind mancherlei Bestrebungen in dieser Richtung zu verzeichnen.

Vor Allem sind die Winkellaschen zu nennen. Eine ältere Form derselben ist in Fig. 51 dargestellt, wobei die liegenden Schenkel durch Schraubenbolzen mit den Unterlagen verbunden sind.

Fig. 52 und 53 sind Beispiele neuerer Winkellaschen, welche übrigens in den verschiedensten Formen versucht wurden: symmetrisch und unsymmetrisch zur Lothlinie, manchmal die Ränder des Schienenfusses umklammernd oder in lothrechter Richtung noch ein Stück unter denselben hinabreichend. Im Stuhlschienenoberbau dienten die Winkellaschen auch als Ersatz für die gusseisernen Stühle am Stosse oder sogar für diejenigen auf den Zwischenschwellen.

Vereinzelt steht die unter Anderen von Währer empfohlene Laschenverbindung (Fig. 54), welche bei grosser Tragfähigkeit eine Unterstützung der Räder beim Uebergange über die Stossfuge gewähren soll.

Zu letzterem Zwecke ist die äussere Lasche aufwärts bis zur Oberfläche des Schienenkopfes verstärkt, so dass sie an der Fuge selbst dem Rade eine Unterstützung gewährt, von hier aber, um der Verschiedenheit der vorkommenden Radkränze Rechnung zu tragen, nach beiden Enden hin um je 5 *mm* abfallend gebildet (Organ f. d. F. d. E. 1870, S. 95). Erfahrungen mit dieser Anordnung sind noch abzuwarten.

Einige Aufschlüsse über die Bedeutung der verstärkten Laschen gewähren die für die Versammlung in Berlin bestimmten Antworten auf die Frage: „Welche Laschenconstruction hat sich zur Verbindung breitfüssiger Stahlschienen an den schwebenden Stössen beim hölzernen Querschwellenoberbau am besten bewährt und welches Widerstandsmoment

Fig. 51.

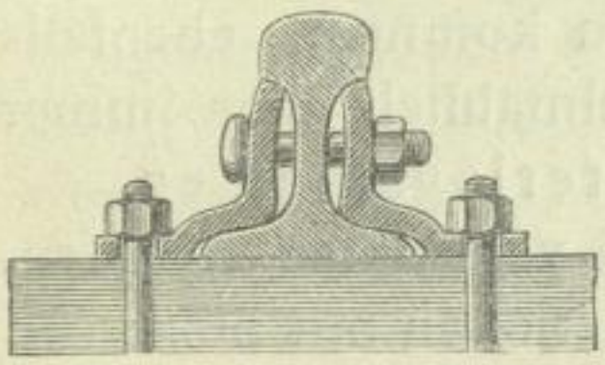


Fig. 52.

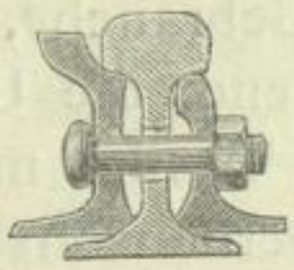


Fig. 53.

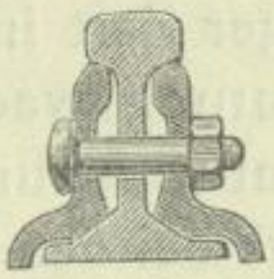
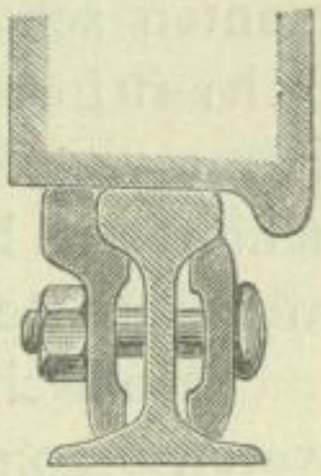


Fig. 54.



der Laschen im Vergleiche zu dem der Schienen wird als das geringste, beziehungsweise zweckmässigste erachtet?" Von den 39 Bahnverwaltungen, welche Beantwortungen geliefert hatten, halten 6 die gewöhnlichen Laschen für genügend, doch beabsichtigen zwei von ihnen zu Winkellaschen überzugehen. 12 Verwaltungen decken die Stossfuge einerseits durch eine gewöhnliche, andererseits durch eine Winkellasche, eine Verwaltung thut dies nur in Steigungen von 1 : 100 oder mehr und hält im Uebrigen an der gewöhnlichen Verlaschung fest. 20 Verwaltungen endlich sind zu beiderseitigen Winkellaschen übergegangen, davon 16 bei symmetrischer Bildung gegen die Lothlinie, während 4 an der Aussenseite eine Winkellasche mit zwei liegenden Schenkeln, einen oben und einen unten, anwenden.

Was sodann das zweckmässigste Widerstandsmoment der Laschenverbindung betrifft, so sind 28 Verwaltungen der

Meinung, dass die Tragfähigkeit derselben jener der Schienen bei der grössten üblichen Schwellenentfernung möglichst gleich sein soll und über das zur Zeit vorhandene Verhältniss beider Widerstandsmomente werden folgende Angaben gemacht:

Bei 9 Verwaltungen haben die Laschen unter 30 Procent,
„ 9 „ „ „ „ zwischen 30 u. 50 Proc.,
„ 8 „ „ „ „ „ 50 u. 80 „
des Widerstandsmomentes der Schienen.

Zwei Verwaltungen halten dafür, beiden Constructionstheilen sei ein thunlichst gleiches Widerstandsmoment zu geben (IX. Supplementband, S. 22 bis 25).

12. Mittel zur Befestigung der breitbasigen Schienen auf den Unterlagen. Zur Befestigung der breitfüssigen Schienen auf den hölzernen Schwellen oder auf Steinquadern dienten schon frühe Holzschrauben (Tirefonds), zuweilen Schraubenbolzen, am häufigsten Nägel, besonders in Form von Hakennägeln (Kloben). Dazu kommen, ebenfalls schon seit langer Zeit im Gebrauche, allmählich aber immer mehr an Bedeutung wachsend, die Unterlagsplatten.

Holzschrauben, zum Theile mit versenkten Köpfen, waren besonders bei den Oberbauconstructionen mit hölzernen Langschwellen beliebt. Sie reichten durch Löcher der Flachschienen oder des Fusses der breitbasigen Schienen, welche länglich geformt waren, um die Längenänderungen des Gestänges in Folge Schwankungen der Temperatur zu ermöglichen. Später wurden sie öfters zur Befestigung von Schienenstühlen benützt, kamen dagegen bei den breitfüssigen Schienen, wenigstens im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen, fast ganz ab, als Querschwellen allgemein wurden, weil sie durch den Schienenfuss leicht verdrückt und rasch ausgewetzt wurden, ausserdem theuerer wie Nägel waren und mancherlei Schwierigkeiten bei der Verwendung verursachten. Erst in neuerer Zeit gewinnen sie auch hier wieder an Bedeutung, besonders seitdem sie in Verbindung mit Unterlagsplatten in Anwendung kommen.

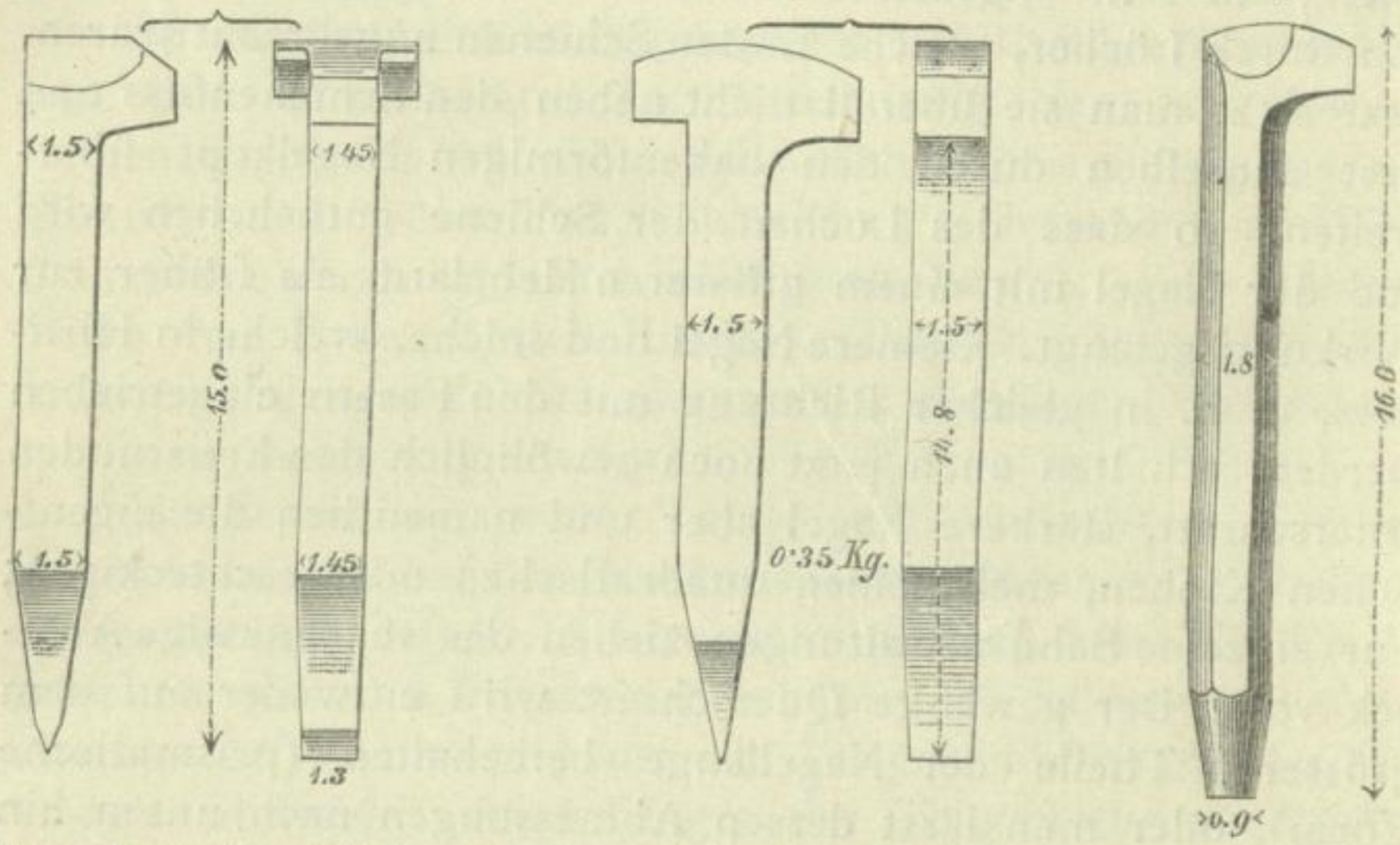
Schraubenbolzen kamen ebenfalls früher öfters vor, sowohl in Verbindung mit Unterlagsplatten zur Befestigung

breitfüssiger Schienen (Fig. 44), wie auch im Stuhlsysteme. Man steckte sie dabei meist von unten in vorgebohrte Löcher ein, hielt sie durch besondere Vorkehrungen in ihrer Lage fest und schraubte die Muttern von oben auf; seltener sassen diese an der Grundfläche der Unterlage fest, während die Bolzen an ihren oben liegenden Köpfen gedreht wurden. Verschiedene Nachtheile, wie die Schwierigkeit der Auswechselung, die Abhängigkeit vom Quellen und Schwinden des Schwellenholzes u. dergl. m. haben bewirkt, dass sie jetzt so gut wie aufgegeben sind.

Im Gegensatze hierzu ist der Gebrauch der Nägel gegenwärtig ein sehr allgemeiner. Auch sie schlug man ursprünglich durch Löcher, welche in den Schienen angebracht waren, jetzt setzt man sie überall dicht neben den Schienenfuss und lässt denselben durch den hakenförmigen Nagelkopf übergreifen, so dass das Lochen der Schiene entbehrlich wird und der Nagel mit einem grösseren Hebelarm als früher zur Wirkung gelangt. Kleinere Nägel und solche, welche in Hirnholz, d. h. in gleicher Richtung mit den Fasern eingetrieben werden, erhalten auch jetzt noch gewöhnlich den kreisrunden Querschnitt, stärkere Nägel aber und namentlich die eigentlichen Kloben, meist einen quadratischen oder rechteckigen; nur einzelne Bahnverwaltungen ziehen das regelmässige Achteck vor. Der gewählte Querschnitt wird entweder auf dem grösseren Theile der Nagellänge beibehalten (prismatische Form), oder man lässt dessen Abmessungen nach unten hin allmählich abnehmen (pyramidale Form), in vereinzelten Fällen hat man auch gebauchte, flach gewundene oder durch Einhauen mit Widerhaken versehene Nagelschäfte versucht, ohne jedoch den durch solche besondere Form erstrebten besseren Halt des Nagels im Holz erzielen zu können. Gegenwärtig wird der prismatische Nagel, gewöhnlich bei quadratischem Querschnitte, allen anderen Formen vorgezogen, weil er sich durch seine Haftkraft bei mässigem Preise auszeichnet. Am unteren Ende erhalten die Nägel entweder eine Spitze oder eine meiselartige Schneide (Fig. 55 und 56), manchmal bleiben sie stumpf, so dass sie sich nur in vorgebohrte Löcher eintreiben lassen (Fig. 57). Die Schneide,

schon im Jahre 1836 versuchsweise ausgeführt, wird quer zur Richtung der Holzfasern gestellt und hat den Zweck, diese zu durchschneiden und dadurch das Aufspalten des Holzes zu verhüten. Was endlich den Kopf betrifft, so zeigt derselbe zuweilen die auch sonst übliche kegel- oder kugelförmige Gestalt, für den besonderen Zweck der Befestigung von Schienenfüssen aber die Hakenform. Für letztere sind dann die Bildung des Schienenfusses und Rücksichten auf leichte Herstellung massgebend. Um die Hakennägel leicht aus dem Holze ziehen zu können, erhält der Kopf in der

Fig. 55. Fig. 56. Fig. 57.



Regel zwei seitliche Ansätze (Fig. 55 und 57) oder eine Verlängerung nach rückwärts (Fig. 56), wodurch Angriffspunkte für die dabei zu benützenden Hebel gewonnen werden. Ueber die erforderlichen Abmessungen und dadurch bedingten Gewichte geben die den Figuren beigesetzten, für Hauptbahnen giltigen Durchschnittszahlen Aufschluss.

Bisher wurde vorausgesetzt, es handle sich um hölzerne Unterlagen, in welche die Befestigungsmittel ohneweiters eingetrieben werden können, oder dass dabei höchstens ein Vorbohren erforderlich würde. Anders war es bei den Steinunterlagen, welche natürlich vor dem Einbringen der Nägel und Schrauben eine besondere Zubereitung erforderten; man

führte nämlich an jeder Befestigungsstelle ein Bohrloch von 30 bis 50 *mm* Weite aus, setzte in dasselbe einen getheerten Dübel aus Holz ein und schlug erst in diesen den Nagel. Um ausserdem den Druck des Schienenfusses auf den Quader besser zu vertheilen, auch dessen Einarbeiten in den Stein zu verhüten und das geräuschvolle, harte Fahren zu mildern, wurden öfters zwischen Schienen und Unterlagen getheerte Filz- oder Holzplatten eingelegt. Eine besondere Art der Befestigung wurde bei Besprechung der Stierlin'schen Unterlage (Fig. 35) erwähnt.

Neben den eigentlichen Befestigungsmitteln spielen die Unterlagsplatten eine sehr wichtige Rolle. Sie dienten vor Einführung der Laschenverbindung zur Vereinigung der breitfüssigen Schienen unter einander; auch bei Anwendung von Schraubenbolzen zur Befestigung des Schienenstranges auf den Unterlagen waren sie nothwendig. Weniger in Betracht kam damals ihre Wirksamkeit zur Verstärkung der Schienenbefestigung, welche in der Folge in so hohem Masse zur Ausnützung gelangte. Dieselbe ist nämlich vor Allem darin zu suchen, dass mehrere Nägel, welche durch Löcher in der Platte reichen, von einander abhängig werden, so dass einem Versuche zur Schienenverdrückung nicht nur die auf der Aussenseite eingeschlagenen, sondern durch Vermittelung der Platte auch die inneren Nägel sich entgegensetzen. Daneben wird durch die Unterlagsplatten das Eindrücken des Fussrandes der Schiene in die Schwelle, welches bei den fortwährenden Versuchen zur Kantung der Schienen hervortritt, abgemindert und endlich bei entsprechenden Ausmassen auch die Standfestigkeit des Stranges vergrössert und eine bessere Druckvertheilung erzielt. Die Unterlagsplatten werden jetzt gewöhnlich aus Walzeisen, zuweilen aus Flussstahl hergestellt und erhalten zur Schonung der Nägel und um bei Seitenverschiebungen in erster Linie die Reibung zwischen Platte und Schwelle zur Geltung zu bringen, auf der Aussenseite einen erhöhten Rand oder Leiste, seltener auf beiden Seiten einen solchen. Bei der Wahl ihrer Abmessungen kommt die geringste obere Schwellenbreite in Betracht, sodann die Erwägung, dass die Nagellöcher noch mit Sicherheit gestanzt werden können und

die an den Schwellen herzustellenden schiefen Auflagerflächen keine zu grosse Ausdehnung erreichen. Jedenfalls erhalten sie eine Grösse, welche die der Auflagerfläche des Schienenfusses, selbst auf vollkantigen Schwellen rechteckigen Querschnittes, immer noch übertrifft. Die Masse 140 zu 180 *mm* oder 180 zu 180 *mm* werden empfohlen. Als Dicke muss wenigstens 12 *mm*, am verstärkten Rand 20 *mm* gewählt werden, wenn eine Verbiegung der Platte und starkes Auswetzen der Nagellöcher nicht eintreten soll; bei Verwendung von Flussstahl können die angegebenen Masse etwas geringer sein. Früher gab man den für die Mittelschwellen bestimmten Platten nur zwei Nagellöcher, neuerdings gewöhnlich drei, davon zwei an der Innenseite, um auch gegen Kantungsbestrebungen einen grösseren Widerstand zu haben. Wichtig

Fig. 58.

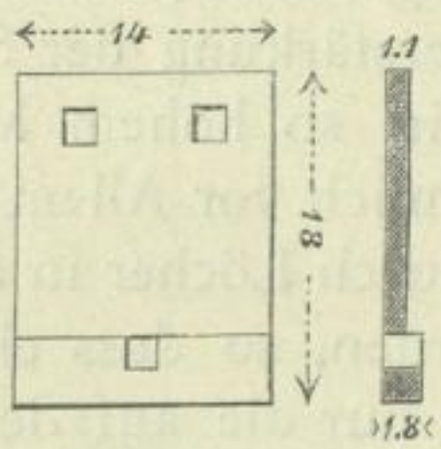
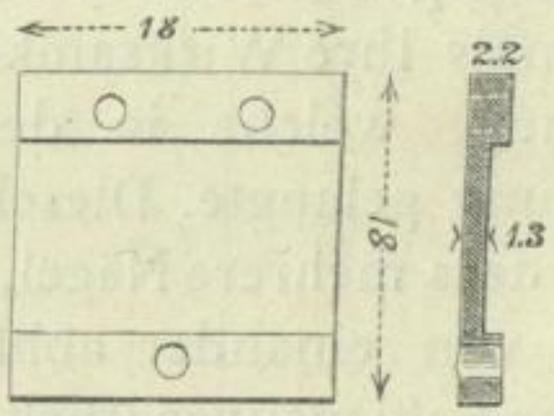


Fig. 59.



ist es, dass sich der Schienenfuss nicht gegen den äusseren Nagelschaft stützt, damit dieser nicht zu stark ausgewetzt und mit seinem Horizontalwiderstand erst in Anspruch genommen wird, nachdem die Reibung an der Unterfläche der Platte überwunden worden ist. Das Loch für diesen Nagel wird deshalb entweder dicht an den Rand der erhöhten Leiste (Fig. 58) oder noch einige Millimeter weiter nach auswärts gerückt (Fig. 59), so dass sich der Schienenfuss gleichzeitig oder ausschliesslich gegen die Leiste stützt. Bei den angegebenen Massen wiegt eine Unterlagsplatte etwa 2·5 bis 3·5 *kg*.

Durch die Befestigungsmittel sollen die Schienenstränge in möglichst unveränderter Lage erhalten, Verdrückungen derselben auf ihren Unterlagen und daraus folgende Spuränderungen möglichst verhütet werden. Thatsächlich suchen sich derartige Verdrückungen, und zwar Parallelverschiebungen der Schienen auf den Schwellen und Kantungen derselben

um eine, nahe dem äusseren Fussrande gelegene Achse nur zu leicht unter den seitlich gegen den Schienenkopf gerichteten Drucken und Stössen der Räder einzustellen. Ihnen widersetzen sich die Befestigungsmittel nach dem Masse ihrer Widerstandsfähigkeit gegen horizontale Verdrückung im Holze, beziehungsweise ihrer Haftkraft in demselben. Diese Widerstände für sich würden jedoch nicht ausreichend sein, eine Lagenveränderung der Schienenstränge zu verhüten, allein eben dieselben Fahrzeuge, von welchen auch die Angriffe auf das Gleis ausgehen, bewirken zugleich eine wesentliche Verstärkung desselben. Sie erzeugen nämlich einerseits starke Reibung zwischen Schienenfuss und Schwellenoberfläche, andererseits ebensolche zwischen Radkranz und Schienenkopf, indem der eine Schienenstrang mit dem auf ihm ruhenden Rade seitlich nicht ausweichen kann, ohne dass das andere, mit dem ersten durch die Achse festverbundene Rad auf dem gegenüberliegenden Strange gleitet. Es ist das grosse Verdienst des Freiherrn v. Weber, diese Verhältnisse durch gründliche Versuche zuerst ziffermässig klargestellt zu haben. Er selbst spricht sich darüber in seinem Werke: „Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise", S. 242, folgendermassen aus:

„Lassen wir den Blick von der historischen Ermittelung auf die experimentative hinübergleiten, so tritt uns eine überaus auffallende Thatsache entgegen, deren Wunderbarkeit fast nur dadurch noch übertroffen wird, dass sie so wenig gekannt und noch weniger sorgsam beachtet worden ist:

Dass schon seit mehr als einem Menschenalter die Transportmassen der Eisenbahnen, alle die kraftvollen und schnellen Maschinen, die zahllosen Fuhrwerke auf Wegen hinrollen, deren Geschmeidigkeit so gross ist, dass jedes Rad eine Welle in dieselben drückt, dass sie jede Schwankung der Fuhrwerke in der Horizontalen verschiebt und deren ganzer Zusammenhalt, insoweit er von der Widerstandsfähigkeit ihrer mechanischen Organe abhängt, im Verhältnisse zu den Einwirkungen, welche die Fuhrwerke darauf äussern, ein so unzureichender ist, dass fast jede jener Einwirkungen ihn bis an die Grenzen höchster Gefahr anstrengen, ja zer-

stören müsste, wenn nicht jedes Fahrzeug in seiner und der Last, die es trägt, erst das kräftigste Agens für den Zusammenhalt unserer Gleise, die Reibung mit sich brächte, überall so ein Unzulängliches antreffend und ein Unzulängliches hinter sich lassend".

Am gründlichsten ist die Leistungsfähigkeit der Hakennägel untersucht worden und sind hier zunächst die Arbeiten des Geheimrathes v. Kaven, zur Zeit an der technischen Hochschule in Aachen, zu nennen, welche er schon im Jahre 1856 auf der königl. Hannover'schen Bahn anstellte (Zeitschr. d. A. u. I. V. zu Hannover 1856, S. 173), sodann die aus den Fünfziger Jahren stammenden Versuche des damaligen Oberbaurathes Funk (Zeitschr. d. A. u. I. V. zu Hannover 1860, S. 41), endlich die in dem oben genannten Werke über Stabilität etc. eingehend besprochenen Versuche v. Weber's.

Während die beiden erstgenannten Autoren beim Ausziehen der Nägel die Kraft in der Richtung der Nagelachse wirken liessen, hat Weber die thatsächlich weniger einfache Art des äusseren Angriffes möglichst getreu nachzuahmen gesucht, indem er auf den Kopf der in bestimmter Weise befestigten Schiene von der Seite her Drucke mittelst einer hydraulischen Presse ausübte, welche sich dabei gegen den Kopf des anderen Schienenstranges lehnte, und die Einwirkung so lange steigerte, bis der Nagelwiderstand überwunden wurde.

Aus allen diesen Versuchen ergab sich übereinstimmend, dass der Widerstand der Nägel im harten Holze bedeutend grösser sei als im weichen, bei Angriffen in der Längsachse der Nägel bis 100 Procent, und die Versuche Funk's stellten insbesondere die Thatsache fest, dass Nägel mit gebauchten, gewundenen oder mit Widerhaken versehenen Schäften sowohl hinsichtlich des Widerstandes beim Ausziehen, wie auch bei seitlicher Verdrückung den prismatischen Nägeln mit quadratischem Querschnitte unbedingt nachstehen, endlich dass die prismatische Form auch die pyramidale in mehreren Beziehungen übertreffe und ihr unbedingt vorzuziehen sei, sobald die Herstellungskosten der Nägel mit in Betracht kämen.

v. Weber hat sich zunächst mit der Pressbarkeit des Schwellenholzes befasst, um zu zeigen, welche Verdrückungen der Schienen allein schon hierdurch veranlasst werden können, ehe noch die Widerstandsfähigkeit der Befestigungsmittel zur Geltung gelangt. Um das Verhalten der Schwellen in dieser Hinsicht unter verschiedenen Umständen mit Musse beobachten zu können, arbeitete er zuerst im Laboratorium mit 0·9 *m* langen Holzstücken, welche in den üblichen Breiten- und Höhenmassen aus neuen Hölzern oder aus gebrauchten Schwellen geschnitten waren. Dieselben wurden auf eine unnachgiebige Unterlage gebracht, quer über sie, so wie in Wirklichkeit der Schienenstrang zu liegen käme, ein kurzes Stück Schiene gelegt, auf dieses mit Hilfe einer Hebelvorrichtung Drucke von bekannter Grösse ausgeübt und jedesmal das Niedergehen des Schienenfusses mittelst eines Fühlhebels gemessen. Die in solcher Weise gefundenen Masse sind aus Tabelle XII zu ersehen.

Tabelle XII.

Zusammendrückung des Schwellenholzes bei ruhender Belastung durch einen Druck von 130 Centner auf Schienenfussbreite (105 *mm*) und Schwellenbreite (200 *mm*), gleich einem Drucke von 28 *kg* auf 1 *cm*² Holzfläche.

	Beschaffenheit der Schwellen	Unberührte Stellen		Alte Schienenauflagerfläch.	
		Zusammendrückung in *mm*		Zusammendrückung in *mm*	
		im Ganzen	bleibend	im Ganzen	bleibend
1	Mittel aus 5 Versuchen, neue ungebrauchte Kiefernschwellen	3·5	1·4	—	—
2	Schwelle v. J. 1866 Kiefernholz, splintig, locker	5·6	0·7	9·0	1·4
3	„ „ 1866 „ fest und dicht	4·9	0 7	5·6	—
4	„ „ 1865 „ gut und fest .	4·2	0·7	7·5	1·4
5	„ „ 1865 „ gut und fest .	5·6	—	7·7	1·4
6	„ „ 1864 „ mittl. Beschaffenh.	5·6	0·9	6·3	1·4
7	„ „ 1864 „ sehr dicht . .	3·5	0·7	9·0	4·2
8	„ „ 1863 „ sehr dicht . .	4·9	—	6·0	7·2
9	„ „ 1863 „ sehr dicht . .	4·9	1·4	9·0	4·2
10	„ „ 1859 „ mittl. Beschaffenh.	6·2	2·5	14·5	4·2
11	„ „ 1858 „ mittl. Beschaffenh.	7·1	3·3	21·0	5·6
12	Schwelle v. Eichenholz, ungebr., mittl. Gefüge	1·5	0·2	—	—
13	„ „ ungefähr 10 Jahre alt, mittleres Gefüge . .	4·2	0·7	6·3	2·1
14	„ „ ungefähr 10 Jahre alt, mittleres Gefüge . .	5·0	0·7	7·2	3·1

v. Weber zieht aus diesen Ergebnissen unter anderen auch folgende Schlüsse: „Die Widerstandsfähigkeit des kiefernen Schwellenholzes ist nicht gross genug, um bei seitlichen Pressungen gegen den Kopf der Schiene nicht ein theilweises Umkanten derselben durch Eindrücken einer Seite des Schienenfusses in die Schwellenfläche, und somit augenblickliche Spurerweiterungen zu gestatten, welche sofort nach Aufhören der Einwirkung wieder verschwinden und sich nachträglich weder am Zustande der Nägel, noch der Schwellen und Schienen erkennen lassen."

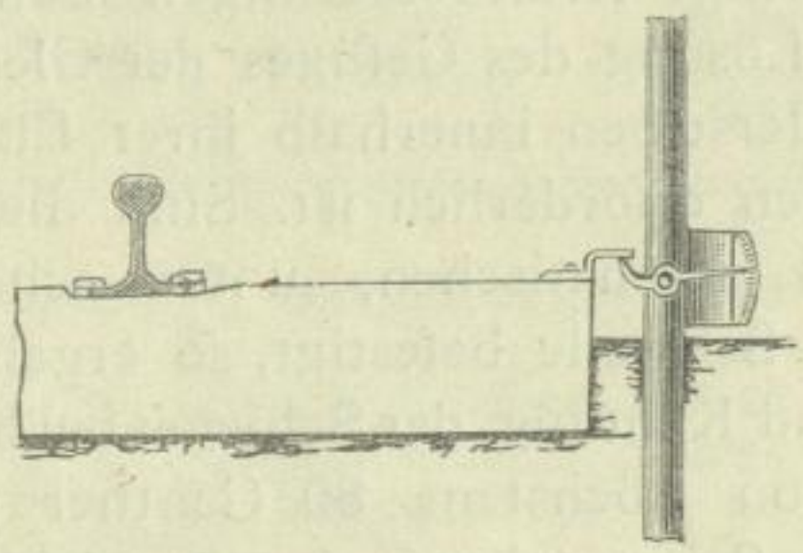
„Die Zusammenpressungen, welche Kiefern- und andere sogenannte weiche Hölzer unter dem Schienenfusse erleiden, sind so gross, dass sie nothwendig das Zellengefüge des Holzes nach und nach lösen und ein Eindrücken des Schienenfusses, das einem Einschneiden ähnlich ist, in die Schwelle erfolgen muss, besonders wenn die oberen Faserschichten desselben durch Auslaugen im Witterungswechsel ihre Elasticität mehr oder weniger verloren haben."

Es kam nun weiter darauf an, den Einfluss festzustellen, welchen die Bewegung der Fahrzeuge etwa haben könnte, es mussten also Beobachtungen am befahrenen Gleis selbst gemacht werden, was natürlich immer mit Schwierigkeiten verbunden sein wird. Namentlich war es nicht so ganz leicht, das Einsinken des Schienenfusses in die Schwellen unabhängig von deren Senkung in den Bettungskörper zu erhalten. Auf folgende Weise geschah dies ganz befriedigend. Es wurde vor dem Schwellenkopf ein eiserner Pfahl fest in den Boden eingetrieben, welcher ungefähr in Schwellenhöhe einen Gradbogen trug, an dem sich mit starker Reibung ein kleiner Hebel drehte.

Indem sich auf dessen eines Ende ein mit der Schwelle verschraubter Winkel legte (Fig. 60), markirte das zu einem Zeiger ausgezogene andere Ende auf dem Gradbogen die Senkung in doppelter Grösse. Dicht neben der Schwelle war ein gleicher Apparat aufgestellt, welcher in derselben Weise das Niedergehen des Schienenfusses verzeichnete. Hatte man Sorge getragen, dass letzterer fest auf seiner Unterlage sass, so gab der Unterschied aus den beiden an den

Gradbögen abgelesenen Zahlen die gewünschte Einpressung der Schiene in das Schwellenholz. Das Ergebniss einer grösseren Anzahl von Versuchen solcher Art ist in Tabelle XV bei Besprechung des Druckes der Schwellen auf die Bettung im mathematischen Anhang wiedergegeben. Man kann daraus ersehen, dass durch das Bewegtsein der Verkehrslasten die Masse der Eindrückung nicht wesentlich geändert werden, besonders wenn man die folgenden Erläuterungen Weber's dabei in's Auge fasst: „Diese Zusammenpressungen sind im Allgemeinen natürlich weniger stark als die bei der ruhenden Belastung von 130 Centner auf eine Schwellenfläche von 220 cm^2.[1]) Zieht man aber die Minderbelastung von 10 Centner und die Uebertragung des

Fig. 60.



Druckes durch die Schiene so gut es geht, angenähert in Rechnung, wie auch die Verschiedenheit der Auflagerfläche der Schwellen, so ergiebt sich mit bemerkenswerther Uebereinstimmung dort wie hier eine mittlere Zusammendrückung der Schwelle mittleren Alters und mittlerer Holzbeschaffenheit (4 bis 6 Jahre) von 4·3 *mm* für die Maximalbelastung von 130 Centner auf eine Druckfläche von ungefähr 220 cm^2 bei einer Schwellenstärke von 150 *mm*, so dass man im Grossen und Ganzen bei dieser Stärke eine Zusammendrückung von 1 *mm* für je 14 Pfund Belastung auf einen Quadratcentimeter Druckfläche annehmen darf."

Auf diese Versuche folgten andere über den Horizontalwiderstand und die Haftfestigkeit von Nägeln, aus welchen sich

[1]) Weil nämlich das Gewicht eines Triebrades der bei den Versuchen benützten Locomotive nur 120 Centner betrug.

unter gleichzeitiger Berücksichtigung der älteren Versuche insbesondere die sogleich anzuführenden Schlüsse ergaben:

Während man zum Ausreissen prismatischer Nägel mit meiselförmiger Schneide, deren im Holz steckende Oberfläche, in Quadratcentimeter ausgedrückt, F beträgt, im Durchschnitt eine Kraft

$$P_1 = 47 \,.\, F \text{ bei Föhrenholz}$$
$$\text{und } P_2 = 94 \,.\, F \text{ bei Eichenholz}$$

in Zollpfunden nöthig hat, falls dieselbe in der Nagelachse ausgeübt wird, sinkt dieser Werth, wenn die Kraft zugleich seitlich drängend wirkt, auf beziehungsweise

$$P'_1 = 25 \,.\, F \text{ und } P'_2 = 42 \,.\, F \text{ Zollpfund.}$$

Kleine Spurerweiterungen bis 6 und 10 *mm* werden schon durch geringe Kraftäusserungen bewirkt, da hierzu keineswegs eine Lösung des Gefüges der Gleise, sondern nur ein Nachgeben derselben innerhalb ihrer Elasticität und den Constructionsfugen erforderlich ist. Sind die Schienenstränge nur mit je zwei prismatischen, unten schneidigen Hakennägeln auf einer Schwelle befestigt, so ergeben sich in Folge Verschiebung und Kantung der Schiene bei Einwirkung eines Seitendruckes von höchstens 80 Centner (4000 *kg*) gegen einen Punkt des Schienenkopfes so beträchtliche Ortsveränderungen desselben, dass das Gleisgefüge dadurch an der betreffenden Stelle dauernd gelöst wird. Ist aber diese Lösung einmal eingetreten, so genügt eine geringere Kraft (öfters nicht über 0·75 der ersteren) zur Herbeiführung vollständiger Zerstörung.

Die Versuche v. Weber's ergaben weiter, dass die Widerstandsfähigkeit der einzelnen Nagelung (je zwei Nägel für Schiene und Schwelle, einer aussen, einer innen angebracht) durch die Unterstützung aller übrigen Nagelungen ungefähr verdoppelt wurde, auch war zu erkennen, dass Spurerweiterungen bis zu 25 *mm*, besonders wenn sie in Folge einer Kantung der Schiene hervorgetreten waren, vermöge der Elasticität des Schienenstranges und des Schwellenholzes wieder ganz verschwanden, wenn die äussere Kraft zu wirken aufhörte. Bezüglich der Unterlagsplatten endlich mag hier noch

erwähnt werden, dass nach den in Tabelle XIII zusammengestellten Weber'schen Versuchen die Widerstandsfähigkeit gegen Schienenverdrückung unter sonst gleichen Verhältnissen durch dieselben ungefähr um das Doppelte erhöht wird, die Lösung des Gefüges aber bei geringeren Verschiebungsmassen erfolgt. Hierbei ist zu bemerken, dass jedesmal zwei Schienen auf die in der ersten lothrechten Reihe angegebene Anzahl Schwellen, bei einem Versuch ohne Unterlagsplatten, bei einem anderen mit Benützung der in der zweiten Reihe verzeichneten Anzahl Platten aufgenagelt waren.

Tabelle XIII.

Anzahl der Schwellen	Anzahl der Platten	Lage der Platten mit je drei Nagellöchern	Angriffsstelle des Druckes	Druck, bei welchem die Lösung d. Gefüges erfolgte		Spurerweiterung	
				ohne Platten	mit Platten	ohne Platten	mit Platten
3	2	2 Nägel aussen	Mittelschwelle	1·25	2·75	10	10·5
3	6	„	„	1·25	2·50	10	10·5
2	4	„	Zwisch. d. Schwellen	2·25	1·75	25	7·5
4	8	„	Zw. d. Mittelschw.	2·25	3·50	19	13
5	10	„	Mittelschwelle	—	4·00	—	16
5	10	2 Nägel innen	„	—	7·00	—	38
6	12	2 Nägel aussen	Mitte	—	4·50	—	17·5
6	12	2 Nägel innen (an d. Mittelschwelle)	„	—	6·00	—	25
				Tonnen		Millimeter	

Welch bedeutende Vermehrung die Widerstandsfähigkeit des Gleises durch die bei seiner Belastung durch die Fahrzeuge entstehenden Reibungswiderstände erfährt, geht aus anderen Versuchsreihen v. Weber's hervor, deren Ergebnisse er selbst in folgende Sätze gefasst hat (Stab., S. 222):

„Wenn die Belastung eines Punktes der Schiene durch ein Fuhrwerk mehr als 80 Ctr. (4000 *kg*) pro Rad beträgt, so wird dadurch das Widerstandsmass gegen Umkanten grösser als das durch gewöhnliche Nagelung in Kiefernholz erzeugte."

„Die Widerstandsfähigkeit der Schienen gegen seitliche Verschiebung auf der Schwelle wird durch die Belastung

um ein Mass vermehrt, das mindestens durch 0·33 derselben ausgedrückt werden muss und daher schon bei Belastungen von über 60 Centner pro Rad grösser ist als die Widerstandsfähigkeit der Nagelung gegen horizontale Verdrückung."

So wichtig und überzeugend auch die bisher besprochenen, auf dem Wege des Versuches festgestellten Thatsachen sind, so muss man doch wünschen, den Zustand der Schienenstränge unter den wirklichen Angriffen beim Betriebe genauer übersehen zu können. Nun ist es aber äusserst schwierig, passende Messwerkzeuge hiefür anzufertigen, einerseits weil wegen der stossweisen Einwirkung der in Bewegung befindlichen schweren Eisenbahnfahrzeuge alle feineren Theile, wie sie sonst beim Messen gebräuchlich sind, von vorneherein ausgeschlossen werden müssen, andererseits aber eine ziemlich genaue Messung erforderlich ist, welche sich gleichzeitig auf lothrechte und wagrechte Verschiebung, wie Kantung der Schienen, erstrecken soll. Aber selbst angenommen, es stünden brauchbare Instrumente zur Verfügung, so bliebe es doch immer misslich, eine sehr grosse Zahl von Beobachtungen ausführen zu müssen, um auch nur mit einiger Sicherheit die gewünschten grössten Lagenveränderungen der Schienenstränge zu erhalten. v. Weber half sich deshalb mit einer höchst einfachen, sinnreichen Vorrichtung. Er liess nämlich an den verschiedensten Stellen der Bahnstrecke quer zur Gleisachse kleine Gerüste ausführen: Drei Pfähle wurden unverrücklich fest eingerammt, einer in der Mitte zwischen den beiden Schienensträngen, die anderen zu beiden Seiten derselben und an dieselben wurde, mit ihrem oberen Rande in Schienenhöhe, eine Bohle angeschraubt, mit zwei hinreichend grossen Ausschnitten für die Schienenstränge. Letztere wurden dann nur mit Freilassung des Kopfes, soweit es die Spurkränze der Räder verlangten, von je einer 6 *mm* dicken Bleiplatte in zwei Stücken umschlossen, welche mittelst hölzerner Backen an der Bohle befestigt war und mit ihrem zugeschärften Rande sich dicht an das Profil der Schiene anschloss. Da die Bleiplatten fest an dem Gerüste sassen, mussten die Schienen aus ihnen nach Massgabe der erlittenen Verdrückungen einen Raum ausarbeiten, „der am Ende

genau der Summe aller Maximalbewegungen der Schienen während eines gewissen Zeitraumes des Befahrens entsprach und zugleich die Masse der verticalen, horizontalen und kantenden Verdrückungen aller Theile der Schienen angab, so ein untrügliches Diagramm derselben liefernd."

In dem Buche über Stabilität etc. sind eine Anzahl in dieser Weise gewonnene Figuren gezeichnet, welche sehr beträchtliche Lagenveränderungen erkennen lassen, wiewohl sich die Gerüste nur auf Strecken mit gutem Untergrunde befanden und bei dem günstigen, während der Beobachtungszeit herrschenden Wetter tiefer gehende Durchweichungen nicht vorgekommen waren.

Nach allen bisherigen Auseinandersetzungen erweist sich die Widerstandsfähigkeit, welche den Befestigungsmitteln für sich zukommt, nur in Verbindung mit den bewussten Reibungskräften als ausreichend den äusseren Angriffen gegenüber. Fehlen dieselben aus irgend welchen Gründen einmal, etwa deshalb, weil bei Glatteis eine wesentliche Verminderung des Reibungscoëfficienten eintritt, oder weil in Folge Schwingens der Tragfedern die Vorderachse einer sechsräderigen Locomotive gerade in dem Augenblicke entlastet wird, da sie auch eine Seitenbewegung ausführt, so dass nun ihr Stoss eine unbelastete Stelle der Schiene trifft, so ist ein stärkeres Ausweichen des Schienenstranges, falls er nur einfach genagelt ist, und im Gefolge davon eine Entgleisung fast mit Sicherheit zu erwarten. Im ersten Falle kann nun zwar der abgeminderte Reibungscoëfficient durch verschiedene Mittel, z. B. Sandstreuen, wieder vergrössert werden und die in zweiter Linie erwähnten ungünstigen Umstände treten zum Glücke nicht allzuhäufig hervor, immerhin aber wird es nothwendig, die im mechanischen Gefüge des Gleises begründete Widerstandsfähigkeit in dem Masse zu vergrössern und weniger abhängig von der Reibung zu machen, als die Betriebsforderungen an die Bahn wachsen. Es ist interessant, die Bestrebungen in dieser Richtung etwas genauer zu verfolgen.

Für die Technikerversammlung zu Düsseldorf 1874 waren von den Bahnverwaltungen Antworten auf die Frage ein-

gefordert worden: „Erscheint es (bei der stets zunehmenden Geschwindigkeit der Züge und der Belastung) für die Sicherheit des Betriebes erforderlich (auf belebten, in scharfen Curven und starken Neigungen liegenden Bahnstrecken), zur Erhaltung einer guten Gleislage ausser der Laschenverbindung an den Schienenstössen und der Befestigung der Schienen mittelst Hakennägeln, beziehungsweise Schwellenbolzen, noch weitere Mittel gegen das Eindrücken des Schienenfusses in die Schwellen und das damit verbundene Kanten und seitliche Ausbiegen der Schienen, sowie gegen das in Folge des geringen Widerstandes der Hakennägel entstehende seitliche Verschieben der Schienen in Anwendung zu bringen, und welche Constructionen werden in Vorschlag gebracht?" (V. Supplementband, S. 8.)

Aus den meisten Beantwortungen war zu ersehen, dass die damals gewöhnlich übliche Befestigung des Schienenstranges mit je zwei Hakennägeln auf einer Schwelle und das Anbringen von Unterlagsplatten nur auf den, dem freiliegenden Stosse zunächst befindlichen Schwellen in den meisten Fällen nicht mehr für genügend erachtet wurde, stärkere Verdrückungen der Schienen zu verhüten. Als einfaches, verhältnissmässig billiges und zweckentsprechendes Mittel wurde die vermehrte Anwendung von Unterlagsplatten bezeichnet, deren Anzahl je nach der Art des Schwellenholzes, den Anlageverhältnissen der Bahn und den Betriebsforderungen zu bemessen sei. Bezeichnend ist die Empfehlung, bei lebhaftem Betriebe und, falls weiche Bahnschwellen verwendet würden, auch in der geraden Strecke ausser den Platten zu beiden Seiten des Stosses noch eine oder zwei Zwischenplatten für jede Schiene anzuordnen und diesen Platten drei oder vier Nagellöcher zu geben, also die Nagelung selbst wesentlich zu verstärken.

Weitere Einblicke gewährt die andere, für dieselbe Technikerversammlung aufgeworfene Frage: „Ist der erforderliche Gleichgewichtszustand im Bahngestänge zwischen Angriff und Widerstand nicht schon zum Nachtheil des letzteren überschritten, wenigstens bei Eisenbahnen im Hügellande und Gebirg, und was ist nöthigenfalls zur Abhilfe zu thun?"

(V. Supplementband, S. 60.) Aus den Beantwortungen seitens 28 Verwaltungen ergab sich nämlich folgende, von der Versammlung als Ausdruck ihrer Ueberzeugung angenommene Schlussfolgerung: „Bei jenen Bahnen, deren Oberbau nach den neueren Erfahrungen, also mit starken, den Bahnverhältnissen entsprechenden Stahlschienen, kräftigen Laschen, Schwellen aus hartem Holz, oder bei weichen Schwellen mit einer grösseren Anzahl von Unterlagsplatten, der nöthigen Anzahl von Spurbolzen hergestellt und mit gutem, wasserdurchlässigem Material eingebettet ist, welcher in möglichst gutem Stande erhalten und nur von Maschinen befahren wird, welche den verschiedenen Geschwindigkeiten der Wagenzüge entsprechend construirt sind, entspricht der Widerstand des Gleisgestänges den Angriffen selbst noch bei der grösstzulässigen Geschwindigkeit und der grössten Zugsbelastung. Hingegen bei solchen Bahnen, deren Oberbau nicht in allen Theilen aus den besten Materialien und vollkommen ausgeführt ist, namentlich auch bei Verwendung von Locomotiven, welche für die geforderte Geschwindigkeit nicht construirt sind, erscheint der Gleichgewichtszustand zwischen Angriff und Widerstand im Gestänge schon erreicht oder zum Nachtheil des letzteren schon überschritten. Es ist daher zu empfehlen, beim Baue neuer Bahnen den Oberbau (durch Verwendung von Stahlschienen, eichenen Schwellen, oder bei Anwendung weicher Schwellen durch Vermehrung der Unterlagsplatten) so auszuführen, dass er den stets wachsenden Anforderungen eines lebhaften Betriebes in Bezug auf Widerstand vollkommen zu entsprechen vermag, ferner bei im Betriebe stehenden Bahnen je nach den Anlage- und Betriebsverhältnissen die in der Beantwortung der Frage A 3 [1]) aufgeführten Verbesserungen und Sicherheitsmassregeln in Anwendung zu bringen, bis zur genügenden Instandsetzung des Oberbaues aber durch entsprechende Auswahl der Locomotivengattung für die erforderliche Geschwindigkeit, Mässigung der letzteren durch Gewährung längerer Fahrzeiten

---

[1]) Es ist dies die oben gleichfalls angeführte, aus dem V. Supplementband S. 8 entnommene Frage.

und Kürzung der Bahnzüge den Angriff auf das Gleis möglichst abzuschwächen und durch sorgfältigste Unterhaltung der Bahn, baldigste Auswechselung schad- und mangelhafter Materialien am Gleise eintretende Mängel sofort zu beseitigen."

Die Technikerversammlungen in Stuttgart (1878) und zu Berlin (1884) bestätigen im Ganzen die Anschauungen ihrer Vorgängerinnen, indem auch sie als Mittel gegen Schienenverdrückung in erster Linie die Unterlagsplatten bezeichnen, welche mit Rücksicht auf Kantungen zwei Nagellöcher an der Innenseite erhalten sollen. Unter anderen Mitteln kommen in der Beantwortung mehrerer Verwaltungen die schon früher in's Auge gefassten Schienenschrauben wiederholt in Vorschlag, dagegen lauten die Erfahrungen mit den früher öfters empfohlenen sogenannten Spurbolzen, d. h. eisernen Rundstangen, welche zur Sicherung des richtigen Abstandes der beiden Schienenstränge von einander zwischen denselben angebracht wurden, nicht durchaus günstig. (VI. Supplementband, S. 60 und IX. Supplementband, S. 69).

Von der Wirksamkeit der Unterlagsplatten, soweit sie in der verlängerten Dauer der hölzernen Schwellen zum Ausdruck kommt, war schon früher bei den Holzunterlagen die Rede, auch wurde dort unter Anderem Bezug auf Versuche genommen, welche seit dem Jahre 1876 auf der Köln-Giessener Bahn, insbesondere in einer gecurvten Strecke von 377 *m* Halbmesser des sehr stark befahrenen Hauptgleises vorgenommen worden sind. Die ausserordentlich günstigen Erfolge hinsichtlich der Schonung der Schwellen erklären sich daraus, dass bei Anwendung von Unterlagsplatten sowohl das Nacharbeiten der schiefen Auflagerflächen für die Schienen, wie auch das wiederholte Umnageln wesentlich vermindert wird. Auf der erwähnten Versuchsstrecke mit ihren keineswegs günstigen Anlage- und Betriebsverhältnissen ergab sich aus siebenjährigen Beobachtungen die Eindrückung des Schienenfusses in die kiefernen Schwellen jährlich zu noch nicht 1 *mm*, wenn Platten angewendet waren, und mehr als das Doppelte dieses Masses, wenn der Schienenfuss unmittelbar auf der Schwelle ruhte; und Aehnliches wurde hinsichtlich des Umnagelns beobachtet. In der scharf ge-

krümmten Versuchsstrecke mussten die mit zwei Unterlagsplatten versehenen Föhrenschwellen erst nach fast siebenjährigem Bestande wegen allmählich erfolgter Erweiterung der Spur zum erstenmal umgenagelt werden, während ein Nachkappen auch damals noch nicht erforderlich war. Es wurde der bestimmte Schluss gezogen, dass auch Schwellen aus Föhrenholz bei Verwendung von Unterlagsplatten in scharfen Curven und unter starken Betriebseinwirkungen genügende Sicherheit gewähren, ja es erschien sogar wahrscheinlich, dass dieselben hierbei auch hinsichtlich der Kosten den eichenen Schwellen vorzuziehen seien. (Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 437, 449.)

Die Unterlagsplatten finden denn auch immer weitere Verbreitung und lassen andere Mittel zur Erhaltung der Spur, namentlich Spurstangen als entbehrlich erscheinen. Nur auf Bahnen, die wenige Krümmungen, aber diese mit kleinen Halbmessern besitzen, oder welche mit sehr verschiedener Geschwindigkeit befahren werden, sind hölzerne oder eiserne „Stützknaggen", d. h. kleine gegen den Schienenstrang gesetzte Streben und ganz vereinzelt auch eiserne Querschwellen zwischen den Holzschwellen mit Erfolg angewendet worden (IX. Supplementband, S. 72, Schlussfolgerung). Ja man kommt mehr und mehr dazu, auf sämmtlichen Schwellen, mindestens zur Schonung derselben, Unterlagsplatten anzuwenden und so den Hauptvorzug des Stuhlschienen-Oberbaues auch dem Oberbau mit breitfüssigen Schienen wenigstens theilweise zuzuführen. In die neuen Bestimmungen für die Preussischen Staatsbahnen ist diese Anordnung schon aufgenommen (Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 83).

Hand in Hand mit den Bestrebungen, die Widerstandsfähigkeit der Schienenstränge durch ausgiebige Verwendung der Unterlagsplatten zu erhöhen, gehen neuere Versuche mit den eigentlichen Befestigungsmitteln, Nägeln und Holzschrauben, welche hauptsächlich in der Absicht angestellt wurden, die Umstände klarzustellen, von welchen die Widerstandsmasse dieser Mittel an sich abhängig seien. Während z. B. die am unteren Ende stumpfen Nägel einer Vorbohrung bedürfen, können die mit einer meiselartigen Schneide versehenen Haken-

nägel unmittelbar in's Holz eingeschlagen werden. Es fragt sich nun, ob es sich nicht empfehle, auch die letzteren in besonders hergestellte Löcher einzubringen, um ein Aufspalten des Holzes zu vermeiden, überhaupt die Holzfasern zu schonen und dadurch die Haftfestigkeit der Nägel zu vermehren, sodann, welche von den beiden Nägelsorten, stumpfe oder schneidige, den Vorzug verdiene.

Ueber den Werth des Vorbohrens überhaupt hat sich eine unbestrittene Anschauung bis jetzt nicht gebildet. So sprachen sich auf der Technikerversammlung zu Stuttgart (1878) 31 Verwaltungen für das Vorbohren der harten Schwellen, 9 unbedingt dagegen aus, und von 45 Bahnverwaltungen empfahlen 16 theils bedingt, theils unbedingt das Vorbohren der Schwellen aus weichem Holz, während 25 Verwaltungen bedingungslos dagegen waren (VI. Supplementband, S. 31—33).

Vergleichende Versuche über die Leistungsfähigkeit prismatischer Hakennägel, und zwar zweier Arten mit vierseitigem Querschnitt und schneidigem Ende, sodann dreier Arten achteckiger Nägel, eine gleichfalls unten meiselartig gebildet, die anderen mit stumpfen Enden hat Oberinspector Hohenegger ausgeführt (Organ f. d. F. d. E. 1878, S. 61). Von allen diesen besass der auf der österreichischen Nordwestbahn neuerdings eingeführte stumpfe achtkantige Nagel in vorgebohrten Löchern von 12*mm* Weite sowohl bei harten wie bei weichen Schwellen entschieden die grösste Haftkraft, gleichviel ob den übrigen Nägeln vorgebohrt worden war oder nicht. Dieselbe Ueberlegenheit des Nordwestbahn-Nagels ergab sich, wenn man sich gestattete, einen Vergleich der für ihn erhaltenen Kraftmasse mit jenen anzustellen, welche auf der französischen Ostbahn bei ähnlichen Versuchen mit Schienenschrauben gefunden worden waren. Während sich nämlich die Haftkraft der Nägel und Schrauben in Schwellen aus weichem Holz ursprünglich nahezu gleich herausstellte und beim Nagel auch nach wiederholtem Eintreiben nicht stark verminderte, sank dieselbe bei der Schraube schon beim drittmaligen Einschrauben auf Null herab, indem die Holzfasern durch die scharfen Gewinde abgeschert wurden. Und Aehnliches stellte sich für Schwellen aus hartem Holze heraus.

Mit diesen sehr günstigen Erfahrungen stimmen nun allerdings andere nicht überein, welche Susemihl im Jahre 1881 machte, indem er fand, dass die vierkantigen Nägel den achtkantigen vorzuziehen seien (Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 103; einen Auszug siehe in Tabelle XIV); eine Entscheidung in dieser Sache ist demnach erst von weiteren Versuchen zu erwarten. Viel bestimmter hat sich dagegen das Urtheil über den Werth der Schienenschrauben gestaltet, nachdem man denselben seit einer Reihe von Jahren wieder grössere Aufmerksamkeit zugewendet hatte. Schon die Technikerversammlung zu Düsseldorf (1874), sodann diejenige zu Stuttgart (1878) konnten ausgedehnte Versuche mit solchen Befestigungsmitteln in Vorschlag bringen, da von einzelnen Verwaltungen entschieden günstige Erfahrungen damit gemacht worden waren. Besondere Versuche zum Vergleiche der Schrauben mit Nägeln haben diese Erfahrungen bestätigt, so insbesondere auch die oben angezogenen Versuche Susemihl's mit vier- und achtkantigen Hakennägeln einerseits und Schienenschrauben andererseits. Erstere, zwischen ihrem unteren Ende und der Unterkante des Hakens 13·5 *cm* lang, hatten einen quadratischen Querschnitt von 1·5 *cm* Seite, die stumpfen achtkantigen Nägel waren eben so lang und der Durchmesser des, ihrem Querschnitt einbeschriebenen Kreises betrug 1·8 *cm*, die 1·9 *cm* starken Schienenschrauben endlich besassen eine Schaftlänge von 12 *cm*. Die mit Schneide versehenen Nägel wurden unmittelbar in die hölzernen Schwellen eingeschlagen, die anderen und die Schrauben in vorgebohrte Löcher von 1·2 *cm* Weite eingesetzt, mit einer Hebelvorrichtung die Haftfestigkeit bestimmt und dabei die in Tabelle XIV zusammengestellten Werthe erhalten.

Hiernach war die Haftfestigkeit der vier- und achtkantigen Nägel nahezu gleich, aber bedeutend kleiner wie die der Schrauben; das Imprägniren der Schwellen mit Theeröl erwies sich dabei günstig für den Halt der Befestigungsmittel. Als man sodann aus den Kräften, welche zum Eindrücken der Nägel in's Holz mittelst einer hydraulischen Presse ausgeübt werden mussten, auf die Widerstandsfähigkeit derselben bei seitlichen Verdrückungen Schlüsse zog, fand man, dass

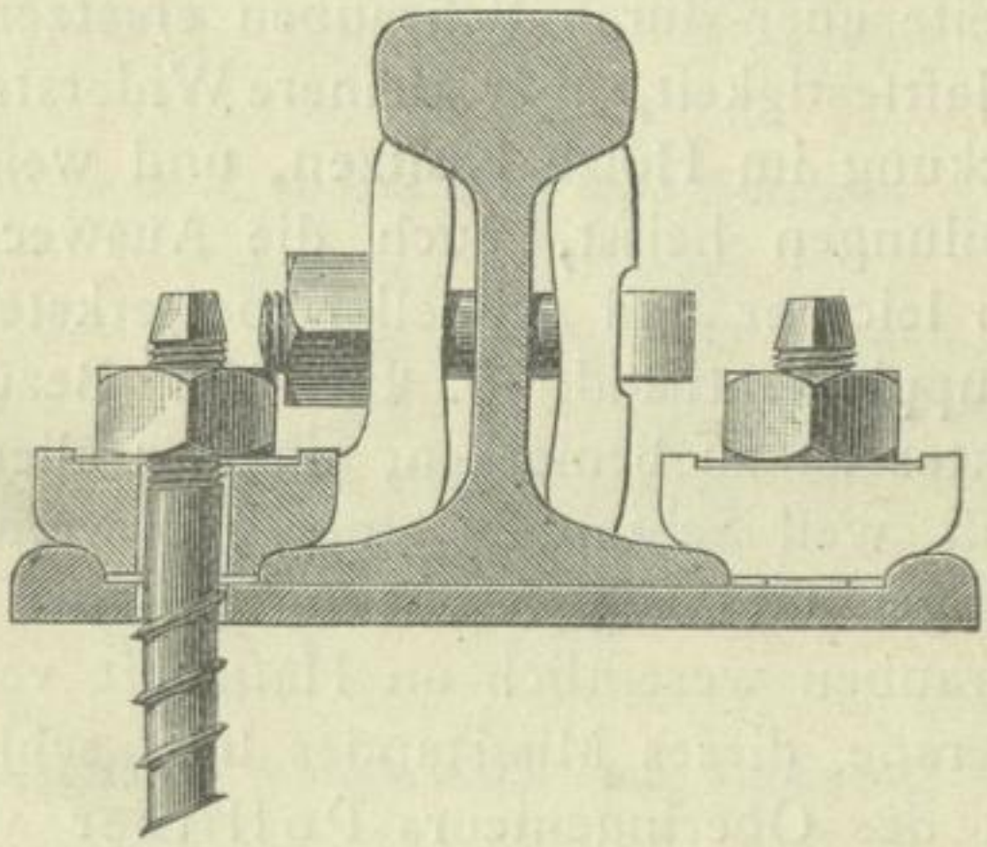
Tabelle XIV.

Nummer des Versuches	Haftfestigkeit bei 4kant. Nägeln in eichenen Schwellen: nicht impr. (kg)	4kant. Nägeln in eichenen Schwellen: imprägn. (kg)	8kant. Nägeln in eichenen Schwellen: nicht impr. (kg)	8kant. Nägeln in eichenen Schwellen: imprägn. (kg)	Schienenschrauben in eichenen Schwellen: nicht impr. (kg)	Schienenschrauben in eichenen Schwellen: imprägn. (kg)	Bemerkungen
	1. Frisch eingetrieben.						
1	3467	3435	3259	3843	4083	4531	Die Schwellen waren alle lufttrocken.
2	2903	3991	3259	3803	4191	4739	
3	3127	4031	3203	3719	4267	4835	
4	3255	3767	2939	3815	4299	4367	
5	3291	3131	2907	3535	4135	4555	
6	3147	3519	2995	3759	4211	4611	
Durchschnitt	3198	3646	3094	3746	4198	4606	
	2. In Gleisen 8 Monate nach dem Verlegen.						
1	—	—	2939	—	6239	—	Das Gleis war auf einzelnen Schwellen mit vierkantigen, sonst durchweg m. achtkantigen Nägeln befestigt.
2	—	—	2131	—	6743	—	
3	—	—	3415	—	6587	—	
4	—	—	2907	—	6371	—	
5	—	—	3115	—	5743	—	
6	—	—	3039	—	5835	—	
Durchschnitt	—	—	2924	—	6253	—	
	3. In Gleisen 20 Monate nach dem Verlegen.						
1	2231	2527	2567	2771	—	—	
2	1967	2567	2567	3123	—	—	
3	2959	2867	1979	3319	—	—	
4	2215	2867	2067	2867	—	—	
5	2743	3007	2859	3095	—	—	
6	2561	2977	2851	2571	—	—	
Durchschnitt	2446	2977	2481	2958	—	—	
	4. In Gleisen 45 Monate nach dem Verlegen.						
1	2199	—	—	—	3887	—	Das Gleis war an der Innenseite mit Schienenschrauben, an der Aussenseite m. vierkantigen Nägeln befestigt.
2	2671	—	—	—	5339	—	
3	1707	—	—	—	4547	—	
4	2291	—	—	—	5827	—	
5	2059	—	—	—	5075	—	
6	1807	—	—	—	3663	—	
Durchschnitt	2122	—	—	—	4723	—	

in dieser Beziehung der vierkantige, unmittelbar eingeschlagene Nagel höher stehe wie der in vorgebohrte Löcher einzutreibende Nagel mit achteckigem Querschnitte. Der Schluss, zu welchem Susemihl nach allen diesen Ergebnissen und besonderen Erfahrungen beim Bahnbetriebe gelangte, lautete dahin, dass die beste Befestigung der Schienen auf hölzernen Querschwellen erzielt werde, wenn man an der Innenseite der Gleisstränge Schrauben und an der Aussenseite vierkantige Hakennägel mit Schneiden verwende. Damit stimmen bemerkenswertherweise nach den Mittheilungen für die Berliner Technikerversammlung (1884) eine Anzahl Bahnverwaltungen überein, indem sie unter gleichzeitiger Verwendung von Unterlagsplatten die Nägel aussen am Strange beibehalten, an der Innenseite aber durch Schrauben ersetzen, weil diese eine grössere Haftfestigkeit, aber kleinere Widerstandsfähigkeit gegen Verdrückung im Holze besitzen, und weil, wie es in einigen Mittheilungen heisst, auch die Auswechselung der Schienen dann leichter und schneller bewerkstelligt werden könne (IX. Supplementband, S. 25—27). Bezüglich dieses letzteren Punktes ist zu bemerken, dass er allerdings in die Wagschale fällt, weil Schrauben einen grösseren Zeitaufwand als Nägel bedingen und zugleich beim Ausziehen und wiederholten Einschrauben wesentlich an Haftkraft verlieren. Zur Beseitigung gerade dieses Missstandes liegt schliesslich noch ein Vorschlag des Oberingenieurs Pollitzer vor, welchen er in einer Abhandlung „Holz- oder Eisenschwellen" im Organ f. d. F. d. E. 1883, S. 136 machte. Demnach soll (siehe Fig. 61) auf jede Schienenschraube ein viereckiges Klemmplättchen aufgesteckt werden, gegen welches sich der Schienenfuss lehnt, während er von demselben wie durch einen Hakennagel gefasst wird. Das Plättchen selbst würde durch eine Schraubenmutter niedergepresst, deren Spindelgewinde an dem oberen Theile des Holzschraubenschaftes angeschnitten wäre. Der hierdurch zu erzielende Vortheil liegt klar vor Augen: Indem sich der Druck des Schienenfusses nur durch die Breitseite des Plättchens übertragen und nicht unmittelbar auf den Schraubenschaft einwirken kann, ergiebt sich eine bemerkenswerthe Schonung desselben, und in demselben Sinne günstig

und zugleich die Dauer der Schwelle erhöhend wirkt der Umstand, dass beim Auswechseln der Schiene die Schraubenschäfte stecken bleiben können und nur Muttern sammt Deckplättchen abgenommen zu werden brauchen. Die erforderliche genaue Vorbohrung der Löcher soll mit Hilfe einer besonderen Bügelvorrichtung geschehen. Fasst man nun zum Schlusse der Betrachtungen über die Befestigungsmittel der Schienen das Gesammtergebniss aller auf Vermehrung des Gleiswiderstandes abzielenden Bestrebungen nochmals zusammen, so kann man sagen, dass es durch Verwendung von Unterlagsplatten in grösserer Anzahl, durch Vermehrung der

Fig. 61.



Nägel oder Beiziehung von Schienenschrauben, endlich nicht zum mindesten durch Benützung steifer Schienen von grosser Verwindungsfestigkeit allerdings gelungen ist, eine ausreichende Befestigung der Gleisstränge auf den hölzernen Querschwellen zu erzielen.

13. Mittel gegen Längsverschiebung der Schienen auf den Unterlagen. An allen befahrenen Gleisen beobachtet man eine Längsverschiebung der Schienen auf ihren Unterlagen, meist in der Richtung der Fahrt, welche aufzuheben oder wenigstens einzuschränken, besondere Mittel in Anwendung gebracht werden müssen. Sie tritt namentlich auf jenen Gleisen hervor, welche stets nach derselben Richtung befahren werden, wie auch in geneigten Strecken, wo

stark gebremst werden muss. Der Grund dieser Erscheinung ist hauptsächlich darin zu suchen, dass jedes Rad beim Uebergange über eine Trennungsfuge des Stranges einen Stoss auf das entgegenstehende Schienenende ausübt und sämmtliche Laufräder der Fahrzeuge bei ihrer Bewegung die Schienen mit sich fortzuführen suchen. Zwar ist der in solcher Weise ausgeübte Stoss und die zwischen Radkranz und Schienenkopf auftretende Reibung an sich nicht sehr beträchtlich, allein bei den starken Erschütterungen des Gestänges kommen doch schliesslich sichtbare Wirkungen zu Stande. Unterstützt oder vermindert werden die genannten Kraftäusserungen in manchen Fällen durch die Wirkung der gebremsten Räder, das Gewicht der Schienenstränge u. dergl. m. Das gewöhnlichste und einfachste Mittel zur Verhütung solcher Längsbewegungen (des Wanderns) der breitfüssigen Schienen, welche unmittelbar auf die Unterlagen aufgesetzt werden, sind die sogenannten Einklinkungen, nämlich kleine Auskerbungen des Schienenfusses, in welche der Schaft eines Hakennagels oder einer Schraube hineinreicht, so dass das Gestänge Stützpunkte an den ziemlich fest liegenden Schwellen findet.

Man bringt diese Kerben entweder an den Enden oder gegen die Mitte der Schienen hin an und sie erhalten eine eckige oder rundliche Gestalt. Leider musste man die Erfahrung machen, dass Brüche von Stahlschienen öfters in den Einklinkungsstellen ihren Anfang nahmen und man gelangte allmählich zu der Erkenntniss, dass das Flussmetall die gewöhnlich übliche Herstellungsweise der Kerben durch Auspressen mittelst Stahlstempeln im kalten Zustande der Schienen (durch Stanzen) nicht vertrage, sondern dabei bedenkliche Verletzungen in Form sehr feiner, dem unbewaffneten Auge nicht bemerklicher Haarrisse erleide. Man kam in Folge dessen dazu, für Stahlschienen nur runde Kerben zu verwenden und dieselben sorgfältiger, auf weniger gewaltsame Weise auszuführen, schliesslich schaffte man sie auf den meisten Bahnlinien ganz ab, nachdem man sich überzeugt hatte, dass nicht allzuschwer passende Ersatzmittel für dieselben gefunden werden könnten.

Nur einzelne Bahnverwaltungen suchten die Einklinkungen für die Stahlschienen beizubehalten und es gelang ihnen auch nach neueren Mittheilungen, die Schädlichkeit derselben zu beseitigen, indem sie die Kerben durch Fraisen oder durch Stanzen der vorher rothwarm gemachten Schiene herstellten. In einer hierauf bezüglichen Schlussfolgerung der Berliner Technikerversammlung vom Jahre 1884 heisst es wörtlich:

„Sehr bemerkenswerth ist aber auch die Thatsache, dass das älteste und einfachste Mittel, die Einklinkung im Schienenfusse, deren Anwendung bei Stahlschienen bisher fast allgemein für unzulässig gehalten wurde, von den Verwaltungen einiger grösserer Bahnnetze auch bei diesen mit bestem Erfolge angewendet wird. Weitere Versuche auf Grund dieser neuen Erfahrungen werden empfohlen" (IX. Supplementband, S. 76).

Was nun die Mittel zum Ersatze der Einklinkungen betrifft, so sind neben anderen namentlich die folgenden versucht worden: 1. Der Stosswinkel, welcher nach dem Vorgange der k. k. Kaiser Ferdinands-Nordbahn ursprünglich für den ruhenden Stoss bestimmt war. Er besteht in einem kurzen Winkelstücke, dessen lothrecht stehender Schenkel auf die eine, gewöhnliche Lasche aufgelegt und von einzelnen Laschenbolzen festgehalten wird, während sich der wagrechte Schenkel desselben zwischen die zur Befestigung der Schienenenden auf den Schwellen dienenden Hakennägel oder an einen derselben legt. 2. Die Vorstossplatten, kleine Plättchen verschiedener Form, welche mit Nägeln oder Schrauben auf den Schwellen festgemacht werden, dadurch Stützpunkte für das Ende einer Lasche abgeben und das Verschieben des Schienenstranges nach einer Seite hin verhüten. 3. Winkellaschen, Fig. 52 und 53, welche sich mit ihrem liegenden Schenkel entweder gegen die zur Befestigung der Schienen dienenden Nägel, Schrauben oder Unterlagsplatten anlegen, oder welche in diesem Schenkel Einklinkungen enthalten zur Aufnahme der Schäfte von Nägeln u. dergl., oder von Bolzendeckplättchen, wie sie im eisernen Oberbau zur Befestigung des Schienenfusses dienen.

Ueber den Werth dieser Mittel kann man nach den Aeusserungen der Stuttgarter Technikerversammlung 1876 (VI. Supplementband, S. 3 bis 5) und der schon angezogenen Versammlung zu Berlin annehmen, dass sich geklinkte Winkellaschen bis jetzt am besten bewährt haben. Auf letzterer Versammlung wurde ausserdem hervorgehoben, dass neben besonderen Befestigungsmitteln auch dem guten Zustande des Oberbaues ein günstiger Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit gegen Längsverschiebung zuzuschreiben sei und in dieser Beziehung insbesondere auf eine gute Befestigung der Schienen auf den Schwellen, auf die radiale Lage der Schwellen in gekrümmten Gleisstrecken und eine gute Einbettung derselben gesehen werden müsse.

14. Mittel zur Befestigung der Stuhlschienen auf den Unterlagen. Die Verbindung der Stuhlschienen mit

Fig. 62a.

Fig. 62b.

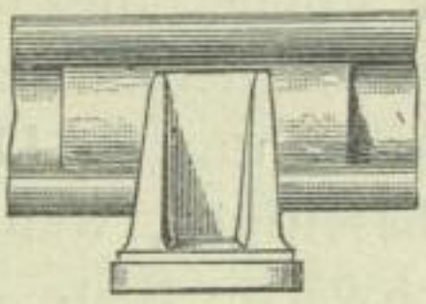
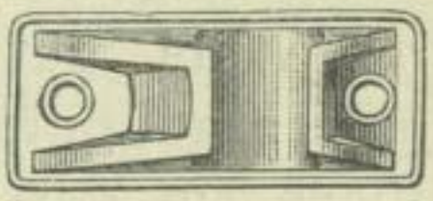


Fig. 62c.



den Unterlagen geschieht, wie schon wiederholt gelegentlich hervorgehoben wurde, mittelst sogenannter Stühle, welche in der Regel in Eisen gegossen werden. Es erübrigt nun, das Wichtigste über deren Form sowie die Mittel zur Befestigung der Schienen in den Stühlen und dieser selbst auf den Unterlagen nachzutragen. Von den verschiedenartigen vorkommenden Stuhlformen ist eine öfters beliebte in Fig. 62 versinnlicht. Der Stuhl besteht hiernach aus einer, mit Löchern zur Befestigung versehenen Grundplatte, auf welcher sich zwei Backen mit seitlichen Verstärkungsrippen erheben. Zwischen dieselben wird die Schiene eingelegt und sie erhält, indem ihr unterer Kopf im Stuhle ruht und der Steg sich gegen den einen Backen lehnt, die gewünschte Schiefstellung, so dass die Unterfläche des Stuhles wagrecht auf die Schwelle oder den Quader aufgesetzt werden kann. Die Festhaltung der Schiene in ihrer Lage geschieht dann durch einen, von der Seite her zwischen sie und den anderen Stuhlbacken

eingetriebenen Keil. Ursprünglich wurde die Befestigung bei etwas anderer Form des Stuhles in sehr einfacher, aber wenig entsprechender Weise durch Nägel und Schraubenbolzen erzielt, auch die von George Stephenson zuerst auf der Stockton-Darlington-Bahn versuchte Befestigung mit unelastischen Eisenkeilen konnte die auf sie gesetzten Hoffnungen nicht erfüllen, indem sich die unelastischen Stücke unter den Erschütterungen und Verbiegungen des Gleisstrangs beständig losrüttelten.

Erst bei dem von Robert Stephenson, wahrscheinlich im Jahre 1836 eingeführten Holzkeil trat dieser Missstand zurück, allerdings ein anderer dafür in den Vordergrund, dass sich nämlich seine Abmessungen sehr abhängig von den Witterungsverhältnissen erwiesen, indem er bei nassem Wetter aufquoll und dabei öfters die Stühle zersprengte und beim Schwinden in der Sonnenhitze unwirksam wurde. Doch gelang es in der Folge, diese schlechte Eigenschaft durch Wahl gut ausgetrockneten harten Holzes, welches künstlich zusammengepresst und in Oel gesotten wurde, in genügendem Masse zu beseitigen, wenngleich die Keilbefestigung bis heute die schwache Seite des Stuhlschienenoberbaues geblieben ist. In neuerer Zeit hat Dering federnde Keile empfohlen, welche aus Stahlblech in Form der gewöhnlichen Holzkeile zusammengebogen werden, auch hat man mancherlei andere Besserungsversuche angestellt, z. B. bei jedem Stuhle zwei Keile angeordnet, welche von beiden Seiten her eingetrieben und durch einen, beide der Länge nach durchdringenden Schraubenbolzen zusammengezogen werden u. dergl. m., ohne dass jedoch der einfache Holzkeil bis jetzt zurückgedrängt worden wäre.

Von besonderen Stuhlformen mögen hier noch zwei Erwähnung finden. Da man bemerkt hatte, dass sich an der Berührungsfläche des unteren Schienenkopfes mit der Stuhlsohle immer kleine Eindrücke ergaben, welche nach dem Umwenden der Schiene beim Befahren unangenehm fühlbar wurden und weil auch der abgenützte Kopf nicht mehr sicher genug im Stuhle ruhte, suchte man zuweilen diese Auflagerung ganz zu vermeiden, indem man die Schienen-

im Stuhle so zu sagen aufhing, das heisst den befahrenen Kopf von unten stützte und ausserdem den Schienenstrang einerseits durch die Backen, andererseits durch den Befestigungskeil in der richtigen Lage erhielt. Dabei fielen jedoch die Stühle ziemlich breit und schwer aus, auch musste an ihnen ein beweglicher Theil angebracht werden, um die Schienen von oben einlegen zu können; durch beides erhöhten sich ihre Kosten und die gewünschte Einfachheit der Anordnung ging verloren, so dass dieselben, hauptsächlich wohl aus diesem Grunde, nur wenig Verbreitung gefunden haben. In höherem Grade war dies bei den zweitheiligen Stühlen aus Guss- oder Schmiedeisen der Fall, welche eine Art Winkellaschen darstellten, indem sie sich, wie diese, zwischen die Köpfe der Schienen einlegten und mit denselben verschraubt wurden, während ihre wagrechten Schenkel auf den Unterlagen ruhend, mit diesen verbunden waren.

Was die Verbindung der Stühle mit den Unterlagen betrifft, so schlug man zuerst eiserne Nägel einfach durch entsprechend weite Löcher in der Bodenplatte des Stuhles oder verwendete statt dessen auch Schrauben verschiedener Art. Man musste jedoch die Erfahrung machen, dass die verhältnissmässig dünnen Eisenschäfte, wie auch die Löcher selbst bald ausgewetzt wurden und damit jede feste Verbindung verloren ging. Man kam deshalb dahin, zuerst bei einem Gleis der London-Birmingham-Bahn (1833), Nägel (Dübel) aus hartem, gepressten und sonst passend zubereiteten Holze zu verwenden, welche in der Stärke von 3 bis 5 *cm* durch die nach unten etwas verengten Löcher des Stuhles in entsprechende Bohrlöcher der Unterlage reichten. In diese Dübel wurden zuweilen noch eiserne Nägel geschlagen, welche mit breitem Kopfe die ganze Hirnfläche derselben bedeckten und gegen atmosphärische Einwirkungen schützten, doch begnügte man sich öfters mit den einfachen Holznägeln. Andere Formen von Nägeln, so z. B. hohle, aus Stahlblech zusammengebogene, haben eine überwiegende Bedeutung nicht gefunden. Der Längsverschiebung des Gestänges endlich wird gewöhnlich nur durch die Richtung, in welcher die Keile eingeschlagen werden, vor-

gebeugt, oder man nietet in den Schienenstrang kleine Zapfen ein, welche sich an den Stuhl anlehnen u. dergl. m.

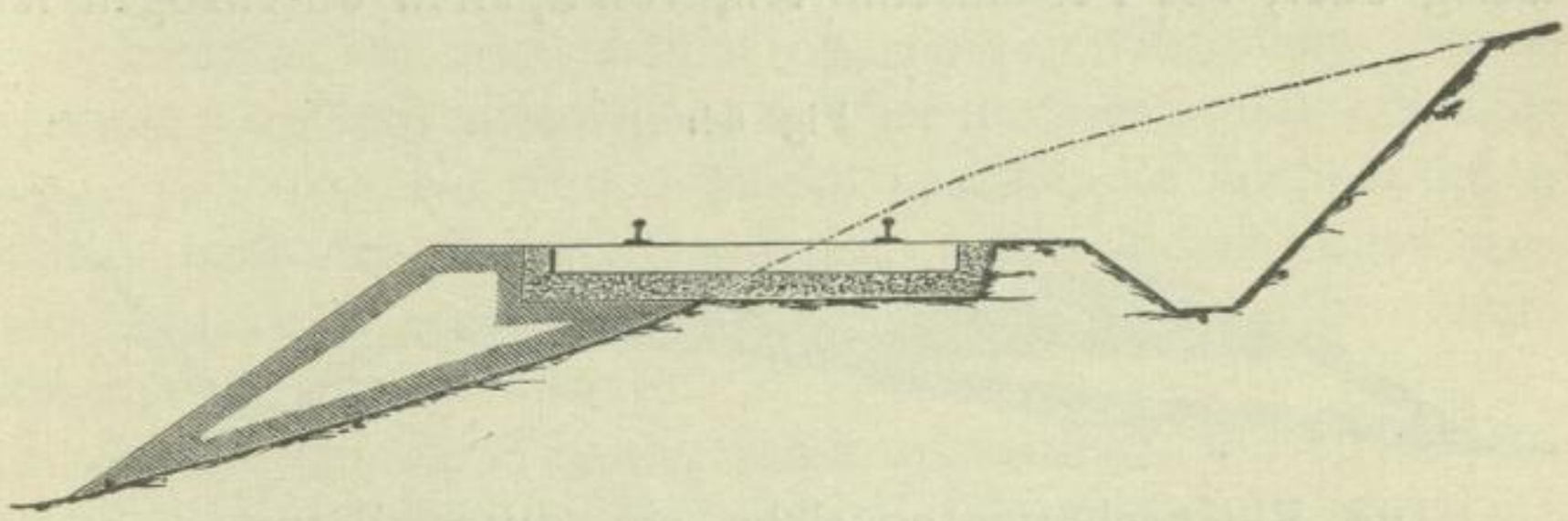
Die Bettung.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass belastete Hölzer oder Quader, selbst von grosser Grundfläche, leicht in den sie stützenden Boden einsinken, wenn dieser bei Wasserzudrang erweicht und schlüpferig wird, und dann das Bestreben hat, sich unter denselben hervor und an ihren Seitenflächen in die Höhe zu quetschen; und dass selbst schmale Unterlager ziemlich sicher liegen, wenn die oberen Schichten des Bodens eine, unter allen Witterungsverhältnissen starke Reibung an ihnen besitzen. Wenn ausserdem die Umgebung solcher Unterlager von Grundwasser durchzogen ist oder atmosphärische Niederschläge dortselbst längere Zeit zurückgehalten werden, so ergeben sich bei Frostwetter und später wieder beim Aufthauen sehr bedenkliche Lagenveränderungen dieser Constructionstheile, und Hölzer verfallen dabei sehr schnell Entmischungsvorgängen, welche unter dem Namen „Fäulniss" bekannt sind. Der Oberbau der Eisenbahnen verlangt deshalb einen eigenen Bettungskörper, das heisst die Schienenunterlagen müssen in eine besondere Schichte passenden Materiales eingelegt werden, welche ihnen eine, unter allen Umständen widerstandsfähige Lagerfläche bietet, durch deren Vermittlung die Last der Fahrzeuge in ausreichendem Masse über den Unterbau vertheilt wird und welche das von irgend woher eindringende Wasser möglichst rasch nach unten hin und seitwärts abführt.

15. Form und Stärke der Bettung. Bettungsmaterial. Schon bei den ältesten Spurbahnen findet sich eine Art Bettung, indem unter den hölzernen Langschwellen Gräben ausgehoben und mit wasserdurchlässigem Material gefüllt wurden; nur bei den Steinquadern glaubte man zuerst eine solche entbehren zu können, bis man durch Erfahrung eines Besseren belehrt wurde. Auch die amerikanischen Ingenieure konnten bei allem Streben nach möglichster Vereinfachung der ganzen Gleisanordnung doch der Bettung nicht entbehren. Die von ihnen ausgebildete Form, welche in der Folge unter dem

Namen: „Amerikanische Bettung" oder „Kofferbettung" bekannt wurde, hat auf den älteren deutschen Bahnen vielfach Verwendung gefunden. In Fig. 63 ist dieselbe dargestellt: Man schüttet demnach die Dämme mit dem gewöhnlichen Füllmaterial bis zur Schwellenoberfläche auf und spart nur für das Gleis einen im Uebrigen mit Bettungsmaterial zu füllenden Raum (Koffer) aus, welcher bei mässiger Tiefe eine Breite, wenig grösser wie die Schwellenlänge erhält. In ähnlicher Weise wird in den Einschnitten verfahren, indem man dieselben zuerst nur bis auf Schwellenoberfläche (Planiehöhe) aushebt und dann erst den Koffer nachnimmt, seitlich aber Streifen aus gewachsenem Boden stehen lässt. Um zu verhindern, dass das in's Innere des Koffers eindringende

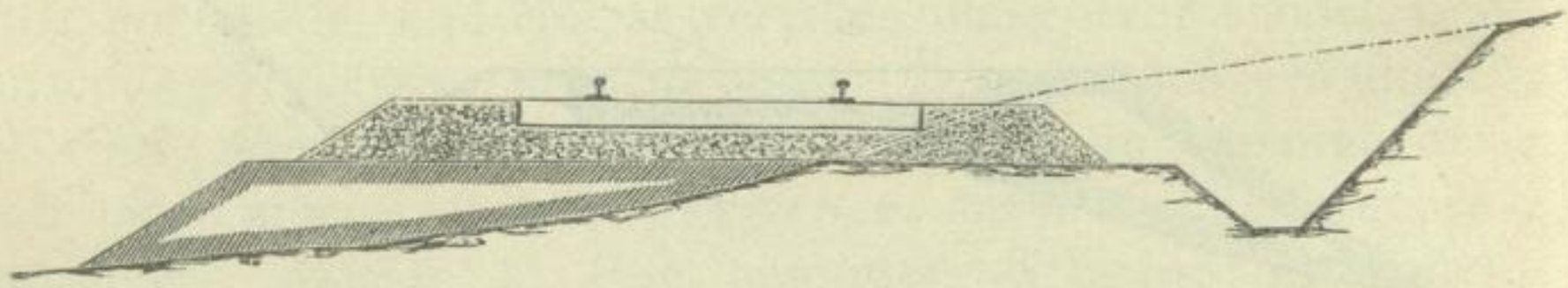
Fig. 63.



Wasser darin stehen bleibt und zur Durchweichung des Untergrundes Veranlassung giebt, erhält die Sohle der Länge nach Gefälle und Gegengefälle und von Zeit zu Zeit werden Abführungen nach der Seite, gegen die Bahngräben hin, oder nach den Dammböschungen in Form von Sickerdohlen, das heisst Gräben, welche mit Steinen oder Kies ausgefüllt sind, hergestellt. Es ist nicht schwer einzusehen, dass eine solche Art der Entwässerung nicht besonders wirksam sein kann, man braucht blos daran zu denken, dass überhaupt nur schwache Längsgefälle zur Ausführung kommen können und dieselben beim Setzen der Aufdämmungen gewöhnlich ganz verloren gehen, auch dass die Sickerdohlen bald verschlammen und dann ihrem Zwecke nicht mehr entsprechen. In der That sind bei dieser Art der Bettung oft genug Durchweichungen des Untergrundes mit allen ihren schlimmen Folgen

beobachtet worden und man ist deshalb wohl überall wieder von ihr abgegangen und hat sie durch die zweckmässigere englische Bettung (Fig. 64) ersetzt. Bei dieser reicht der Unterbau der Dämme und Einschnitte nur bis etwa 0·5 *m* unter Schienenunterfläche und wird nach oben durch zwei, von der Mitte aus nach beiden Seiten mit 4 bis 5 Procent fallende Ebenen dachförmig, in manchen Fällen auch durch eine einzige geneigte Ebene begrenzt, worauf dann die nach der Seite hin vollkommen freiliegende Bettungsschichte zu liegen kommt. Bei solcher Anordnung kann das von aussen eindringende und den Bettungskörper durchsickernde Wasser auf den geneigten Flächen des Unterbaues an jeder Stelle ohne Hinderniss austreten, wenn es sich nicht im Unterbau selbst verliert, falls dieser nämlich im Ganzen wasserdurchlässig oder, bei Felseinschnitten, von Spalten durchzogen ist.

Fig. 64.



Die Eigenschaften, welche ein gutes Bettungsmaterial haben soll, ergeben sich aus den vorstehenden Darlegungen von selbst: Es muss genügende Festigkeit, Härte und Witterungsbeständigkeit besitzen, um die belasteten Gleise unter allen Verhältnissen mit Sicherheit tragen zu können und beim Unterstopfen der Unterlagen durch die dabei gebrauchten Werkzeuge nicht zu leiden, zwischen ihm und den Unterlagen soll eine starke Reibung vorhanden sein, damit nicht leicht Verschiebungen derselben, besonders nach der Seite eintreten, und endlich muss es die Eigenschaft der Durchlässigkeit für Wasser haben, damit sich dasselbe so rasch wie möglich aus der Umgebung der Unterlagen entfernen kann. Am besten eignen sich zur Herstellung der Bettung kleingeschlagene Steine (Steingeschläg, Knack) von möglichst gleicher Grösse, sodann Kies, am besten aus Flüssen gewonnen, mit etwa ein Drittel Sandgehalt, Grubenkies ist meistens

durch erdige Theile verunreinigt und verlangt dann eine besondere Reinigung durch Waschen; endlich kommt grober Sand zur Verwendung und in selteneren Fällen auch Hochofenschlacken u. dergl. (Eine Abhandlung: „Oberbauschotter und dessen Bewerthung für die Gleiserhaltung," Bemerkungen und Erfahrungen aus dem praktischen Bahnerhaltungsdienst von J. Schubert, siehe in der Wochenschrift d. Oesterr. I. u. A. V. 1876, Nr. 39 u. 40.)

Bezüglich der Abmessungen, welche die Bettungsschichte erhalten muss, ist zunächst anzuführen, dass ihre Dicke von der Art des Untergrundes und der Güte des Bettungsmaterials abhängt. Je weniger tragfähig der Unterbau ist, desto stärker muss die Bettung zur Erzielung ausreichender Druckvertheilung genommen werden, dabei empfiehlt es sich in manchen Fällen, um ihr Eindrücken in den darunter liegenden Erdkörper zu verhüten, sie auf einen sogenannten Grundbau (Steinpackung, Gestück) aufzulegen, welcher in einer Schichte Bruchsteine von 0·15 bis 0·20 *m* Stärke besteht, die hochkantig in Reihen quer zur Bahnrichtung mit wechselnden Fugen zusammengestellt werden, worauf man die Zwischenräume zwischen denselben verkeilt.

Die Stärke der Bettung muss ausserdem um so bedeutender sein, je weniger gut sich die Entwässerung des Unterbaues durchführen lässt, um die Wirkungen des Frostes, welche sich durch stellenweises Heben des Gleises und beim Aufthauen durch Senkungen ebendaselbst kennzeichnen, möglichst abzuschwächen. Deshalb verlangt die Herstellung der Bettung in Einschnitten gewöhnlich grössere Sorgfalt wie auf Dämmen. Als eine wichtige einschlägige Regel kann weiter angeführt werden, dass Ansammlungen von Grund- und Niederschlagswasser oberhalb der Frostlinie auch im Unterbau auf alle Weise vermieden werden müssen. In Lehmeinschnitten wird gewöhnlich eine künstliche Entwässerung der Sohle nothwendig, und Dämme aus thonigen Bodenarten erhalten zu oberst als Unterlage für den Bettungskörper eine hinreichend starke Schichte Sand u. dergl. Bei höheren Dämmen kann diese Massregel allerdings aus dem Grunde unterbleiben, weil das Zusammensetzen derselben ein länger andauerndes Nach-

füllen von Bettungsmaterial verlangt, so dass sich der obere Theil des Dammes von selbst aus durchlässigen Theilen bildet, ja in solchen Fällen empfiehlt es sich, zur Verminderung der jedenfalls hohen Kosten, zuerst weniger gutes Material anzuwenden.

Weitere Anhaltspunkte für die Höhe des Bettungskörpers gibt die Forderung, dass das Unterstopfen der Unterlagen noch gut durchführbar sein soll, wofür eine Schichte von mindestens 0·10 *m* Dicke unterhalb der Schwellen oder Quader als nothwendig bezeichnet wird. Die T. V. verlangen im §. 10 (Redaction nach den Beschlüssen der Technikerversammlung zu Graz): „Die Bahnbettung soll unter die Unterkante der Schwellen mindestens 200 *mm* hinabreichen."

Die Breite der Bettung endlich ist ein erfahrungsgemäss festzustellendes Mass, welches von den allgemeinen Eigenschaften des Bettungsmaterials abhängig ist und so angenommen werden muss, dass das Gleis gegen etwaige Rutschungen der aufgeschütteten Massen sichergestellt ist. § 8 der T. V. bestimmt in dieser Hinsicht: „Die Kronenbreite des Bahnkörpers ist so zu bemessen, dass die Entfernung des Schnittpunktes einer durch die Unterkante der Schienen gelegten Geraden mit der Böschungslinie von der Mitte des nächsten Gleises nicht unter 2 *m* beträgt," womit vor den Schwellenköpfen ein Bettungsstreifen von wenigstens 0·75 *m* und als geringstes Mass für die Kronenbreite einer normalspurigen, eingleisigen Bahn $2 . 2 = 4\,m$ festgesetzt ist. Die Verhütung von Seitenverschiebungen des Gleises im Bettungskörper braucht, wie Versuche v. Weber's dargethan haben, bei Feststellung dieses Masses nicht in Betracht gezogen zu werden. Einige Worte über diese Versuche mögen deshalb die Betrachtungen über die Bettung des älteren Oberbaues schliessen. Neben den schon bei anderer Gelegenheit besprochenen Versuchen stellte v. Weber auch solche über die Widerstandsfähigkeit des Gleises gegen Bestrebungen an, welche dasselbe in seiner Gesammtheit seitlich zu verschieben suchen (Stab. etc. S. 124 ff). Indem er einzelne Schwellen und das zusammenhängende Gleis im unbelasteten und belasteten Zustande mittelst einer hydraulischen Presse zu ver-

schieben suchte, stellte er dessen geringe seitliche Widerstandsfähigkeit fest. Er zeigte, dass kleinere Drücke, als sich voraussichtlich beim Befahren unter der Einwirkung der Räder ergeben, ausreichend seien, um den Verband zwischen dem nicht belasteten Gleis und der Bettung zu lösen und dass die Art des Bettungsmaterials dabei ohne wesentlichen Einfluss bleibe. (Diese letztere Bemerkung darf allerdings nicht zu allgemein gefasst werden, indem es sicherlich nicht einerlei ist, ob man die Bettung aus rauhem, scharfkantigem Schlägelschotter oder aus hierzu wenig geeigneten sandfreien, runden Geröllstücken herstellt.) Weiter ergab sich aus den Versuchen, was für die vorausstehenden Betrachtungen über die Bettung von besonderer Bedeutung ist, dass durch Umgeben der Schwellenköpfe mit festgestampftem Bettungsmateriale die seitliche Widerstandsfähigkeit nicht sonderlich vergrössert werde und die sogenannten Vorschlagpfähle, das sind starke Pfähle, welche man zur Festhaltung der Schwellen dicht vor denselben hinreichend tief einzurammen pflegte, in leichtem Boden nichts nützen, mehr zwar in schwerem (festen) Boden, dass aber auch im letzteren Falle ihre Kosten nicht im richtigen Verhältnisse zur Leistung stehen. Und schliesslich ergab sich auch bei diesen Versuchen auf's deutlichste, dass das erforderliche Mass von Widerstandsfähigkeit der Gleise erst bei Belastung derselben durch die Fahrzeuge gewonnen werde.

Lage der Schienenstränge gegen einander.

16. Spurweite der Hauptbahnen. Unter Spurweite eines Gleises versteht man die gegenseitige Entfernung der beiden Schienenstränge, und zwar senkrecht zwischen den Innenkanten derselben gemessen. Es ist nun eine höchst merkwürdige Thatsache, dass die Spurweite des grössten Theils der Eisenbahnen auf der Erde 1·435 *m* oder 4 Fuss $8^1/_2$ Zoll engl. beträgt. Dieses auffallende, unrunde Mass ergab sich seinerzeit aus den gesetzlich bestimmten Abmessungen der englischen Landstrassen-Fuhrwerke auf Gleisstrassen mit gusseisernen Plattenschienen, zwischen deren erhöhten Seitenrändern die Räder liefen, und es wurde zunächst von Stephenson ohne irgend welche zwingende Veranlassung auf

die Gleise aus hochkantigen Schienen hinübergenommen. Ein Theil der englischen Ingenieure schloss sich ihm hierin sofort an, ein anderer Theil ging seine eigenen Wege, so dass bald sieben verschiedene Spurmasse auf den englischen Bahnen im Gebrauche standen, darunter die von Brunel auf der Great-Western-Bahn eingeführte Riesenspur von 7 Fuss gleich 2·13 *m*. Das Missliche dieser Verschiedenheit trat beim Zusammenschluss der einzelnen Bahnen scharf hervor, indem man zur Ermöglichung des Wagenüberganges von einer Bahn zur anderen allerlei Hilfsmittel anwenden musste, z. B. einen dritten Schienenstrang zu verlegen, versetzbare Wagenkästen zu benützen u. dgl. m. Eine zur Regelung der Angelegenheit eingesetzte Commission entschied sich endlich im Jahre 1845 für das von Stephenson empfohlene Mass von 1·435 *m*, welches unter dem Namen „Normalspur" in der Folge alle übrigen, davon abweichenden Spurweiten verdrängte und schliesslich die allein herrschende wurde.

In den übrigen Ländern Europas entwickelte sich die Sache im Ganzen einfacher, indem die meisten derselben neben vielem Anderen auch die Normalspur von den Engländern überkamen, die in Folge dessen sogleich ein bedeutendes Uebergewicht erhielt, welches überall dort, wo ein Unterschied in der Spurweite überhaupt in Frage kam, den Ausschlag geben musste. Eine kleine Abweichung zeigen die französischen Bahnen, indem man dort von vorneherein den senkrechten Abstand der Gleisstränge von Mitte zu Mitte auf 1·5 *m* festsetzte, so dass sich das Mass für die eigentliche Spurweite je nach der Dicke des Schienenkopfes zu 1·44 bis 1·45 *m* ergab; bedeutendere Abweichungen aber kamen in einigen Ländern, so in Irland, Spanien, Portugal und Russland aus verschiedenen, nicht immer klar zu übersehenden Gründen zu Stande. Und was endlich die übrigen Welttheile betrifft, so sind zwar auch dort verschiedene Spurmasse üblich geworden, den Vorrang nimmt aber ebenfalls die Stephenson'sche Normalspur ein.

Für die Hauptbahnen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen gilt der erste Absatz des nachstehenden § 4 der Techn. Vereinb. in allseitig bindender Weise:

„Die normale Spurweite ist 1·435 *m* im Lichten der Schienen. Abweichungen von diesem Masse — als Folge des Betriebs — sind bis zu 3 *mm* darunter und 6 *mm* darüber zulässig."

Hiernach, wie auch durch den § 7:

„Die Gleise der freien Bahn dürfen von Mitte zu Mitte nicht weniger als 3·500 *m* von einander entfernt sein. Treten den vorhandenen Doppelgleisen noch andere Bahnen hinzu, so ist deren Entfernung von den bestehenden so wie unter sich, nicht unter 4 *m* anzunehmen. Bei Erbauung neuer Bahnen wird, um das Normalprofil des lichten Raumes wirklich herzustellen, eine Entfernung von Mitte zu Mitte der Gleise von mindestens 4 *m* empfohlen"

sowie durch den schon in Nr. 15 angeführten § 8 ist nun die Kronenbreite eines Bahnkörpers mit beliebig vielen Gleisen neben einander bestimmt. Für eine zweigleisige Bahn würde sich z. B. eine Breite von rund 8 *m* ergeben.

17. Normalprofil des lichten Raumes. Ladeprofil. In dem oben angeführten § 7 der Techn. Vereinb. wird das Normalprofil des lichten Raumes erwähnt. Es giebt, wie der Name besagt, den Luftraum an, welcher von den Fahrzeugen beim Durchlaufen der Gleise in Anspruch genommen wird, in welchen also kein Theil eines zur Seite der Bahn errichteten Bauwerks hineinragen darf. Nach sehr umfangreichen, schwierigen Vorverhandlungen gelangte dasselbe, wie schon früher angegeben wurde, als höchst wichtige Errungenschaft des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen zuerst auf der Technikerversammlung zu Wien (1857) und im darauf folgenden Jahre auch durch die Generalversammlung des Vereins zur Annahme. Im Laufe der Zeit erschienen noch einige geringe Aenderungen des ursprünglichen Entwurfes wünschenswerth, in Folge dessen es nun die in Fig. 65 dargestellte Form annahm, während die einschlägigen Paragraphen der Techn. Vereinb. nach den Beschlüssen der Grazer Technikerversammlung schliesslich die folgende Fassung erhielten:

§ 6. „Das Normalprofil des für die freie Bahn mindestens offen zu haltenden lichten Raumes ist das auf anliegendem Blatte (Fig. 65) links ge-

zeichnete. Dabei ist in Krümmungen auf die Spurerweiterung und Gleisüberhöhung Rücksicht zu nehmen.

Es wird empfohlen, bei Neubauten die unteren Stufen des Normalprofiles durch Abgrenzung desselben nach den, dort schräg gezogenen Linien zu ersetzen. Das Mass der Entfernung der Erhebung fester Theile über Schienenoberkante ausserhalb des Gleises kann von 150 auf 135 *mm* eingeschränkt werden, wenn der erhöhte Theil mit der Fahrschiene fest verbunden ist."

§ 52. „Für diejenigen Gleise der Bahnhöfe, auf welchen Züge bewegt werden, ist das auf Blatt (Fig. 65) rechts gezeichnete Normalprofil des lichten Raumes, unter Berücksichtigung der Spurerweiterung und der Gleisüberhöhung in Krümmungen, mindestens inne zu halten.

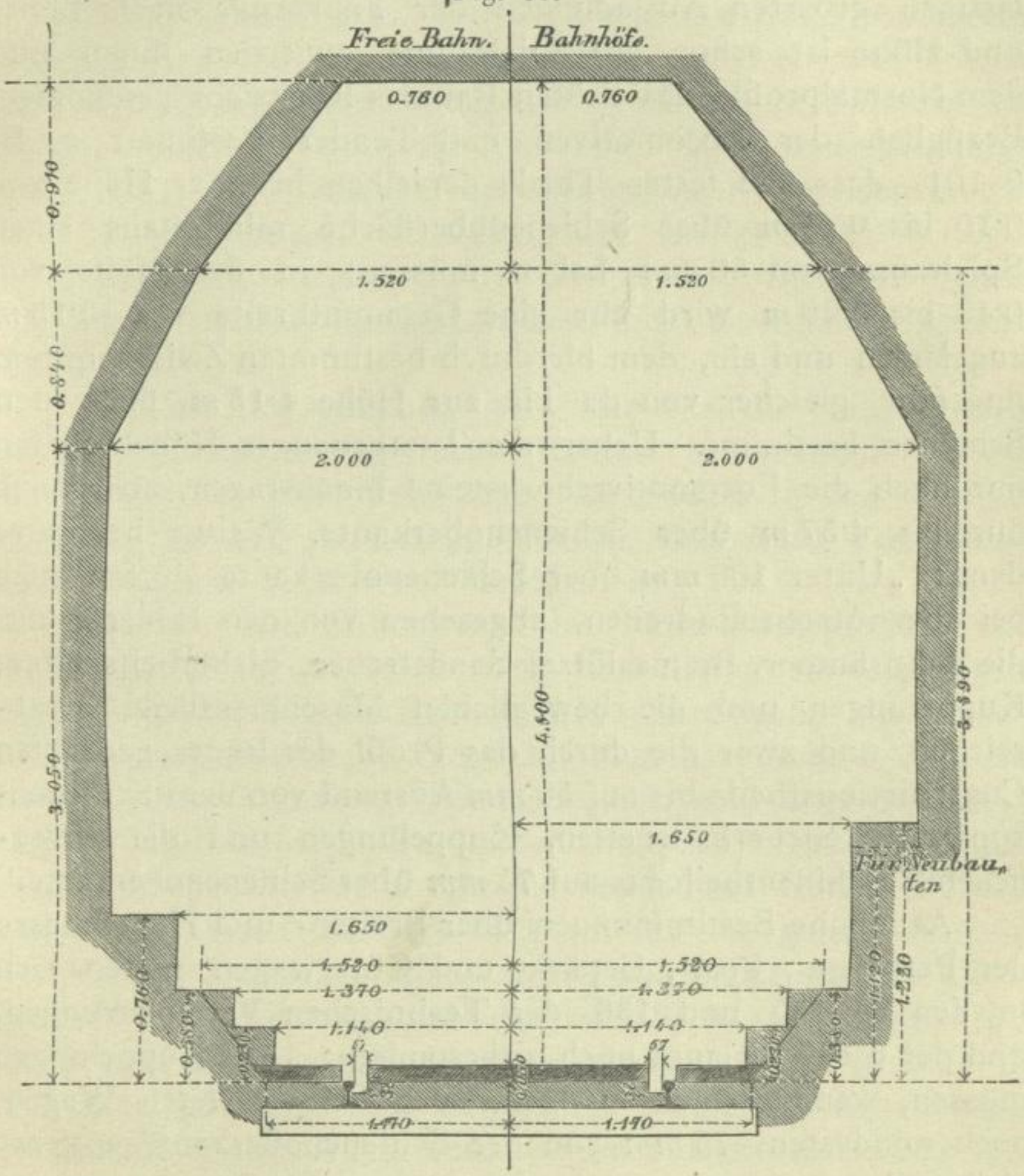
Für die durchgehenden Gleise der Bahnhöfe ist die Innehaltung des links gezeichneten Profiles zu empfehlen.

Bei Neubauten ist das Höhenmass der dritten Stufe des Normalprofiles zu 1·120 *m* anzunehmen und wird an Stelle der zwei untersten Stufen die Abgrenzung nach den schräg gezogenen Linien empfohlen."

Die Erhebung von 50 *mm* zwischen den Schienen und zu beiden Seiten derselben ist mit Rücksicht auf verschiedenartige Verhältnisse, wie sie sich namentlich bei Ueberfahrten oder in den Ausweichungen ergeben, nothwendig. Die hieran sich anschliessenden beiden unteren Stufen entsprechen sodann den Perrons auf den Bahnhöfen und den Trägergurtungen mancher eiserner Brücken. An Stelle derselben empfiehlt sich, wie in Fig. 65 eingetragen und in den §§ 6 und 52 ausgesprochen ist, eine Profilerweiterung durch Abschrägung, wie eine solche wegen Forderungen des Locomotiven- und Wagenbaues schon von der Düsseldorfer Technikerversammlung im Jahre 1874 in Vorschlag gebracht wurde (V. Supplementband, S. 103, Anmerkung). Es folgt nun die dritte obere Stufe, welche auf freier Bahn und im Bahnhofe verschiedene Höhe erhält, indem sie dort mit den oberen Trittbrettern der Wägen übereinstimmt und

mit Rücksicht auf die Vorsprünge von Brückenträgern gewählt ist, auf den Bahnhöfen aber der gewöhnlichen Lage des Bodens bei den Güterwägen und in dem für Neubauten empfohlenen Mass von 1·12 *m* der Oberfläche von Wagen-

Fig. 65.



und Viehrampen entspricht. Die grösste Breite des Normallichtprofiles ist durch offene Thüren der Personenwägen bedingt und für die oberen Theile desselben sind Constructionstheile von sogenannten Wegbrücken, unter welchen die Bahn durchgeführt ist, oder die Ausmasse von Tunnels massgebend.

Es fragt sich noch, inwieweit die Umrissfigur des Normallichtprofiles eingehalten werden darf, einerseits durch die Abmessungen der Fahrzeuge, andererseits durch die an der Bahn ausgeführten Bauten.

Nach den Technischen Vereinbarungen über die zulässigen grössten Ausladungen der Fahrzeuge nach Breite und Höhe ist schon auf Spielräume zwischen ihnen und dem Normalprofile des lichten Raumes Rücksicht genommen. Bezüglich der Locomotiven und Tender bestimmt z. B. § 101, dass alle festen Theile derselben in einer Höhe von 0·10 bis 0·43 *m* über Schienenoberfläche mindestens einen Spielraum von 50 *mm* haben müssen; in der Höhe von 0·43 bis 3·20 *m* wird nur eine Gesammtbreite von 3·15 *m* zugelassen und ein, dem hierdurch bestimmten Zwischenraum ungefähr gleicher von da bis zur Höhe 4·15 *m* über den Schienen bestimmt. Ueber die letztgenannte Höhe dürfen nur noch die Locomotivschornsteine hinausragen, aber auch nur bis 4·57 *m* über Schienenoberkante. Weiter heisst es dann: „Unter 100 *mm* über Schienenoberkante dürfen auch bei abgenützten Radreifen, abgesehen von den Rädern, nur die Bahnräumer, Bremsklötze, Sandstreuer, Sicherheitsketten, Kuppelungen und die beweglichen Maschinentheile herabreichen, und zwar die durch das Profil des Rades gedeckten Constructionstheile bis auf 50 *mm* Abstand von dem Schienenkopfe, die Sicherheitsketten, Kuppelungen und die beweglichen Maschinentheile bis auf 75 *mm* über Schienenoberkante."

Aehnliche Bestimmungen über Breiten- und Höhenmasse der Personen-, Post-, Gepäck- und Güterwagen finden sich in den §§ 135 und 136 der Technischen Vereinbarungen, und der § 157 verlangt noch insbesondere: „Alle Kuppelungen müssen, wenn sie herabhängen, auch bei belasteten Wagen, noch mindestens 75 *mm* von der Schienenoberkante entfernt bleiben."

Trotz dieser Bestimmungen wird man sich auch mit den Ausladungen der festen Bauwerke zur Seite des Gleises nicht genau nach den Linien des Normallichtprofiles richten, wenigstens in den unteren Theilen desselben, weil immerhin noch bei besonders starken Federwirkungen oder Seiten-

schwankungen der Fahrzeuge oder starken Verschiebungen und Verdrückungen der Schienen ein Anstreifen stattfinden könnte.

Wie in § 52 der Technischen Vereinbarungen ausdrücklich hervorgehoben wird, ist das Normallichtprofil nur für jene Gleise massgebend, auf welchen ganze Züge verkehren, dagegen sind dort, wo nur einzelne Locomotiven oder Wägen in Frage kommen, diese immer besonders in Betracht zu ziehen. Auch ist noch zu bemerken, dass man genöthigt war, für einige Strecken der deutschen Reichseisenbahnen in Elsass-Lothringen ausnahmsweise ein kleineres Normallichtprofil zuzugestehen, da der dortselbst vorhandene engere Lichtraum der französischen Bahnen nicht genügend erweitert werden konnte.

Für die Nebenbahnen wird das für die Hauptbahnen giltige Normalprofil des lichten Raumes beibehalten, falls ein Uebergang der Hauptbahnwägen stattfindet, in den anderen Fällen geben die „Grundzüge für die Gestaltung der secundären Bahnen" besondere Vorschriften.

Es ist nach Aufstellung des Normallichtprofiles viel Mühe darauf verwendet worden, mancherlei Abweichungen davon bei den älteren Bahnlinien zu beseitigen, allein vollständig war dies nicht möglich. Man hat deshalb für alle Bahnen das wirklich vorhandene „Minimal-Durchfahrtsprofil" und damit im Zusammenhange das zulässige „Maximal-Ladeprofil" durch genaue Messungen festgestellt und auf Grund dessen im Jahre 1866 ein für den ganzen Umfang des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen giltiges Ladeprofil für offene Güterwagen aufgestellt. Nachdem im Jahre 1872 ein grösseres Ladeprofil für den durchgehenden Verkehr in Vorschlag gebracht und darauf hin sorgfältige Erhebungen vorgenommen worden waren, sah man sich schliesslich veranlasst, die jetzt giltigen vier Ladeprofile aufzustellen, nämlich:

1. ein oben halbkreisförmiges von 3 *m* Breite und 4·15 *m* Höhe für die Linie Zabern-Avricourt der Elsass-Lothringischen Reichseisenbahnen und der Wilhelm-Luxemburger Bahnen, welche beide die kleinen französischen Lichtmasse aufweisen;

2. ein etwas grösseres, halbkreisförmig begrenztes, 3 *m* breit und 4·4 *m* hoch, für die übrigen Reichsbahnen in Elsass-Lothringen und einige andere Vereinsstrecken;

3. ein drittes Profil von 3·15 *m* Breite und 4·50 *m* Höhe, ebenfalls mit halbkreisförmiger oberer Begrenzung, für 31 namhaft gemachte Bahnen; endlich

4. das eigentliche „Normal-Ladeprofil" von 3·2 *m* Breite und 4·65 *m* Höhe, dessen obere Begrenzung aus dem Normalprofile des lichten Raumes durch Annahme eines Spielraumes von 0·15 *m* entsteht, für 64 Bahnen, den grössten Theil des Vereinsgebietes.

Näheres über diese wichtige Angelegenheit siehe: „Die Minimal-Durchfahrts- und Maximal-Ladeprofile der dem Vereine Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen angehörenden Eisenbahnen". Zweite Auflage, Berlin 1874.

18. Spurerweiterung in den Gleiskrümmungen. Während die normale Spurweite in allen geraden Strecken genau eingehalten wird, muss sie in den Krümmungen nach Massgabe des Halbmessers derselben und des Achsenstandes der Fahrzeuge, sowie mit Rücksicht auf die Form des Spurkranzes und Schienenkopfes vergrössert werden, damit vor Allem die in den Krümmungen hervortretenden Bewegungshindernisse nicht allzugross ausfallen. Genauer auf diese sehr verwickelten Verhältnisse einzugehen, ist hier nicht möglich, doch kann man sich immerhin eine Uebersicht verschaffen.[1])

Zunächst ist zu bedenken, dass die beiden Schienenstränge einer gekrümmten Strecke verschiedene Länge besitzen. Heisst r_o der Achsenhalbmesser eines kreisbogenförmigen Gleises, $2s$ die Spurweite, so beträgt die Länge des äusseren Stranges, auf den Halbkreis ausgedehnt, $(r_o + s)\pi$ und die des inneren Stranges $(r_o - s)\pi$, daher der Längenunterschied beider $(r_o + s)\pi - (r_o - s)\pi = 2s\pi$ und der Unterschied für die Längeneinheit des Achsenbogens $\frac{2s\pi}{r_o\pi} = \frac{2s}{r_o}$.

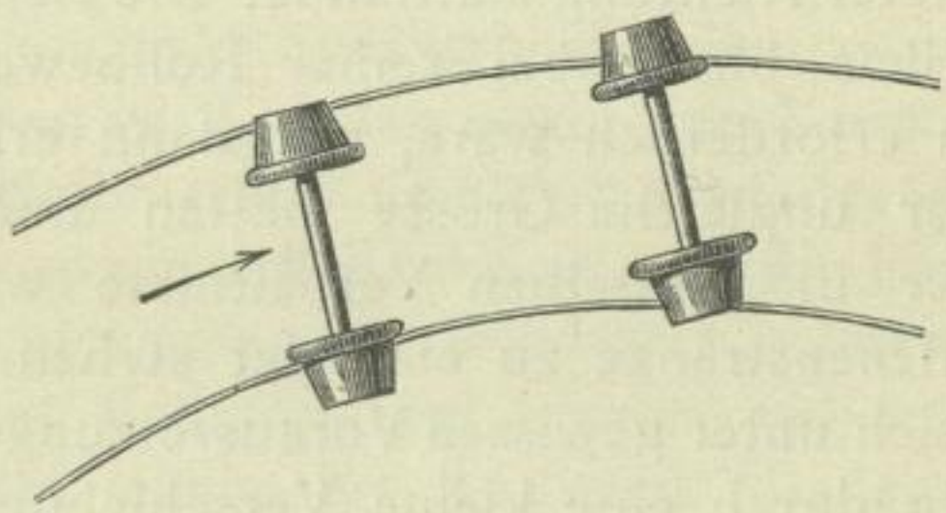
[1]) Eingehende Betrachtungen siehe in: „Die Wirkung zwischen Schiene und Rad". Von Dr. Scheffler, Braunschweig 1868.

Während bei den Landstrassenfuhrwerken die Achsen festliegen und die Räder sich um dieselben unabhängig von einander drehen können, sind die Achsen der Eisenbahnfahrzeuge in Zapfenlagern drehbar und die auf sie festgekeilten Räder nehmen Theil an ihrer Bewegung. Würde man in der gekrümmten Gleisstrecke auch nur eine einzelne Achse mit zwei aufgekeilten, gleich grossen Rädern in Bewegung setzen, welche also rollend gleiche Wege durchlaufen müssten, so würde sofort eine Schiefstellung der Achse eintreten müssen; die normale Richtung derselben könnte nur erhalten bleiben, wenn das äussere Rad um den Längenunterschied der beiden Stränge schleifend vorrückte, während das innere Rad sich einfach abrollte, oder wenn der Ausgleich nur durch ein Rückwärtsschleifen des inneren Rades erfolgte, oder endlich, wenn bei beiden Rädern ein Schleifen in entgegengesetzter Richtung stattfände. Die richtige Stellung der Achse im Gleis bliebe bei reiner Rollbewegung, ohne dass ein Gleiten erforderlich wäre, nur dann erhalten, wenn die beiden Räder ungleiche Grösse hätten und die Länge ihrer Halbmesser in demselben Verhältnisse wie die Halbmesser der Schienenstränge zu einander stehen würden, ein Umstand, der sich unter gewissen Voraussetzungen mit kegelförmigen Rädern durch eine kleine Verschiebung der Achse in ihrer Längsrichtung erzielen liesse. Im mathematischen Anhange ist die in dieser Beziehung erforderliche Verschiebung berechnet.

Ein solch' vollkommenes Rollen wäre auch noch bei einem vierräderigen Wagen denkbar, dessen Achsen mit kegelförmigen Rädern auf die richtigen Laufkreise eingestellt und beide gegen den Mittelpunkt der Bahnkrümmung gerichtet wären. Abgesehen nun davon, inwieweit man auf die richtige Einstellung solcher Fahrzeuge rechnen könnte u. dergl. m., es sind dieselben zur Zeit nur versuchsweise im Gebrauche und es ist aus mancherlei Gründen fast allgemein üblich, die Achsen stets in fester, gleichlaufender Lage gegen einander zu halten. In Folge dessen wird sich ein einzelner Wagen vermöge seines Bestrebens, in gerader Richtung fortzugehen, im Allgemeinen nach der

sehr verzerrt gezeichneten Fig. 66 einzustellen suchen, so dass sich der Spurkranz des äusseren Vorderrades dem äusseren Gleisstrange und der des inneren Hinterrades dem inneren Strange zu nähern sucht und auch zum Anstreifen gelangt; jedenfalls entwickelt sich dabei ein Kräftepaar, welches die Drehung des Fahrzeuges um seine lothrechte Achse besorgt. An den Vorderrädern gestaltet sich dabei das Verhältniss der Laufkreishalbmesser insoferne entsprechend, als bei neuen, noch nicht abgenützten Radreifen der äussere Laufkreis wenigstens grösser wie der innere ausfällt, dafür aber weicht die Richtung dieser Achse ziemlich weit von der Richtung des Halbmessers der Gleiskrümmung ab. Bei der Hinterachse dagegen ist zwar die Richtung ziemlich normal, dafür aber das Laufkreisverhältniss ein gänzlich

Fig. 66.



verkehrtes, indem auf dem äusseren, längeren Strange ein kleinerer Laufkreis zur Berührung gelangt, als auf dem inneren, kürzeren. Verwickelter wird die Sache bei einem, aus einer Anzahl Wägen sammt Locomotive bestehenden Eisenbahnzug, wobei sich die Wirkung der Kuppelungen in verschiedener Weise äussert, ebenso die Fahrgeschwindigkeit, und auf Gefällsstrecken auch die Art wie die Puffer auf einander drücken u. dergl. m. Im Allgemeinen darf man jedoch festhalten, dass in stärker gekrümmten Gleisen die oben beschriebene Stellung die gewöhnliche ist.

Auch sechsräderige Fahrzeuge würden bei ihrem Laufe durch das Bogengleis dieselbe Lage einnehmen, d. h. es würde sich auch bei ihnen das äussere Vorder- und das innere Hinterrad an den Schienkopf anlegen, wenn ein hinreichend grosser Spielraum vorhanden wäre. So bedeutend sind nun

allerdings die zur Ausführung gebrachten Spielräume nicht und es müsste als fehlerhaft bezeichnet werden, wenn dem so wäre. Bei den üblichen Spurmassen und den sonstigen einschlägigen Verhältnissen hat demnach jene Stellung der sechsräderigen Fahrzeuge die grösste Wahrscheinlichkeit für sich, bei welcher das äussere Vorderrad und das innere Mittelrad zur Berührung mit seinem Schienenstrange kommt. (Scheffler S. 71.)

Diese gewöhnliche Stellung des mit mässiger Geschwindigkeit bewegten einzelnen Fahrzeuges erleidet wieder, wie dies schon für den vierräderigen Wagen besprochen wurde, mancherlei Aenderungen bei wachsender Fahrgeschwindigkeit und durch die verschiedenartigen Einwirkungen, welche sich durch das Zusammenhängen der Wägen zu einem Zuge ergeben, immerhin aber kann sie als die in der Regel zu erwartende bezeichnet werden.

Aus diesen, wenn auch nicht erschöpfenden Betrachtungen wird doch erkannt werden können, dass in den gekrümmten Bahnstrecken stets mehrere besondere Widerstände in Folge Schleifens der Rad- und Anstreifens der Spurkränze hervortreten, auf deren Verminderung eben durch Ausführung einer Spurerweiterung hingewirkt werden soll.

Die Grösse dieser Erweiterung lässt sich, wie im Anhang nachgewiesen ist, theoretisch begründen, doch ist nicht bekannt, inwieweit für die von den Bahnverwaltungen benützten Masse etwa besondere Erfahrungen massgebend gewesen sind. Bei den bayerischen Staatsbahnen sind beispielsweise folgende Masse üblich:

Grösse des Halbmessers	Erweiterungsmass	Grösse des Halbmessers	Erweiterungsmass
bis zu 300 *m*	0·025 *m*	bis zu 700 *m*	0·009 *m*
„ „ 400	0·020	„ „ 800	0·006
„ „ 500	0·016	„ „ 900	0·003
„ „ 600	0·012	„ „ 1000	0·000

und für die Mitglieder des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen bestimmt der § 5 der Technischen Vereinbarungen in unwiderruflicher Weise:

„Die Spurweite in Krümmungen mit Halbmessern unter 1000 *m* ist im Verhältniss zur Abnahme der Länge des Halbmessers angemessen zu vergrössern. Diese Vergrösserung darf jedoch das Mass von 30 *mm*, selbst bei einem Halbmesser von 180 *m*, nicht übersteigen."

Sehr ausführliche Mittheilungen über die fragliche Angelegenheit hat die Berliner Technikerversammlung vom Jahre 1884 gebracht in dem Referat über die Beantwortung der Frage Nr. 18 der Gruppe I: „Welche Ueberhöhungen der äusseren Schiene und welche Spurerweiterungen werden in den verschiedenen Bahnkrümmungen angewendet bei Bahnstrecken, auf welchen

1. ausser den langsam fahrenden Zügen schnell fahrende mit 75 *km* und mehr,
2. ausser den langsam fahrenden Zügen solche bis zu 60 *km*,
3. nur Züge mit 30 *km*,
4. nur Züge mit 15 *km*

grösster Geschwindigkeit in der Stunde verkehren, und wie haben sich dieselben bewährt in Bezug auf Sicherheit des Betriebes und die möglichst geringe seitliche Abnützung der Schienen und Radreifen?

Welches ist je der kleinste in den unter 1 bis 4 verzeichneten Bahnstrecken vorkommende Krümmungshalbmesser? Ist für die Ueberhöhung eine Grenze festgesetzt oder gelten die Vorschriften (Formeln) auch für die Krümmungen mit jenem kleinsten Halbmesser?" (IX. Supplementband, S. 50—66.)

In diesem Berichte sind die bei 45 Bahnverwaltungen üblichen Masse der Spurerweiterung zusammengestellt und es wird dazu bemerkt, dass dieselben von einigen Verwaltungen nach der Gleichung $x = 0{\cdot}03\ (1000 - r_o)$ für Hauptbahnen und $x = 0{\cdot}02\ (1000 - r_o)$ für Localbahnen berechnet würden. Eine besondere Zusammenstellung giebt die üblichen grössten und kleinsten Erweiterungsmasse für die verschiedenen Krümmungshalbmesser an und in der Schlussfolgerung zu diesem Berichte heisst es in Bezug auf die vorhandenen Spurmasse: „Die Spurerweiterungen haben sich bezüglich der Sicherheit des Betriebes und der möglichst geringen seit-

lichen Abnützung der Schienen und Radreifen nur in den Fällen nicht bewährt, wo sie das kleinste Mass erreichten oder demselben nahe kamen. Es erscheint daher zweckmässig, die Spurerweiterung nicht zu knapp zu bemessen."

19. **Ungleiche Höhenlage der Schienenstränge in den Gleiskrümmungen.** Im vorausgehenden Abschnitte ist die Stellung besprochen worden, welche die Fahrzeuge bei ihrem Lauf durch die gekrümmten Bahnstrecken in der Regel einzunehmen pflegen. Hiernach hat das äussere Vorderrad ein besonders starkes Bestreben, gegen den äusseren Schienenstrang anzulaufen, wodurch Bewegungshindernisse und eine sehr merkliche Abnützung der Räder und Schienen hervorgerufen werden, auch Entgleisungsgefahren in Folge Verdrückung des Schienenstranges, oder indem das Rad an demselben aufzusteigen sucht, liegen nicht fern. Alle diese Missstände treten um so stärker hervor, je grösser die Fahrgeschwindigkeit, beziehungsweise die mit dem Quadrat derselben wachsende Centrifugalkraft wird, so dass eine besondere Massregel zur Aufhebung der letzteren nicht umgangen werden kann. Sie besteht nach allgemeiner Uebung darin, dass man die Schienenstränge ungleich hoch legt, so zwar, dass jedes Fahrzeug schief nach innen geneigt zu stehen kommt und die dadurch zur Wirkung gebrachte Seitenkraft seines Gewichtes ausreicht, die Centrifugalkraft unschädlich zu machen. Der zweite Absatz des § 17 der Technischen Vereinbarungen enthält denn auch die folgende, durchaus bindende Bestimmung:

„In Krümmungen muss die äussere Schiene mit Berücksichtigung der grössten, auf der betreffenden Bahnstrecke gestatteten Fahrgeschwindigkeit um so viel höher als die innere gelegt werden, dass von den Spurkränzen der Räder ein thunlichst geringer Angriff auf die inneren Schienenkanten ausgeübt wird."

So unentbehrlich und selbstverständlich diese Anordnung heutzutage jedem Eisenbahningenieur erscheint, so wenig war man ursprünglich darauf gefasst und wurde erst durch die unmittelbare Erfahrung dazu gedrängt. Eine bemerkenswerthe Aeusserung in dieser Beziehung findet sich in dem mehrfach

angeführten Buch: „Die Stabilität des Gefüges etc." von v. Weber S. 70: „Die Gleise der Bahnen vor der Epoche der Liverpool-Manchester Locomotiv-Experimente, auf denen die Fahrgeschwindigkeit sich nicht über 1 bis $1^1/_2$ Meile erhob, lagen horizontal und der Ingenieur Dewrance der Liverpool-Manchester Bahn hat dem Verfasser seinerzeit lebendig geschildert, wie der heftige Anprall der Maschinen und Wägen bei den ersten schnellen Fahrten auf dieser Bahn die Techniker veranlasst habe, diesen Anprall „abzuwehren", indem sie das Gleis schräger und schräger legten. Man ging dann rasch in's Extrem und gab den Rädern einen Konus von $^1/_7$, um sie der starken Neigung der Gleise gemäss zu construiren."

Die jetzt gewöhnlich festgehaltene Berechnungsweise des Ueberhöhungsmasses findet sich im Anhang. Es ist daraus zu ersehen, dass auf die nicht unbeträchtliche Reibung zwischen Rad und Schiene, welche sich ebenfalls der Centrifugalkraft entgegensetzt, keine Rücksicht genommen, vielmehr die einfache Annahme gemacht wird, dem Wagen sei eine so beträchtliche Schiefstellung zu geben, dass sein Gewicht allein zur Aufhebung jener ausreichend ist. Auch auf die ungleiche Grösse der dabei auftretenden Laufkreise der Räder wird keine Rücksicht genommen, da deren gegenseitiges Verhältniss je nach dem Abnützungsgrade ein sehr wechselndes ist und ebenso wird der Halbmesser des vom Schwerpunkt des Wagens beschriebenen Kreises mit dem Achsenhalbmesser des Gleises zusammenfallend gedacht. Unter diesen Voraussetzungen kommt man auf die folgende einfache Gleichung für das Ueberhöhungsmass

$$z = \frac{2s \cdot v^2}{g \cdot r_o} = \frac{A}{r_o}$$

worin $2s$ die Spurweite, v die Fahrgeschwindigkeit in Meter und Secunde, $g = 9{\cdot}81$ die Beschleunigung der Schwere und r_o den Halbmesser der Gleisachse in Meter, oder $A = \frac{2s \cdot v^2}{g}$ allgemein eine Constante bedeutet.

Wie im § 17 der Technischen Vereinbarungen ausgesprochen ist, soll für v die grösste auf der in Betracht kommenden Bahnstrecke zulässige Geschwindigkeit zur Berechnung

von z in Anwendung gebracht werden, weil die Betriebssicherheit am meisten durch die starken Pressungen der Räder gegen den äusseren Schienenstrang beim Befahren mit Eilzügen leidet. Allerdings tritt dann der Missstand ein, dass die so berechnete Ueberhöhung für alle langsamer fahrenden Züge, da dieselben nur eine verhältnissmässig kleine Centrifugalkraft erzeugen, übermässig ist und dass namentlich durch die am langsamsten fahrenden Güterzüge der innere Schienenstrang stark in Anspruch genommen wird. Da es sich jedoch hierbei hauptsächlich um eine stärkere Abnützung der Schienen und Räder handelt und vielleicht noch darum, dass hie und da einmal ein schwerer Güterzug in einer gekrümmten Bahnstrecke stecken bleibt, nicht aber um eine dringende Gefahr, wie beim Befahren zu wenig überhöhter Gleise durch schnelle Züge, so hält man an der Regel fest, das v in der Gleichung für z sei als grösster Werth aufzufassen, welcher von den Eilzügen in den gekrümmten Strecken noch eingehalten werden darf. Das richtige Mass dieser Geschwindigkeit ist allerdings von mancherlei Umständen abhängig und nur erfahrungsgemäss zu bestimmen, doch scheint es, dass viele Bahnverwaltungen dasselbe zu 15 bis 18 m in der Secunde festzuhalten pflegen. Jedenfalls würde man den Eilzügen auch eine geringere Fahrgeschwindigkeit für bestimmte Bahnstrecken vorschreiben, wenn es sich als nothwendig herausstellen sollte, daselbst eine kleinere Ueberhöhung mit Rücksicht auf einen starken Güterverkehr zur Ausführung zu bringen. Ueberhaupt spielen die Verkehrsverhältnisse dabei eine wichtige Rolle und es ist nicht gleichgiltig, ob Eil- oder Güterzüge in grösserer Anzahl in Frage kommen.

Im Ganzen und Grossen also kann der nach den angedeuteten Gesichtspunkten aus der obigen Gleichung berechnete Werth der Ueberhöhung als zweckentsprechend bezeichnet werden, wenn er in Verbindung mit der richtigen Spurerweiterung zur Ausführung gebracht wird. Eine Aenderung erleidet derselbe nur in einzelnen besonderen Fällen; so wird er z. B. auf steigenden Strecken zweigleisiger Bahnen oder vor grösseren Bahnhöfen, wo auch die Eilzüge zu halten

haben, erniedrigt, weil in beiden Fällen eine Ermässigung der Fahrgeschwindigkeit in der Curve eintreten muss; und umgekehrt vergrössert man den berechneten Werth von z, wenn mit der Krümmung zugleich ein Gefäll in der Richtung der Fahrt verbunden ist, weil dort in der Regel eine grössere Geschwindigkeit zu erwarten ist. In den Ausweichungen (2. Theil B. I.) bleibt die Ueberhöhung aus später zu erläuternden Gründen ganz weg. Interessante Mittheilungen nach all diesen Beziehungen sind aus den, schon im vorigen Absatz Nr. 18 angezogenen Verhandlungen der Berliner Techniker-versammlung (1884) zu entnehmen, woselbst insbesondere auch die, bei den einzelnen Verwaltungen üblichen Ueberhöhungen für die verschiedenen normalmässigen Fahrgeschwindigkeiten zusammengestellt sind. [1])

Dieselben wurden nach den gemachten Angaben zum Theil versuchsweise festgestellt, zum Theil auch aus Formeln berechnet, unter welchen $z = \frac{45}{r_0}$, $z = \frac{40}{r_0}$ und $z = \frac{0{\cdot}153\, v^2}{r_0}$ für Hauptbahnen und $z = \frac{30}{r_0}$ für Localbahnen als die gebräuchlichsten bezeichnet werden. In der von der Versammlung angenommenen Schlussfolgerung wird ausserdem noch erwähnt, dass bei der grossen Verschiedenheit der Geschwindigkeiten und der wechselnden Zahl der verkehrenden Züge bestimmte Masse für die Ueberhöhung nicht angegeben werden könnten. Sodann: „Die bei den Verwaltungen unter Zugrundelegung der grössten Geschwindigkeit der verkehrenden Züge ermittelten Ueberhöhungen haben sich bezüglich der Sicherheit des Betriebes im Allgemeinen bewährt, jedoch bezüglich der möglichst geringen seitlichen Abnützung der Schienen und Radreifen in den Fällen nicht entsprochen, wo ausser den schnell fahrenden Zügen auch Güterzüge mit bedeutend geringerer Geschwindigkeit in grösserer Anzahl verkehren. Es empfiehlt sich hierbei, Krümmungen mit kleinen Halbmessern, welche für Schnellzüge eine grosse Ueberhöhung der äusseren Schiene erfordern, zu vermeiden und, wo diess nicht an-

[1]) IX. Supplementband, S. 50 bis 66.

gänglich ist, dahin Bestimmung zu treffen, dass diese Krümmungen mit ermässigter Geschwindigkeit zu durchfahren sind."

Wie aus den bisherigen Darlegungen hervorgeht und im § 17 der Technischen Vereinbarungen ausdrücklich betont wird, kommt der volle Betrag der Ueberhöhung durch Erhebung des äusseren Schienenstranges zur Darstellung; es geschieht dies hauptsächlich wegen der bequemen Ausführung, doch ergiebt sich gleichzeitig der günstige Umstand, dass dann die Verschiebung des Schwerpunktes der Fahrzeuge eine verhältnissmässig kleine ist.

20. Uebergangscurven. Nach den Auseinandersetzungen im vorigen Absatze sind gekrümmte Bahngleise nur dann mit Sicherheit zu befahren, wenn in ihrer ganzen Ausdehnung der äussere Schienenstrang um ein gewisses Mass $z = \frac{A}{r_o}$ höher gelegt wird wie der innere. Da nun an der Uebergangsstelle einer gekrümmten Gleisstrecke mit dem Ueberhöhungsmasse z_1 in eine andere, deren Ueberhöhung den Werth z_2 besitzt, oder gar in eine gerade Strecke, welcher keine Ueberhöhung zukommt, der Uebergang von z_1 in z_2, beziehungsweise von z_1 zu dem Werthe Null nicht jäh erfolgen kann, so wird es nöthig, zwischen je zwei Krümmungen von verschiedenem Halbmesser und zwischen jede Gerade und eine darauf folgende Krümmung eine sogenannte Uebergangscurve einzulegen, welche die allmähliche Ueberführung der verschiedenen Werthe von z in einander gestattet. Eine hierzu sehr geeignete Curve ist die cubische Parabel, welche schon seit längerer Zeit auf verschiedenen Bahnen zur Ausführung gekommen ist und neuerdings ziemlich allgemein festgehalten wird, nachdem sie wiederholt auf den Technikerversammlungen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen besprochen wurde und eine darauf bezügliche Bestimmung auch in dem § 17, Absatz 3 und 4 der Technischen Vereinbarungen Aufnahme gefunden hat: „Die Ueberhöhung des äusseren Schienenstranges soll an den Tangentialpunkten des Kreisbogens vollständig vorhanden sein". „Die Ueberhöhung muss in der geraden Linie, beziehentlich in den

parabolischen Uebergangscurven auf eine Länge auslaufen, welche mindestens das 200fache der Ueberhöhung beträgt".

Wie im Anhange gezeigt wird, lautet die auf rechtwinkelige Achsen bezogene Gleichung der cubischen Parabel

$$r = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x^3}{6}$$

und sie ist anwendbar, so lange sich ihre Ausdehnung innerhalb der durch die Bedingung $\frac{\alpha^2}{4\,A^2} \cdot x^3 \leqq 0{\cdot}01$ bezeichneten Grenze hält, oder mit Bezug auf Fig. 134 der Winkel τ_n nicht mehr als 6 Grad beträgt.

Die Constante A hat nach den dortigen Entwickelungen den Werth

$$A = \frac{2\,s\,.\,v^2}{g}$$

welcher je nach der Grösse der zugelassenen Fahrgeschwindigkeit v Zahlenwerthe zwischen beiläufig 40 und 45 annimmt, jedoch auch je nach der Schärfe der Krümmung wechselnd genommen wird. Ebenso wenig übereinstimmend sind die von den einzelnen Verwaltungen bezüglich der zweiten Constanten α gemachten Annahmen, doch scheinen Werthe von $\alpha = \frac{1}{500}$ bis $\frac{1}{300}$ besonders häufig vorzukommen, was ungefähr mit der von Nördling aufgestellten Regel übereinstimmt, α gleich dem reciproken Werthe des Halbmessers der auf der fraglichen Bahn vorkommenden schärfsten Krümmung zu setzen. Für den besonderen Fall $A = 40$ und $\alpha = \frac{1}{300}$ hätte man demnach $\frac{A}{\alpha} = 12000$.

Im Anhange ist ferner darauf hingewiesen worden, dass die Bahnachse zum Zwecke der Projectirung und Bauausführung als eine Folge von sich berührenden Kreisbögen und geraden Linien, also ohne Berücksichtigung der zwischenliegenden Uebergangscurven, abgesteckt wird und dass in Folge dessen später bei Ausführung der Schienenlage gewisse Aenderungen dieser ursprünglichen Achse erforderlich werden.

Wie dort auseinander gesetzt worden, bestehen diese Aenderungen für gewöhnlich entweder in einer Verlegung der gekrümmten oder aber der geraden Strecken. Es erübrigt deshalb hier nur noch darzuthun, dass die hierdurch bedingten Abweichungen von der ursprünglichen Bahnlinie so geringfügig sind, dass sie auf dem, unter Zugrundelegung dieser Linie errichteten Unterbau (Damm oder Einschnitt) unbedingt durchgeführt werden können.

Wäre z. B. in dem durch Fig. 135 dargestellten Fall $A = 40, \alpha = \frac{1}{300}$, also $\frac{A}{\alpha} = 12000$ und der Halbmesser des ursprünglichen, zwischen den beiden geraden Strecken liegenden Bogens $r_o = 600$ Meter, so fände man als Länge der Uebergangscurve

$$x_n = \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{1}{r_o} = \frac{12000}{600} = 20 \text{ Meter}$$

und für die Verschiebung m

$$m = \frac{1}{24} \cdot \frac{\alpha}{A} \cdot x_n^3 = 0{\cdot}028 \text{ Meter}$$

und die Annäherungsbedingung $r_o \geqq 600\, m \geqq 16{\cdot}8$ würde erfüllt.

Hätte man weiter im Falle der Fig. 136, wie vorher $\frac{A}{\alpha} = 12000$, $r_o = 600$ und $r'_o = 500$ Meter, so ergäbe sich:

Länge der ersten Uebergangscurve $x_n = \frac{12000}{600} = 20$ Meter

" " zweiten " $x'_n = \frac{12000}{500} = 24$ Meter

$$m = \frac{1}{24} \cdot \frac{1}{12000} \cdot 20^3 = 0{\cdot}028 \text{ Meter}$$

$$m_1 = \frac{1}{24} \cdot \frac{1}{12000} \cdot 24^3 = 0{\cdot}048 \text{ Meter}$$

und, falls

$t = 100$ Meter wäre, $\sin \omega = 0{\cdot}00076 \left(1 + 0{\cdot}00076 \cdot \frac{1100}{200}\right)$

$\log \sin \omega = 6{\cdot}88262 - 10$, ω zwischen zwei und drei Minuten.

In manchen Fällen kommen allerdings auch grössere Werthe vor, doch kaum in solchem Betrage, dass ernstliche Missstände dadurch hervorgerufen würden.

II. Der eiserne Oberbau.

Wie aus den bisherigen Betrachtungen über den zur Zeit noch herrschenden Eisenbahnoberbau hervorgeht, war es immerhin mit Schwierigkeiten verbunden, die Widerstandsfähigkeit desselben, soweit sie von der Befestigung der Schienen auf den Unterlagen abhing, den gesteigerten Anforderungen des Verkehres entprechend zu erhöhen, und wenn es auch bisher gelungen ist, die Leistungsfähigkeit des Oberbaues mit Holzschwellen in Einklang mit den Betriebsansprüchen zu bringen, so dass derselbe gegenwärtig und voraussichtlich auch noch für längere Zeit allen an ihn gestellten Forderungen zu entsprechen im Stande ist, so kann doch auf eine wesentliche Ausbildung desselben nicht mehr gerechnet werden. Dieser Umstand, welchen man schon vor Jahren als gegeben angenommen hatte, war die hauptsächliche Veranlassung zu den verschiedenen Versuchen, das Holz der Schienenunterlagen durch ein geeigneteres Material zu ersetzen. Unterstützt noch wurden solche Bestrebungen in seltenen Fällen durch die Preisverhältnisse in manchen Gegenden und sehr häufig durch die, allerdings etwas einseitige Beurtheilung des riesigen Bedarfes an Schwellen für die Unterhaltung der bestehenden Bahnen, welche die Befürchtung aufkommen liess, es werde dessen Deckung eine bedenkliche Waldverwüstung zur Folge haben. Und endlich kamen zuweilen auch noch andere, nationalökonomische Erwägungen in Betracht, so namentlich, dass für die schwer darniederliegende Eisenindustrie neue Absatzgebiete geschaffen werden müssten u. dergl. m.

Abgesehen von Einflüssen der letzten Art, welche eine gewisse Rücksichtnahme beanspruchen können und gerade in Deutschland sicherlich auch gefunden haben, im Grossen und Ganzen stellt sich die Oberbauangelegenheit zur Zeit als eine einfache Geldfrage dar und es liegen die Verhältnisse so, dass der Holzschwellenoberbau aus dem Grunde bevorzugt wird, weil er bei gleicher Leistungsfähigkeit im

Allgemeinen noch billiger zu stehen kommt wie irgend eine Form des eisernen Oberbaues. In Zukunft freilich wird sich dies voraussichtlich umkehren und dann ist die allgemeine Einführung des eisernen Oberbaues mit Sicherheit zu erwarten, zumal da dessen Widerstandsfähigkeit, soweit sie in seiner Anordnung selbst begründet liegt, im Gegensatze zum Holzschwellenoberbau nach Bedürfniss beliebig gesteigert und auf dieser Höhe auch längere Zeit unverändert erhalten werden kann. Hoffentlich ist bis dahin der Werth der verschiedenen Oberbauformen in Eisen vollkommen aufgeklärt, was bis jetzt trotz der oft sehr bestimmten Aeusserungen ihrer Vertreter noch nicht der Fall ist, und nur mit Hilfe fortgesetzter Erprobungen im Grossen und namentlich unter gleichen Verhältnissen angestellter Versuche, wie sie jetzt mehr und mehr angestrebt werden, geschehen kann.

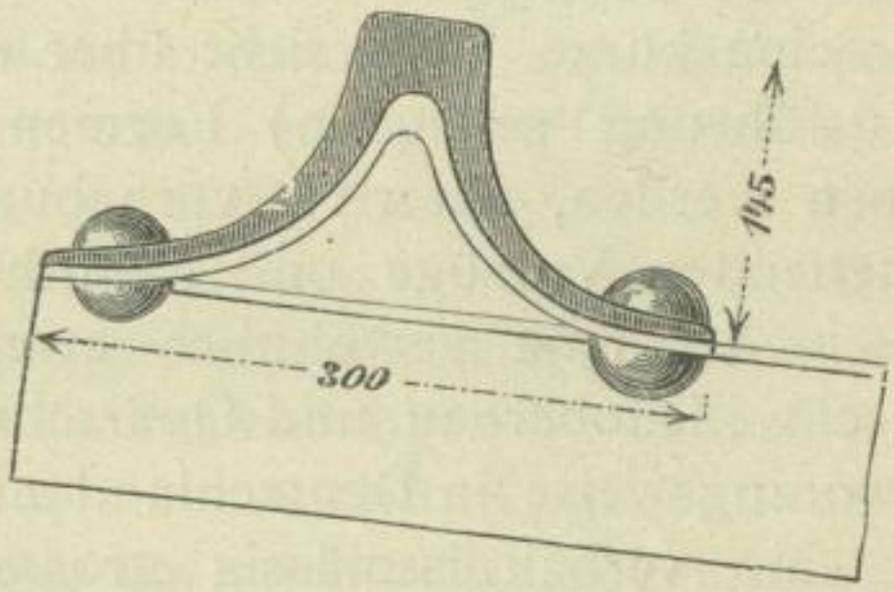
Bei der noch ausstehenden Entscheidung soll im Folgenden auch nur eine kurze Uebersicht über die hauptsächlichsten (zur Ausführung gelangten) Formen des eisernen Oberbaues gegeben werden, unter Hervorhebung der einigermassen sicher stehenden Vorzüge und Nachtheile derselben.

Man unterscheidet jetzt gewöhnlich zweierlei Oberbau in Eisen: Langschwellenoberbau und Querschwellenoberbau. Ersterer wurde vorzugsweise in Deutschland ausgebildet, wo er auch schon eine verhältnissmässig grosse Ausdehnung gewonnen hat. Es liegt ihm der Gedanke zu Grunde, den beiden, hinreichend stark hergestellten und durch Querverbindungen genügend vereinigten Gleissträngen eine durchlaufende Unterstützung durch den Bettungskörper selbst zu gewähren. Hierzu gesellte sich bei einigen Formen desselben noch das Bestreben, die eigentliche, der Einwirkung der Räder unmittelbar ausgesetzte Fahrschiene in schwächeren Abmessungen aus besonders widerstandsfähigem Material so anzuordnen, dass sie nach ihrer Abnützung mit geringen Kosten und Schwierigkeiten ausgewechselt werden kann. Weiter unterscheidet man ein-,zwei-und dreitheiligen Oberbau, je nachdem im Querschnitt eines Stranges 1, 2 oder 3 Theile erscheinen. Die Querschwellenconstructionen stimmen im Wesentlichen mit dem Holzschwellenoberbau überein.

21. Eintheiliger Langschwellenoberbau von Woodhouse, Barlow und Hartwich. Als Vorläufer des späteren eintheiligen Oberbaues kann die von Woodhouse schon im Jahre 1805 bei Sheffield zur Ausführung gebrachte Spuranlage gelten, wo er gusseiserne Röhrenschienen von trapezförmigem Querschnitt, mit ihrer breiten Seite nach unten, unmittelbar in den Landstrassenkörper einlegte, auf deren schwach muldenförmigen oberen Fläche dann die Räder der gewöhnlichen Landfuhrwerke liefen.

Im Jahre 1849 nahm der Engländer Barlow diese Idee wieder auf, indem er die nach ihm benannte sattelförmige Schiene, Fig. 67, ausführen liess, welche bei ihrer Form einen Theil des Bettungsmaterials in sich schloss. Am Stoss

Fig. 67.



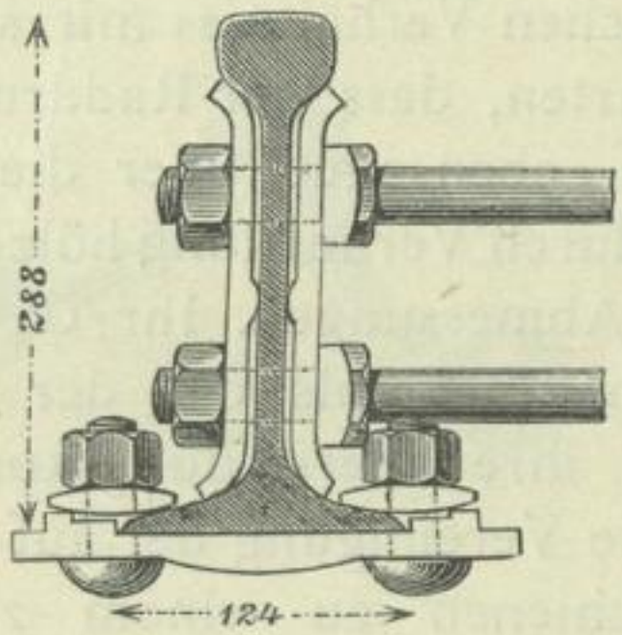
der etwa 6 *m* langen Schiene wurde ein ungefähr 600 *mm* langes, ebenfalls sattelförmiges Deckblech mit den beiden Schienenenden vernietet, auch waren neben diesen Deckblechen steife, winkelförmige Querverbindungen angebracht. Dieser Oberbau von Barlow wurde in England sofort in grosser Ausdehnung verlegt und fand auch auf einigen Bahnlinien in Frankreich und Südamerika Eingang, konnte sich jedoch trotz mancher Vorzüge, unter welchen seine Einfachheit obenan stand, nicht bewähren, besonders wegen der geringen Dauerhaftigkeit der Sattelschienen, bei deren Herstellung es nicht wohl thunlich war, den Kopf aus hartem, genügend widerstandsfähigem Eisen zu bilden, und weil nach dessen baldiger Abnützung die ganze Masse des schweren Schienenstrangs zu altem Eisen wurde.

Der vorher angeführten englischen Construction entspricht der im Jahre 1865 von dem damaligen Betriebsdirector der Rheinischen Eisenbahn, Geh. Reg.- und Baurath Hartwich entworfene Oberbau, insoferne auch bei ihm die im Querschnitt eintheiligen Schienenstränge unmittelbar in die Bettung eingelegt wurden. Dieselben erhielten jedoch die Form der gewöhnlichen Vignolesschiene, deren Höhe zur Erzielung der erforderlichen Steifigkeit entsprechend vergrössert worden war. Für die ersten Versuchsstrecken Coblenz-Oberlahnstein und Euskirchen-Mechernich wählte Hartwich unter Festhaltung der bisherigen Schienenbasis eine Höhe von 11 Zoll rheinisch (288 *mm*), etwas mehr als die doppelte Höhenabmessung der von der Rheinischen Bahn damals auf Querschwellen verwendeten Schienen. (Organ f. d. F. d. E. 1866, S. 123, III. Supplementband, S. 25.) Da die Tragfähigkeit eines Balkenträgers im quadratischen Verhältniss mit seiner Höhe wächst, so konnte man erwarten, dass der Raddruck durch die neue Schiene mindestens ebensogut über die Bettung vertheilt werden würde, wie durch Vermittlung hölzerner Querschwellen von den üblichen Abmessungen. Ihr Gewicht betrug dabei ungefähr 60 Procent mehr als das der gewöhnlichen breitfüssigen Schienen, ihre Herstellungskosten waren jedoch wesentlich höher. Die Vereinigung der auf einander folgenden, 21 Fuss langen Schienen zu einem zusammenhängenden Strang geschah mit Hilfe symmetrischer Laschen und je acht Schraubenbolzen, sowie durch eine, unter den Füssen der Schienen angeordnete Stossplatte. Zur Querverbindung der Stränge endlich dienten auf Schienenlänge sechs Rundstangen, welche abwechselnd oben und unten den Schienensteg durchdrangen. Fig. 68 zeigt diese ursprüngliche Anordnungsweise. Die ersten Erfahrungen schienen sehr zu ihren Gunsten zu sprechen, ja die Schienenhöhe von 11 Zoll erwies sich sogar überflüssig gross, so dass man bei einem neuen Versuch im Jahre 1867 zwischen Kempen und Kaldenkirchen der Rheinischen Eisenbahn auf 9 Zoll (235 *mm*) herunterging. Sonst blieb die Anordnung im Wesentlichen dieselbe. Andere Verbesserungen versuchte man später auf der Köln-Mindener Bahn, wo man die Höhe der Schienen noch mehr ver-

minderte, dafür aber besser geformte, starke Laschen zu deren Verbindung anwandte, sodann auf mehreren Strecken anderer Bahnverwaltungen.

Es ist nun von Interesse, gerade hier deutlich zu ersehen, wie ein richtiges Urtheil über den Werth einer Oberbauconstruction nicht durch theoretische Erörterungen und sonstige Ueberlegungen, auch nicht durch Erfahrungen auf einzelnen Versuchsstrecken, sondern nur durch sorgfältige, Jahre hindurch fortgesetzte Beobachtungen an ausgeführten Anlagen von grösserer Ausdehnung gewonnen werden kann. Bestimmte Aeusserungen über den Hartwich'schen Oberbau finden sich in einem Berichte über Erfahrungen mit eisernem Oberbau, welche ursprünglich für die 1870 in Hamburg geplante Tech-

Fig. 68.



nikerversammlung des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen bestimmt war und nachdem diese Versammlung wegen des deutsch-französischen Krieges hatte verschoben werden müssen, mit den übrigen Berichten im Organ f. d. F. d. E. 1871, S. 28, 41, 89 veröffentlicht wurde. In diesem Berichte wird die Hartwich'sche Anordnung, welche bis dahin von vier verschiedenen Verwaltungen auf Strecken von zusammen rund 90 *km* Länge zur Ausführung gebracht worden war, im Ganzen noch günstig beurtheilt; es wird ihre Einfachheit und die damit zusammenhängenden niedrigen Anlagekosten, wie auch ihre Standfestigkeit erwähnt, dagegen als Mangel hervorgehoben, dass beim Schadhaftwerden des Schienenkopfes die ganze Eisenmasse zu altem Material werde, dass die Unterhaltungskosten sich hoch stellten und der Oberbau

sich „hart fahre". Schlimmer schon lauten die Ausführungen auf der Technikerversammlung zu Düsseldorf (1874): „Nach den Mittheilungen der vorgenannten Verwaltungen hat sich das System Hartwich bei keiner derselben bewährt und sind die meisten Versuchsstrecken bereits wieder mit anderen Oberbausystemen umgebaut worden, respective steht dies bei dem Rest in Aussicht. Ueberall hat sich, abgesehen von den sonstigen beobachteten Mängeln, eine auffallend kurze Dauer der Schienen gezeigt, die wohl ihren Grund in der schwierigen Schweissung dieser hohen Schienen haben mag. Daraus folgt, dass das eintheilige System um so viel unvortheilhafter ist, je weniger die Schiene den Einwirkungen der Züge zu widerstehen vermag. Vergleichende Berechnungen der Anlagekosten des Oberbaues nach den verschiedenen gebräuchlichen und versuchsweise eingeführten Anordnungsweisen, unter Berücksichtigung der Erneuerungskosten, ergibt, dass das Hartwich'sche System, selbst bei Annahme einer mit anderen Systemen gleichen Dauer der Schienen, das theuerste ist". (V. Supplementband, S. 15.) Eine Bestätigung endlich findet dieses Urtheil durch die Stuttgarter Versammlung (1878), insoferne damals auch die Köln-Mindener Bahnverwaltung das Misslingen der von ihr im Jahre 1868 mit Hartwichschienen und starken Winkellaschen begonnenen Versuche berichtete und von sonstigen Erfahrungen mit der fraglichen Construction überhaupt nicht mehr die Rede war.

Jetzt steht fest, dass neben den schon erwähnten Nachtheilen des Oberbaues von Hartwich insbesondere auch die Unthunlichkeit, Reibung von Kies auf Kies zur Wirkung zu bringen, und die dadurch bedingte mangelhafte Widerstandsfähigkeit gegen seitliche Angriffe ihn ungeeignet zur Verwendung auf Hauptbahnen machte. Dagegen hat er in neuerer Zeit vielfach Eingang auf Localbahnen, und namentlich städtischen Pferdebahnen gefunden, bei welchen die seitlichen Angriffe der Räder an sich geringer sind und eine sichere Lage durch Einlegen der Schienen in einen festen Strassenkörper oder durch Umpflasterung derselben erzielt werden kann. Von Pferdebahnen ist vor Allem die Stuttgarter zu nennen, welche schon im Jahre 1868 auf den Hartwich'schen

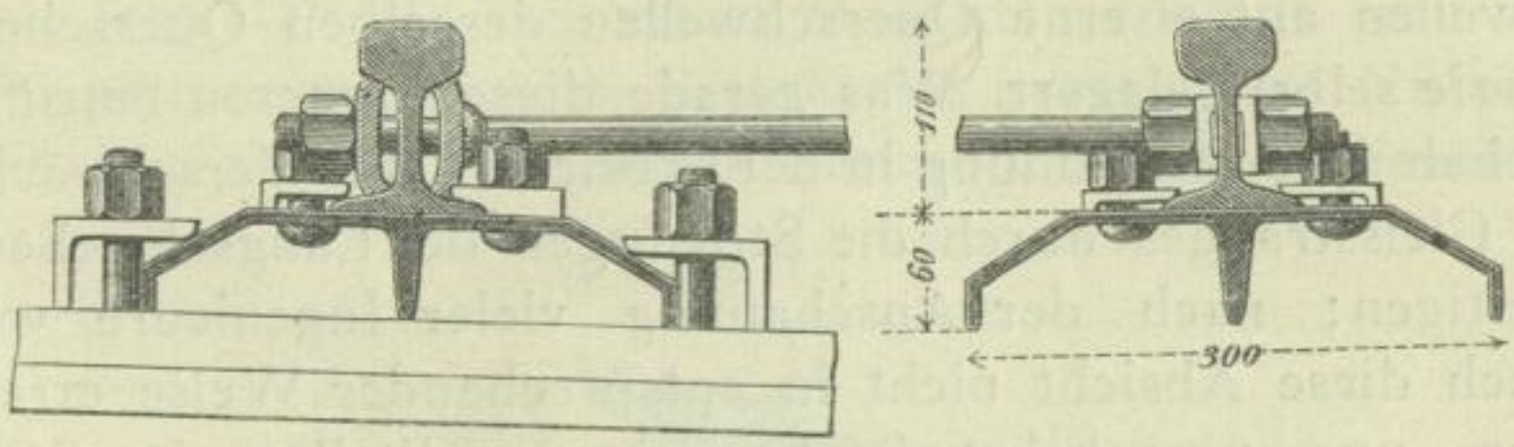
Oberbau überging (Organ f. d. F. d. E. 1870, S. 235 und 1871, S. 62) und unter den mit Locomotiven betriebenen Nebenbahnen die von der Locomotivfabrik Krauss & Cie. in München erbaute Feldabahn in Thüringen, welche als Muster einer zweckmässig angelegten und betriebenen Strassenbahn für mässigen Ortsverkehr angesehen werden muss.

22. **Zweitheiliger Langschwellen-Oberbau von Mac Donnell und Hilf.** Bei allen zweitheiligen Anordnungen kommt eine eiserne Langschwelle vor, auf welche eine breitfüssige Vignoles- oder Brückschiene befestigt wird. Sie haben unter allen Langschwellen-Constructionen bis jetzt die weiteste Verbreitung gefunden, indem zu Ende des Betriebsjahres 1884/85 unter den 62·394·46 *km* normalspurigen Gleisen der deutschen Bahnen 5192·47 *km* mit solchen versehen waren. Ziemlich frühe schon, im Jahre 1853—1860, kam ein zweitheiliger Oberbau durch Mac Donnell auf englischen Bahnen versuchsweise zur Ausführung, ohne dass jedoch ein dauernder Erfolg damit erzielt werden konnte, indem namentlich die plattenartigen, in der Mitte mit einer durchlaufenden dornartigen Rippe versehenen Langschwellen, auf welche eine Brückschiene aufgeschraubt wurde, zu wenig tief in der Bettung gelagert waren. Einen gewissermassen durchschlagenden Erfolg dagegen hatte die von dem damaligen preussischen Baurath Hilf angegebene Construction, welche gegenwärtig, namentlich durch ihre Verwendung auf den preussischen Staatsbahnen, die grösste Kilometerzahl aufzuweisen hat.

Diese Oberbauform wurde von der Nassauischen Staatsbahnverwaltung im Jahre 1865 auf der Technikerversammlung zu Dresden in Vorschlag gebracht (I. Supplementband, S. 50) und zur erstmaligen Ausführung gelangte sie im Jahre 1867 auf dem Bahnhofe Assmannshausen der Nassauischen Bahn in einer Länge von 450 *m*, wobei jedoch die auf Querschwellen damals übliche Vignolesschiene (der laufende Meter 70·5 Pfund schwer) Verwendung fand. Anfangs des folgenden Jahres wurde dann das zweite Gleis zwischen Oberlahnstein und Ems ganz nach Angabe Hilf's, wie sie in einer auf der Münchener Technikerversammlung (1868) vertheilten Druck-

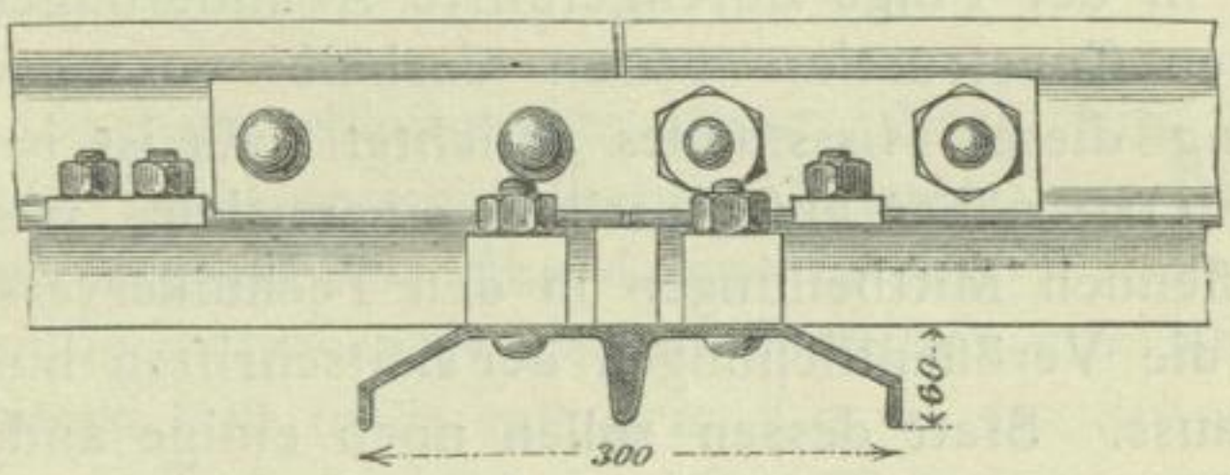
schrift enthalten war, verlegt, wobei namentlich auch eine leichtere Schiene (25·4 *kg*) in Aufnahme kam. Die sehr befriedigenden Ergebnisse dieser Versuchsstrecken hatten die Ausführung solcher auch auf anderen Bahnen zur Folge und die Annahme des Hilf'schen Oberbaues für alle Gleisanlagen der Nassauischen Bahnen, die in Folge dessen im Jahre 1876 schon ungefähr 135 *km* eisernen Langschwellen-Oberbau besassen. Natürlich erfuhr die ursprüngliche Anordnung dabei mancherlei Abänderungen in ihren Einzelnheiten, namentlich

Fig. 69.



auch hinsichtlich der Lagerung von Schienen- und Schwellenstoss gegen einander, bis sie endlich zu einem gewissen Ab-

Fig. 70.



schluss gelangte, der in einer besonderen Veröffentlichung [1]) bekannt gegeben wurde. Aus derselben sind auch die Figuren 69 und 70 entnommen.

Demnach haben die Langschwellen bei einer gewöhnlichen Länge von 8·96 *m* eine Breite von 300 *mm* und eine Wandstärke von 8 *mm*. Zwischen zwei auf einander folgenden Schwellen wird ein Zwischenraum von 40 *mm* gelassen und

[1]) Der eiserne Oberbau, System Hilf, für Eisenbahngleise etc. Von M. Hilf, Geh. Regierungsrath etc. Wiesbaden 1876.

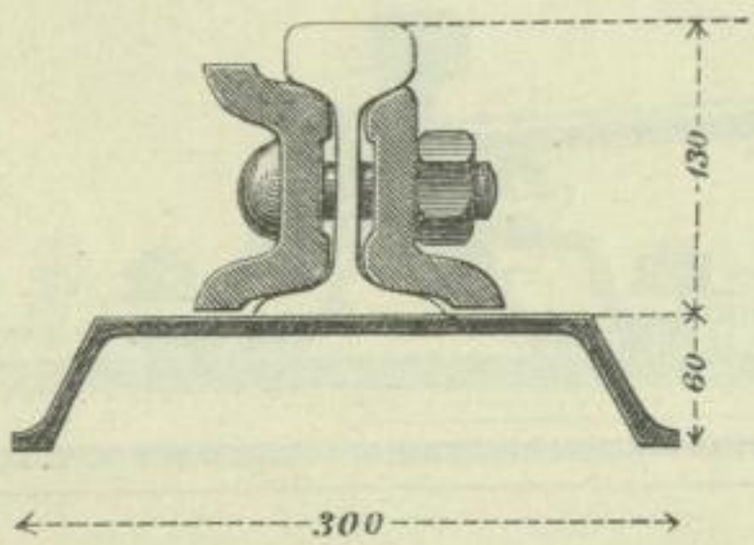
der Stoss der 9 *m* langen stählernen Schienen über diesem Zwischenraume freischwebend behandelt (Fig. 70). Die Befestigung der Schienen unter einander geschieht wie früher durch gewöhnliche Laschen und die der Schienen auf den Schwellen durch eine grössere Anzahl von Schraubenbolzen und Deckplättchen. Gegen Längsverschiebung des Schienenstranges werden die Laschen nutzbar gemacht, deren eine sich gegen die benachbarten Deckplättchen der Schienenbefestigungsschrauben stützt. Auf Schienenlänge dient nur noch eine Rundstange als Querverbindung zwischen den Schienenstegen, dagegen sind nun die Enden der Langschwellen auf eiserne Querschwellen desselben Querschnittes wie sie selbst gelagert. Was gerade diese letzteren betrifft, so geschah ihre Anordnung in der Absicht, die Verschwächung des Gleisstranges durch die Stossfugen der Langschwellen zu beseitigen; nach der Anschauung vieler Ingenieure wurde jedoch diese Absicht nicht in entsprechender Weise erreicht, indem nun umgekehrt die bezeichneten Stellen der Stränge sich weniger nachgiebig erwiesen als alle übrigen Stellen derselben, und auch die ungleich tiefe Lage von Lang- und Querschwellen in mancher Beziehung ungünstig wirkten. Weitere, in der Folge durchgeführte Abänderungen der beschriebenen Construction waren deshalb vorzugsweise auf Beseitigung dieses Missstandes gerichtet. Es ist jedoch hier nicht der Ort, näher auf dieselben einzugehen, weshalb auf die betreffenden Mittheilungen in den Technikerversammlungen und die Veröffentlichungen der Zeitschriften hingewiesen werden muss. Statt dessen sollen noch einige andere zweitheilige Oberbauformen in Betracht gezogen werden.

23. Andere Formen zweitheiligen Oberbaues. Neben der Hilf'schen Anordnung entstanden allmählich eine ganze Reihe anderer Formen, welche sich entweder als Weiterentwickelungen jener darstellen oder als ganz selbständige Constructionen erscheinen. Von ihnen sollen nur die wichtigsten, welche schon eine gewisse Anerkennung gefunden haben, noch kurze Erwähnung finden.

Zunächst ist an die Versuche der Rheinischen Eisenbahn zu erinnern, welche, von der Hilf'schen Anordnung aus-

gehend, schliesslich zu einer eigenthümlichen Form des zweitheiligen Oberbaues führten. Man gelangte nämlich zu der Ueberzeugung, dass die schwachen Stellen des Gleisstranges an den Stössen der Langschwellen und Schienen, welche sich durch grössere Durchbiegungen daselbst und vermehrte Unterhaltungsarbeiten kundgaben, am zweckmässigsten durch Verstärkung der Schienen und der zu ihrer gegenseitigen Verbindung dienenden Laschen beseitigt werden könnten und stellte deshalb zum erstenmal den Grundsatz auf, es sei der zweitheilige Oberbau am besten mit verhältnissmässig leichten Langschwellen und schweren Schienen mit Winkellaschen anzuordnen. Dieser Grundsatz fand in der Folge mehr und mehr Anerkennung und beeinflusste auch den Hilf'schen Oberbau selbst, insoferne derselbe etwas schwerere Schienen und

Fig. 71.



stärkere Laschenverbindungen erhielt. Nach Fig. 71 ist der Querschnitt der Langschwelle beim Oberbau der Rheinischen Eisenbahn trapezförmig. Ihre Länge beträgt 8·9 *m*, die Breite der Stossfuge zwischen je zweien derselben nur 105 *mm*. Der Schienenstoss fällt nicht mit dem Stosse der Schwellen zusammen, sondern ist um ungefähr 0·5 *m* gegen denselben versetzt. Zur Querverbindung dienen auf Schienenlänge drei Rundstangen. Die Verbindung der Schienen und Schwellen mit einander geschieht, in ähnlicher Weise wie beim Hilf'schen Oberbau, mit Bolzen und Deckplättchen. Eine genaue Beschreibung ist in einer besonderen Druckschrift [1]) und in der Folge wiederholt in ähnlichen Veröffentlichungen gegeben worden.

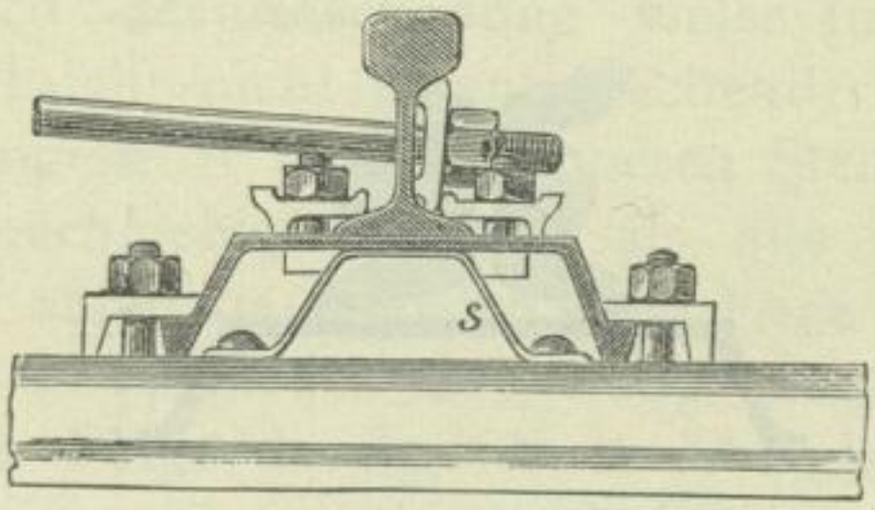
---

[1]) Der Langschwellen-Oberbau der Rheinischen Eisenbahn etc. Von Louis Hoffmann. Berlin 1880.

Ein anderer zweitheiliger Oberbau wurde von Hohenegger, Director der österreichischen Nordwestbahn, im Jahre 1876 in Vorschlag und auf mehreren Linien zur Ausführung gebracht. (Zeitschr. des österr. Ing.- und Arch.-Vereins 1876, S. 67, sodann Wochenschrift zu dieser Zeitschrift 1876, S. 135 und 346.)

Nach Fig. 72 besitzt auch dieser Oberbau Langschwellen von trapezförmigem Querschnitte, welche nur in Einzelnheiten von der vorhin beschriebenen abweichen. An den Stössen werden sie, wie bei der Hilf'schen Anordnung aus dem Jahre 1876, durch Querschwellen desselben Profiles gestützt, auf welchen ausserdem zur weiteren Deckung des Stosses und um das Einfressen der Langschwellenrippen zu

Fig. 72.



verhüten, sattelförmige Deckplatten (*s* in Fig. 72) aufgenietet sind. Die Fahrschienen sind vignolesförmig, jedoch kräftiger wie bei Hilf, und an den, gegen die Schwellenenden etwas versetzten Stössen mit Winkellaschen verbunden. Sie werden in der gewöhnlichen Weise mit Schraubenbolzen an den Langschwellen befestigt und durch zwei Spurstangen auf Schienenlänge quer verbunden.

Auf die verschiedenen, im Laufe der letzten Jahre ausgeführten Abänderungen und Verbesserungen der ursprünglichen Anordnung kann ebenfalls nicht eingegangen werden, ebensowenig auf verschiedene andere zweitheilige Constructionen, von welchen nur die von Heusinger v. Waldegg in Vorschlag gebrachte Erwähnung finden soll, weil sie sich von allen übrigen durch Verbindung von Brückschienen mit starken Langschwellen und eine eigenthümliche Befestigungs-

weise der ersteren mittelst Kramphaken und Keil unterscheidet. Dagegen soll noch von dem Haarmann'schen Oberbau die Rede sein, welcher gleich nach seinem Auftreten von Erfolg begleitet war und nach Allem, was bis jetzt darüber bekannt geworden ist, eine grosse Zukunft haben wird.

Die erste Versuchsstrecke kam im Jahre 1878 zu Stande und schon um die Mitte 1882 waren mit mancherlei Verbesserungen, die zum Theil von dem Geh. Oberbaurath Schwedler veranlasst worden waren, rund 450 *km* verlegt oder in Ausführung begriffen. Die Figuren 73 bis 75 zeigen die Anordnungsweise des Haarmann'schen Oberbaues im Wesentlichen so deutlich, dass nur noch Weniges beigefügt zu werden braucht. Hervorzuheben ist die besondere Querschnittsform der Langschwellen,

Fig. 73a.

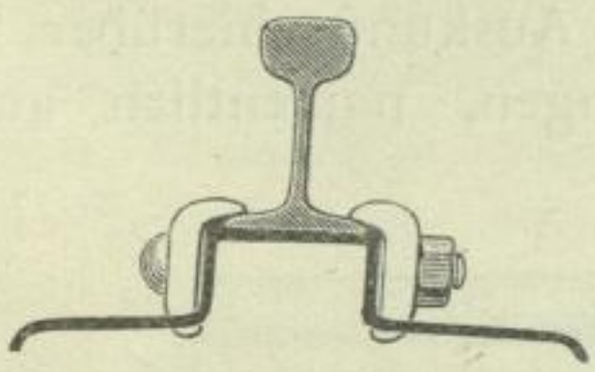
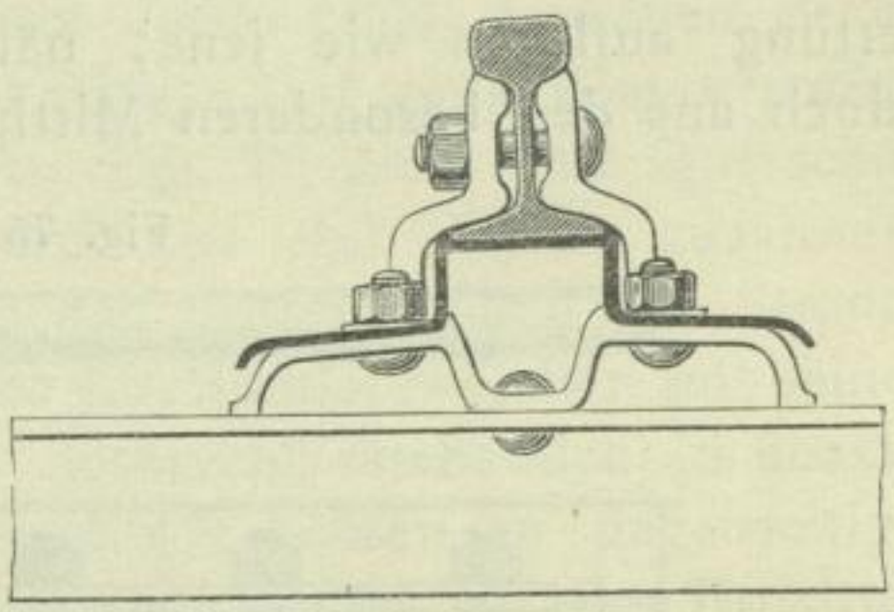


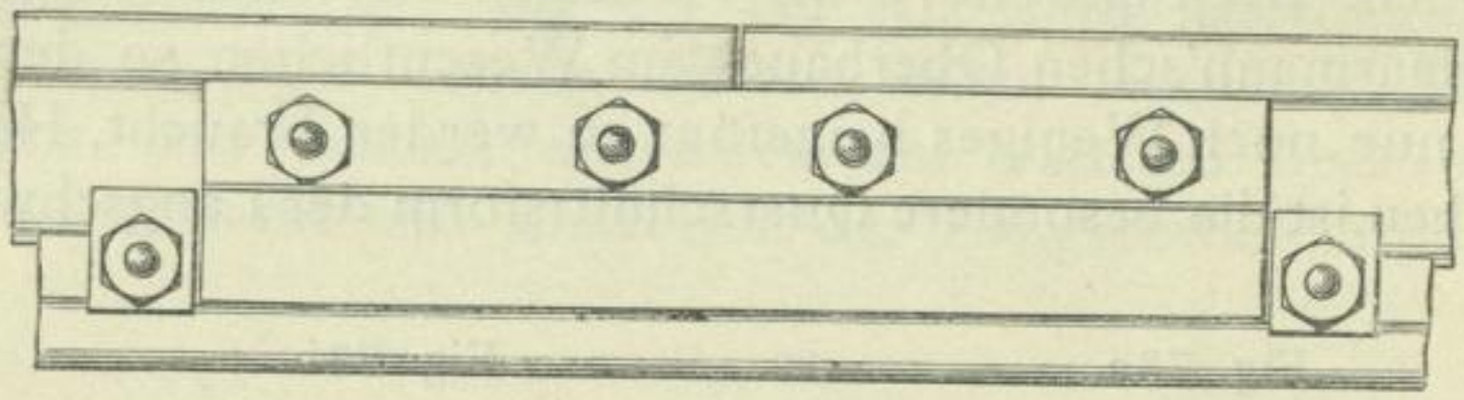
Fig. 73b.



welche bei grosser Widerstandsfähigkeit eine gute Druckvertheilung und die Erzeugung bedeutender Reibung von Kies auf Kies gewährleistet. Eigenthümlich ist sodann die Verbindung der Fahrschienen mit den Langschwellen durch hakenförmige Theile und Bolzen (Fig. 73*a*), und grosse Sorgfalt wurde auf die Verlaschung der Schwellenstösse (Fig. 73*b*) und auf die Vereinigung der Gleisstränge nach der Quere verwendet. Unter Beiseitelassung der Querschwellen, welche beiden Zwecken gleichzeitig zu dienen hatten, aber eine zu wenig nachgiebige Lagerung der Stösse bewirkten, werden die Stossfugen der Langschwellen mit kräftigen sattelförmigen Deckplatten versehen und zwischen den Strängen mehrere Winkeleisen angebracht, welche zugleich einen wirksamen Schutz gegen das Wandern der Stränge bieten. Neuere Ver-

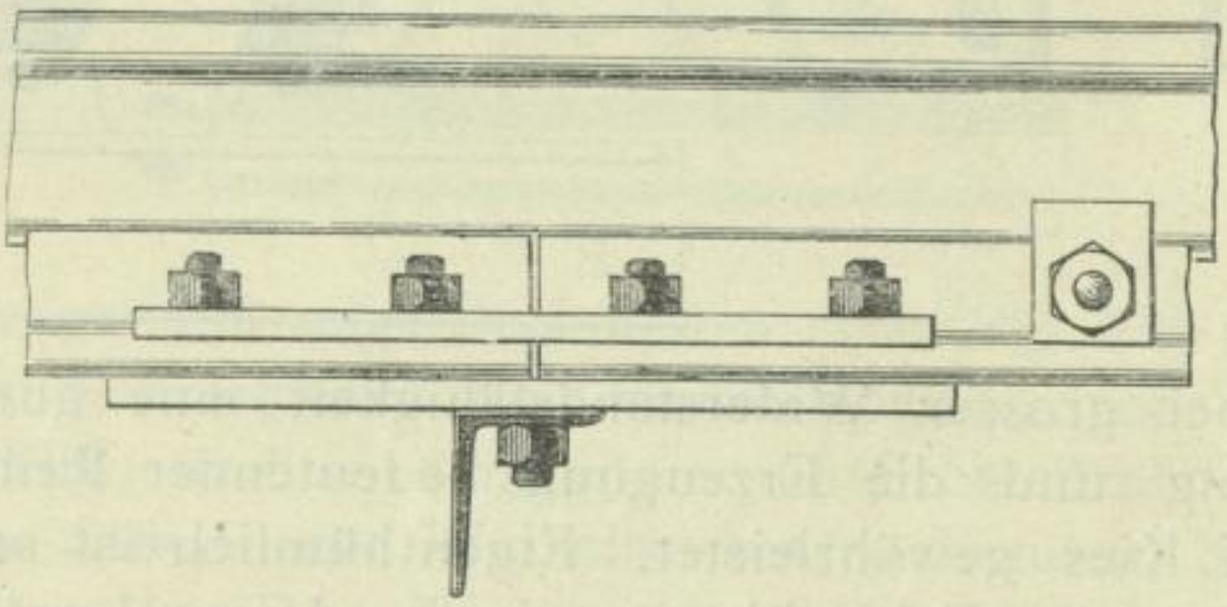
besserungen beziehen sich auf die Verstärkung der Schwellenlasche, die Formung der Langschwellen an der Auflagerfläche der Schienen in der Art, dass diese nicht mit ihrer ganzen Fussbreite, sondern hauptsächlich lothrecht unter dem Stege aufzuruhen kommen und in Folge dessen Längsrisse leichter vermieden werden, endlich auf den Ersatz der Querwinkel durch je ein Paar versteifter Flacheisen, welche bei grösserer seitlicher Widerstandsfähigkeit sich weniger in der

Fig. 74.



Bettung auflegen wie jene; nähere Auskunft hierüber ist jedoch aus den besonderen Mittheilungen, namentlich auch

Fig. 75.



aus den in Druck veröffentlichten Vorträgen Haarmann's im Vereine für Eisenbahnkunde zu Berlin zu erholen.

24. Dreitheiliger Langschwellen-Oberbau von Scheffler, Abänderungen desselben. Oberbau von De Serres & Battig. Die dreitheiligen Anordnungsweisen sind noch etwas älter als die bisher besprochenen Formen des eisernen Oberbaues. Schon im Jahre 1862 wurde von dem damaligen Baurath Dr. H. Scheffler der Vorschlag zu einem dreitheiligen Langschwellenoberbau aus Eisen gemacht, für welchen folgende Gesichtspunkte festgehalten wurden:

Er sollte eine ebenso grosse Grundfläche wie der Holzquerschwellenoberbau gewähren, bei grösserer Steifigkeit des Stranges aber eine gleichmässigere Druckvertheilung wie dieser. Ausserdem sollte er beim Schadhaftwerden des Kopfes die Auswechslung der kleinstmöglichen Materialmasse gestatten, indem die der Abnützung zunächst ausgesetzte Fahrschiene als ein besonderer Theil, aus dem besten Materiale und unter möglichst günstigen Umständen hinsichtlich des Walzprocesses gebildet wurde. In einer damals erschienenen Abhandlung wurden zwei von einander etwas abweichende Formen besprochen und besonders eine derselben zur Ausführung empfohlen.

Der Vorschlag Scheffler's fand zuerst auf der Braunschweig'schen Staatsbahn Berücksichtigung, indem der neue Oberbau in drei Formen versuchsweise zur Darstellung gelangte, von welchen der im Jahre 1864 zwischen Braunschweig und Wolfenbüttel verlegte fast ganz dem ursprünglichen Vorschlage entsprach. Fig. 76 giebt den Querschnitt des Gleisstranges, welcher sich aus drei Theilen zusammensetzt, zwei Winkeln, welche den unteren Theil des Stranges bilden und einem T-förmigen Kopftheile, welcher mit seinem Halsansatze zwischen den lothrecht stehenden Schenkeln steckt und mit denselben durch Bolzen in gegenseitigen Abständen von etwa $1^3/_4$ Fuss verschraubt ist. Zur Erhaltung der Schienenstränge in richtiger Lage und Entfernung von einander und um Längsverschiebungen derselben entgegenzuwirken, wurden in Abständen von $2^6/_7$ Fuss Flacheisen in hochkantiger Lage verwendet, welche an beiden Enden rechtwinkelig umgebogen und mit den Winkeln der beiden Stränge vernietet waren. Die Stossfugen der Fahr- und Unterschienen wechselten regelmässig in der Art ab, dass der Stoss beider Winkel im selben Querschnitte erfolgte und hier durch eine Platte von 14 Zoll Länge an der Unterseite des Stranges gedeckt wurde. Um die Längenausdehnung des Gestänges bei Temperaturwechsel zu ermöglichen, besass die Fahrschiene, wie auch die zuletzt erwähnte Stossplatte, längliche Bolzenlöcher. Das Gleis der anderen, ebenfalls 1864 angelegten Versuchsstrecke unterschied sich von der ersten, eben be-

schriebenen in den Abmessungen der einzelnen Theile, sodann dadurch, dass zur Querverbindung starke Doppelt-T-Eisen unter den Strängen angebracht waren. Bei der dritten, im Jahre 1865 in Betrieb gesetzten Strecke endlich sollten steife Querverbindungen aus U-Eisen, wiederum von Steg zu Steg der Stränge reichend, erprobt werden. Die bei letzterer zum erstenmale aus Gussstahl gebildete Fahrschiene (bei den anderen Strecken bestand sie aus Feinkorneisen) wurde mit Keilbolzen befestigt und die stehenden Schenkel der beiden Winkel hatten oben einen kleinen seitlichen Ansatz erhalten, um dem Kopfstücke eine Unterstützung von unten zu gewähren.

Andere Abänderungen erfuhr der Scheffler'sche Oberbau in den folgenden Jahren; so nahm z. B. die Hannover'sche

Fig. 76.

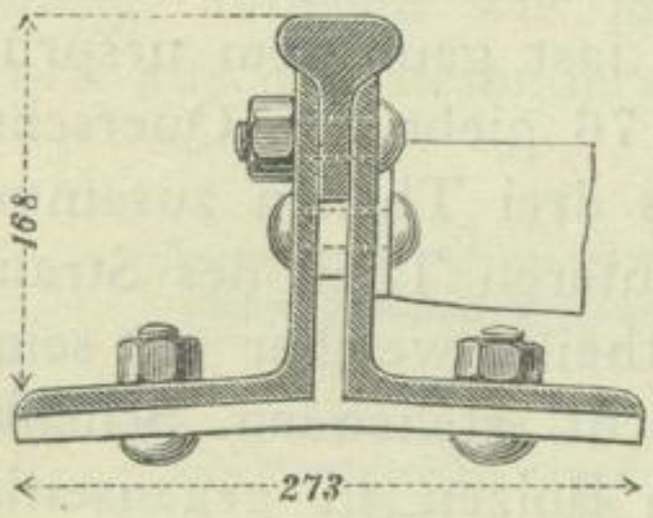
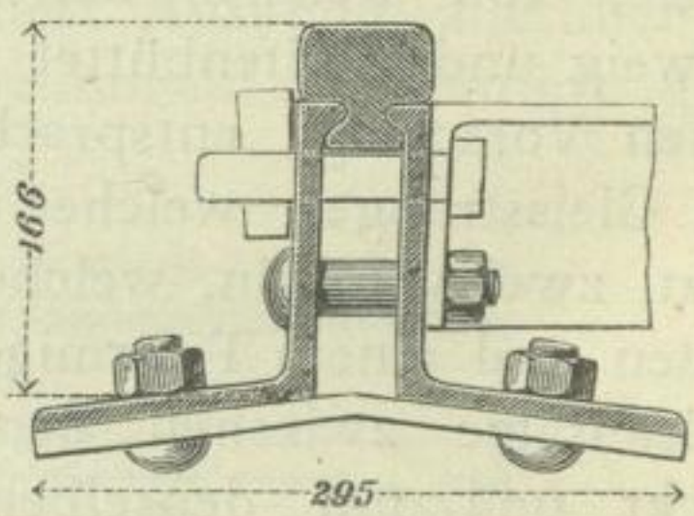


Fig. 77.



Staatsbahn die liegenden Winkelschenkel nicht mehr wagrecht, sondern etwas geneigt an und nietete unter dieselben an den Stössen, wie auch in halber Länge der Winkel, kurze Stücke T-Eisen an, während sie als Querverbindungen, wie früher, hochgestellte Flacheisen benützte. Wiederum eine etwas andere Gestalt gab ihm Daelen, Director der Hörder Walzwerke im Jahre 1868, indem er nach Fig. 77 die stehenden Winkelschenkel oben mit einer Längsrippe besäumte, welche sich in Nuthen des Kopfstückes einlegten und zur Vereinigung der drei Theile Keilbolzen anwandte, welche nur die stehenden Schenkel der Winkel durchdrangen. Da jede Lochung des stählernen Kopftheiles dabei in Wegfall kam, wurden die sonst öfters beobachteten Brüche desselben ganz vermieden. Und so liessen sich noch andere Verbesserungsversuche mehrerer Bahnverwaltungen namhaft

machen. Im Folgenden soll jedoch nur noch das Urtheil angeführt werden, welches sich die Fachleute nach den Berathungen in den Technikerversammlungen und den besonderen Veröffentlichungen über die gemachten Erfahrungen mit dreitheiligen Constructionen gebildet haben.

Auf der dritten Technikerversammlung zu Dresden (1865), wo man sich mit dem eisernen Oberbau überhaupt beschäftigte, empfahlen mehrere Verwaltungen vorzugsweise die dreitheiligen Formen desselben, Beobachtungen an demselben standen jedoch nur der Braunschweigischen Staatsbahn zur Verfügung, welche dieselben als zufriedenstellende bezeichnete. Auch auf der Münchener Versammlung (1868) ist noch vorzugsweise von dreitheiligem Oberbau die Rede, wie er namentlich in Braunschweig, Hannover und Württemberg in Versuch genommen worden war, allein die beigebrachten Erfahrungen liessen noch keine sicheren Schlüsse über den Werth desselben zu. Bemerkenswerth waren nur vereinzelte Aeusserungen, wonach die verschiedenen Theile des Schienenstrangs nicht immer die erforderliche Beweglichkeit bei Temperatureinwirkungen zeigten und dass öfters Brüche des befahrenen Kopftheiles durch die Bolzenlöcher seines Halsansatzes zu beklagen seien. Eingehender schon war der für die in Hamburg 1870 in Aussicht genommene Technikerversammlung bestimmte Bericht über die Frage des eisernen Oberbaues, in welchem es wörtlich hiess: „Das allgemeine Resultat, welches aus den Mittheilungen der verschiedenen Bahnverwaltungen hervorgeht, ist noch immer ein ziemlich unbestimmtes. Fast jedes der zur Anwendung gebrachten Systeme wird von der Verwaltung, die es zur Ausführung gebracht, günstig beurtheilt, nur das dreitheilige System, sowohl das mit hoher wie das mit niedriger, aber breiter Unterschiene wird, das erste von der Hannoverischen, das letztere von der Württembergischen Bahnverwaltung entschieden getadelt, indem von beiden Bahnverwaltungen die bereits in ihren Beantwortungen dieser Frage vom Jahre 1868 angegebenen Mängel, welche in der zu geringen inneren Beweglichkeit dieser Construction bei Ausdehnung ihrer Theile und dem daraus folgenden häufigen Verschieben des Gleises

nach Höhe und Richtung bestehen, aufrecht erhalten werden."

„Das dreitheilige System mit hoher Unterschiene findet indessen seitens der Braunschweigischen Verwaltung bei umfangreicher Ausführung desselben (19.150 *m* vollendet und 15.850 *m* in Ausführung) eine so entschieden günstige Beurtheilung, dass es nicht ungerechtfertigt erscheint, die ungünstigen Erfahrungen der Hannoverischen Verwaltung an der, nur auf 1500 *m* ausgeführten Strecke zufälligen örtlichen Umständen zuzuschreiben. Nichtsdestoweniger scheint die mangelnde Beweglichkeit der einzelnen Theile gegen einander bei der durch Temperaturunterschiede erzeugten Längenänderung dieser Theile, neben der Kostspieligkeit der Anlage der schwächste Punkt dieser Anordnung zu sein."

„Das dreitheilige System mit niedriger, aber breiter Unterschiene (nach Köstlin und Battig), dessen Anlagekosten noch höher als die des dreitheiligen Systems mit hoher Unterschiene zu stehen kommen, theilt mit diesem den Mangel an innerer Beweglichkeit, wird sich aber allem Anscheine nach sanfter als letzteres fahren. (Organ f. d. F. d. E. 1871, S. 41, 193.)

Auf der folgenden Technikerversammlung zu Düsseldorf äusserten sich wiederum Braunschweig günstig, Württemberg und Sachsen ungünstig, und ebenso Hannover, wo die Versuchsstrecke mit dreitheiligem Oberbau unterdessen wieder aufgegeben worden war. Die Versammlung selbst erklärte zuletzt, dass hinsichtlich des dreitheiligen Oberbaues in Eisen ausreichende Erfahrungen noch nicht vorlägen. (V. Supplementband, S. 15 bis 18.)

Aus der sehr gründlichen Besprechung des eisernen Oberbaues in Stuttgart (1878) endlich, welche ein gutes Bild von dem damaligen Stande der Angelegenheit gewährt, wird von dem fraglichen dreitheiligen Oberbau nur gesagt, dass derselbe von keiner anderen Verwaltung von Neuem zu Versuchen benützt worden sei, so dass man damals den Eindruck gewann, er könne mit den verbreiteten Formen des zweitheiligen Oberbaues keinesfalls mehr wetteifern (VI. Supplementband, S. 43 bis 57). Damit stimmt auch die

Aeusserung eines hervorragenden preussischen Eisenbahningenieurs [1]) überein, wonach „Versuche mit dreitheiligen Oberbausystemen bei den Preussischen Staatsbahnen zwar in früherer Zeit gemacht worden sind, jedoch zur Zeit nicht mehr angestellt werden. Das Hauptmotiv dieses Systems, den der Zerstörung besonders ausgesetzten Theil, die Fahrschiene, so zu gestalten, dass bei der nothwendigen Auswechselung möglichst wenig Material entwerthet wird, dürfte seine Berechtigung zum grossen Theil verloren haben, seitdem die Preise der Stahlschienen wenig mehr von denen für Eisenschienen verschieden sind."

Steht nach alledem fest, dass der dreitheilige Oberbau im Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen, von den Braunschweigischen Bahnen abgesehen, keine Verbreitung gefunden hat, so ist doch nicht zu übersehen, dass man gerade in Braunschweig unverrückt an ihm festgehalten hat und nach mancherlei Abänderungen auch jetzt noch mit den erzielten Erfahrungen befriedigt zu sein scheint. (Siehe in dieser Beziehung: Der eiserne Oberbau auf den Braunschweigischen Bahnen. Von Oberbaurath Dr. H. Scheffler, Organ f. d. F. d. E. 1882, S. 201.)

Neben den bisher besprochenen dreitheiligen Oberbauformen ist im Jahre 1876 eine eigenthümliche Construction von De Serres & Battig angegeben worden, welche grosses Aufsehen erregte, weil bei ihr fast alle kleineren Verbindungstheile in Wegfall kamen und die Zusammenordnung der beiden winkelförmigen Unterschienen und des, zwischen sie eingelegten Kopfstückes eine sehr feste Verbindung erwarten liess. Dieselbe wurde auf mehreren Versuchsstrecken in Oesterreich, Belgien und Frankreich zur Ausführung gebracht und in einer sehr ausführlichen Veröffentlichung: „Eiserner

---

[1]) Ueber die Erfolge, welche mit verschiedenen Systemen des eisernen Oberbaues bei den Preussischen Staatsbahnen und den vom preussischen Staate verwalteten Privatbahnen erzielt worden sind. Vortrag vom Geh. Baurath E. Grüttefien auf der Versammlung des „Iron and steel Institut" zu Düsseldorf, 25. bis 28. Aug. 1880: Deutsche Bauztg. 1880, S. 370 Organ f. d. F. d. E. 1881, S. 20.

Oberbau, dreitheiliges Langschwellensystem De Serres & Battig, deutsch von Pollitzer, Wien 1879" — bekanntgegeben. Ob dieselbe die erweckten, theilweise sehr grossen Hoffnungen wirklich erfüllen wird, muss die Zukunft lehren.

25. Eiserner Querschwellen-Oberbau. Früher als eiserne Langschwellen waren Querschwellen aus Schweisseisen (jetzt öfters Flusseisen) im Gebrauche. Die ersten Versuche mit ihnen machten die Belgier schon im Jahre 1862, ihnen folgten dann eine Zeitlang die Franzosen und neuerdings sind Querschwellen auch in Deutschland und Oesterreich beliebt geworden. Sehr wichtig ist die Wahl eines passenden Schwellenquerschnittes, mit welcher man zuerst nicht sehr glücklich war, indem man zu niedrige Formen, wie das liegende Doppelt-T u. dergl. annahm, bis Vautherin in Frankreich die nach ihm benannte Querschnittsform (Fig. 78) im

Fig. 78.

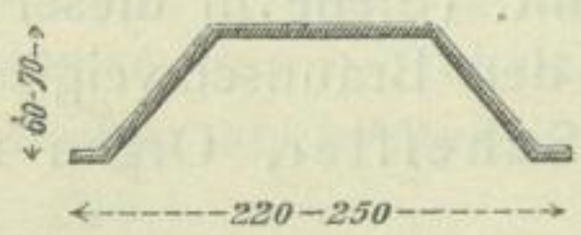
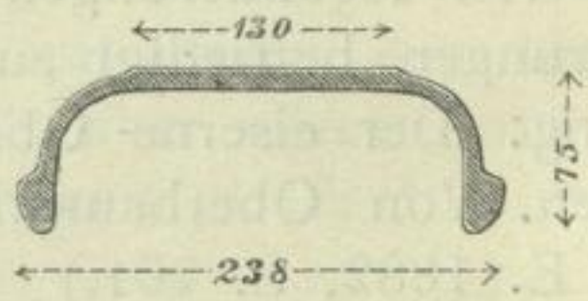


Fig. 79.



Jahre 1864 einführte, welche sich bis in die neueste Zeit erhalten hat, weil sie bei guter Materialvertheilung die Hauptbedingung für eiserne Querschwellen erfüllt, einen grösseren Kieskörper zu umschliessen, wodurch die Möglichkeit gewährt wird, Reibung von Kies auf Kies zur Geltung zu bringen, während die Reibung von Eisen an Kies nicht bedeutend genug ist, um eine genügende Widerstandsfähigkeit gegen seitliche Einwirkungen zu gewähren. In neuerer Zeit ist das Profil der Haarmann'schen Langschwelle (Fig. 73) auch für Querschwellen, namentlich auf den Preussischen Staatsbahnen angenommen worden, andere ebenfalls neuerdings beliebte Formen zeigen Fig. 79 und Fig. 82, bei welchen auf den Einschluss eines recht grossen Kieskörpers und die Umbildung oder gänzliche Beseitigung der bei der Vautherin-Schwelle vorhandenen breiten Fussränder, welche das gleichmässige Eindringen in den Boden erschweren, besonders Bedacht genommen ist.

Die Länge der Schwellen wird jetzt mindestens 2·5 *m* gewählt und ihr Gewicht zwischen 50 und 70 *kg*, nachdem man auch in dieser Hinsicht früher zu leicht construirt hatte. Die erforderliche Schiefstellung der Schienenstränge wird jetzt noch zuweilen durch Krümmung der Schwellen in der Lothebene oder durch Aufbiegen derselben an beiden Enden erzielt, doch wird ein solches Verfahren von einem Theile der Ingenieure nicht gebilligt, weil sie annehmen, dass die Festigkeit der Schwellen durch die gewaltsame Biegung leidet und durch das Zurückgehen derselben in ihre ursprüngliche Form leicht Spurveränderungen eintreten. Bei neueren Anordnungen werden deshalb häufiger keilförmige Unterlagsplatten zwischen Schienen und Schwellen verwendet, welche gleichzeitig die Schwelle vor den Angriffen des Schienenfusses schützen. In vereinzelten Fällen hat man auch schiefe Auflagerflächen an den sonst geraden Querschwellen durch eine eigenthümliche Herstellungsart ausgeführt, oder Schienen zur Anwendung gebracht, welche bei lothrechter Stellung ihrer Achse eine schiefe Kopffläche darboten. Um Reibung im Bettungskörper selbst wirksam zu machen, werden die Schwellen an ihren Enden geschlossen, entweder durch Einnieten von Winkeleisenstücken u. dergl., oder durch Aufschneiden der Schwellenenden und Umbiegen der Lappen; zuweilen hat man auch durch weitere zwei Querwände drei Abtheilungen des Hohlraumes der Schwelle erzielt.

Ganz besondere Sorgfalt verlangt die Verbindung von Schienen und Schwellen, welche bei genügender Stärke möglichst einfach sein soll, bei thunlichst geringer Anzahl der einzelnen Theile, während die Befestigungsmittel von oben eingebracht und gegen unmittelbare Einwirkungen des Schienenfusses geschützt werden sollen. Die ursprünglich besonders beliebte Keilbefestigung (Fig. 80) hat nicht immer entsprochen, namentlich weil die dünnen Befestigungsstücke und die für sie in der Schwellendecke angebrachten Schlitze leicht ausgewetzt wurden. Doch hat man diesen Uebelstand durch Verstärkung der Schwellendecke oder durch Benützung von Unterlagsplatten wesentlich gehoben. Oefters werden an einer Befestigungsstelle, wie aus der Figur zu ersehen, vier Theile

verwendet, zwei sogenannte Kramphaken, welche sich beide einerseits über den Schienenfuss, andererseits an die Decke der Schwelle legen und ein Keil, welcher zwischen den einen Kramphaken und ein besonderes Schlussstück eingetrieben wird. Um die verschiedenen Spurmasse in gekrümmten Gleisstrecken herzustellen, erhält der eine hakenförmige Theil und das Schlussstück wechselnde Stärke. Viel häufiger wird jetzt die Schraubenbefestigung benützt bei höchst mannigfaltiger Anordnung im Einzelnen, so wurde insbesondere die wechselnde Spurweite in den Krümmungen bei gleichartiger Lochung der Schwellen bald durch Ansätze an den Bolzenschäften, bald durch solche an den Deckplättchen oder auch bei stets gleicher Form der Bolzen und Platten durch besondere Einlagstücke erzielt.

Fig. 80.

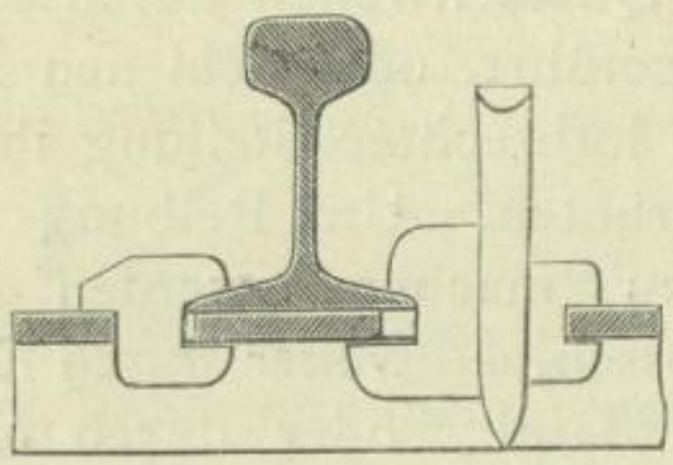
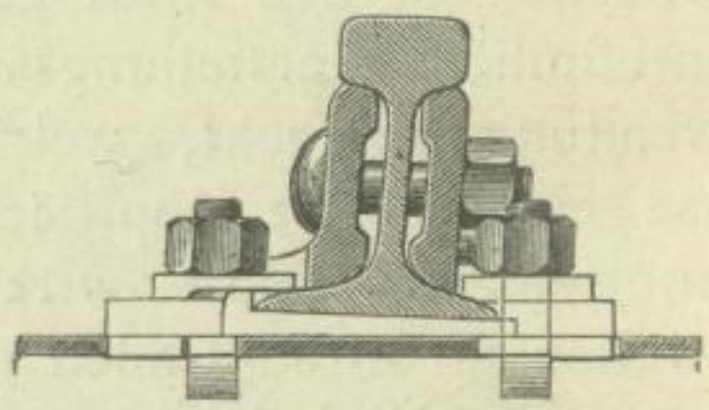


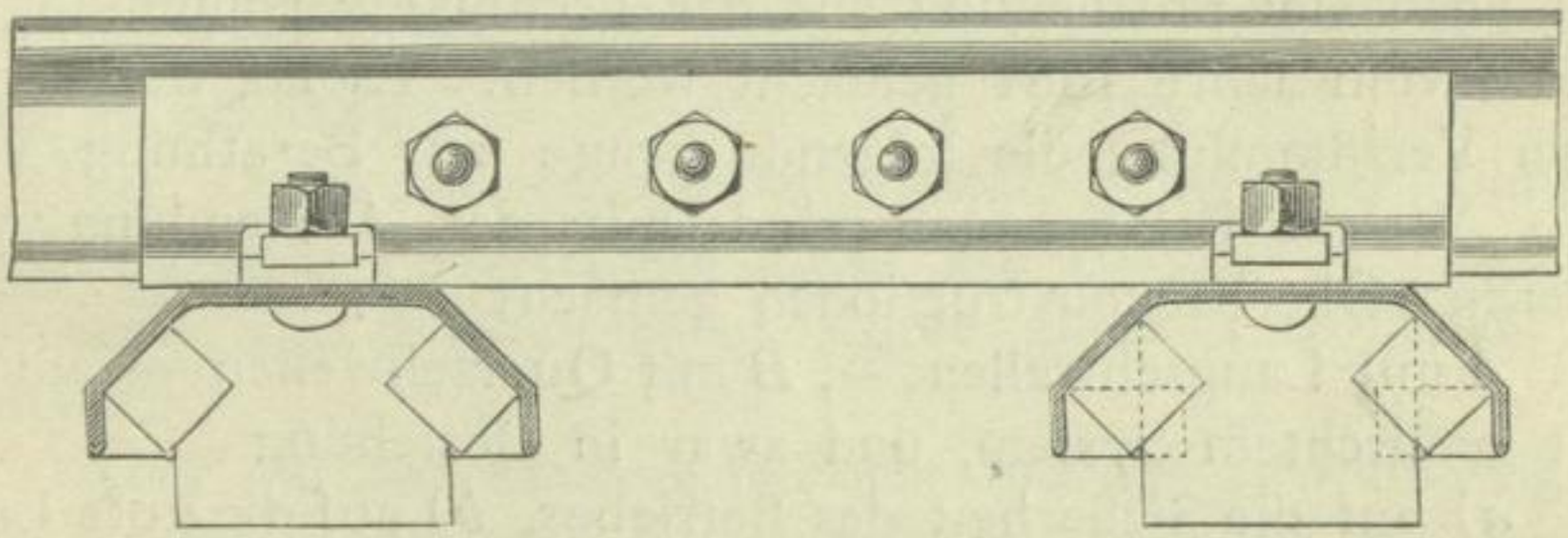
Fig. 81.



Auf alle Versuche dieser Art und auf sonstige Einzelnheiten, wie auch auf andere in Vorschlag gebrachte Befestigungsweisen einzugehen, ist hier ganz unmöglich. Deshalb werde neben den besonderen, gelegentlich schon erwähnten Handbüchern noch auf eine übersichtliche Abhandlung: „Neuere Querschwellen-Oberbausysteme in Eisen" von Dolezalek in der Zeitschr. des Arch.- und Ing.-Ver. zu Hannover 1883, Heft 3 und 4, verwiesen, als Beispiel eines neueren Oberbaues mit eisernen Querschwellen aber die in Fig. 81 und 82 dargestellte Anordnung von Heindl, Inspector der k. k. Generalinspection der österreichischen Eisenbahnen, gegeben, welche zuerst im Organ f. d. F. d. E. 1882, sodann in einer besonderen Schrift: „Der Oberbau mit eisernen Querschwellen". Von F. Heindl etc. Wien 1884, besprochen wurde. Zwischen der geraden Schwelle und der Schiene liegt eine keilförmige Unterlagsplatte mit einem erhöhten äusseren Rande, welche

sammt der Schiene mittelst Beilagstücken und Schraubenbolzen sowie Deckplatten an die Schwelle befestigt wird. Durch die Beilagstücke sollen die beiden Schienenstränge in der richtigen Entfernung von einander gehalten und die seitlichen Angriffe sammt dem Längsschub der Fahrschienen auf die Schwellen übertragen werden. Sie legen sich an der Aussenseite des Stranges gegen die Unterlagsplatte, innen aber gegen den Schienenfuss, während sie mittelst ihren, in die Schwellendecke eingreifenden Ansätzen an den von der Schiene entfernter liegenden Stirnflächen der Schwellenschlitze ihre Stütze finden. Indem die innere Winkellasche die beiden, auf den Stossschwellen angebrachten Beilagstücke umfasst, wird das Wandern der Schienen verhindert (Fig. 81 und 82). Die Beilagen sind auf ihrer, der Schiene zugekehrten Seite

Fig. 82.



mit halbrunden oder rechteckigen, offenen Schlitzen versehen, innerhalb welchen die Schraubenbolzen so viel Spielraum finden, dass sie seitlich nicht in Anspruch genommen werden können. Durch Beilagen verschiedener Länge endlich wird der geforderte Wechsel der Spurweite in den Krümmungen erzielt.

Während so durch die Beilagstücke alle in der Schienenauflagerfläche wirksamen Kräfte aufgenommen werden, haben die Schraubenbolzen sammt Deckplatten in der gewöhnlichen Weise ausschliesslich die lothrechten Kräfte zu übernehmen. Das Drehen der Bolzen wird durch einen rechteckigen Ansatz an ihrem Schaft und das Drehen der Deckplatten durch Ansätze an den Beilagstücken, zwischen welche sie sich legen, verhindert.

26. Schlussbemerkungen. Es ist schon Eingangs der Betrachtungen über eisernen Oberbau hervorgehoben worden, dass eine kritische Vergleichung der verschiedenen Oberbauconstructionen in Eisen hier nicht beabsichtigt sei. Es ist diese Angelegenheit noch nicht so klar gestellt, wie es zu einer bündigen Darstellung erforderlich wäre, und sind erst noch Erfahrungen an betriebenen Bahnlinien abzuwarten, wie auch besondere Versuche über die Leistungsfähigkeit der mancherlei Formen unter möglichst gleichen Umständen, wie solche auf den Preussischen Staatsbahnen in Aussicht genommen und ausserdem von Director Haarmann in Osnabrück zur Ausführung gebracht worden sind. (Siehe in letzter Beziehung zwei Vorträge Haarmann's im Verein für Eisenbahnkunde zu Berlin, vom 11. Januar 1881 und 9. Mai 1882, veröffentlicht in den betreffenden Jahrgängen von Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen.) Hier soll zur weiteren Erläuterung nur noch eine Mittheilung aus der Technikerversammlung in Berlin vom Jahre 1884 gemacht werden. Es lag der damaligen Versammlung die folgende Frage zur Berathung vor:

„Welche Erfahrungen sind mit der Anwendung von eisernen Oberbauconstructionen gemacht

A mit Langschwellen —, *B* mit Querschwellen — und *C* mit gemischtem System, und zwar in Beziehung

a) auf die Sicherheit des Betriebes, *b)* auf die gute Lage des Gleises in Höhe, Richtung und Spurweite, *c)* auf die Kosten der Erhaltung des Oberbaues an Arbeitslohn und Material im Vergleiche zu anderen Oberbauconstructionen und mit Berücksichtigung der Grösse des Verkehrs, *d)* auf die Beschaffenheit der Unterbettung, *e)* auf die für die Schienen und Schwellen angewendeten Formen und Gewichte, sowie die Art der Verbindungstheile, *f)* auf die Dauer der Schwellen?"

Nach genauer Prüfung der von 24 Bahnverwaltungen mitgetheilten Erfahrungen gelangte man zur nachstehenden Schlussfolgerung:

„Die Verwendung des eisernen Oberbaues im Allgemeinen befindet sich noch auf dem Standpunkte der Versuche, es können daher endgiltige Schlüsse über den Vorzug des einen oder anderen Systems nicht gezogen werden.

Was den Langschwellenoberbau betrifft, so ist bei dessen Verwendung eine starke Unterbettung aus durchlässigem, erd- und sandfreiem, grobem Material (Kies oder Steinschlag), sowie eine möglichst vollkommene Entwässerung desselben unbedingtes Erforderniss. Zu Bedenken giebt Anlass, dass erfahrungsgemäss alle Sickerungsanlagen mit der Zeit unwirksam werden.

Die Sicherheit des Betriebes ist bei allen bisher angewendeten Systemen gewahrt.

Ueber die gute Lage des Gleises in Bezug auf Höhe, Richtung und Spurweite hat sich eine feste Meinung darüber, ob dem Langschwellen- oder Querschwellensystem der Vorzug zu geben sei, noch nicht gebildet.

Auch über die Kosten der Unterhaltung beider Systeme sind Mangels statistischer Unterlagen über das Verhalten unter gleichen Verhältnissen (namentlich gleich guter Bettung) mit Lang- und Querschwellen belegter Strecken und bei der verhältnissmässig kurzen Beobachtungszeit sichere Anhalte noch nicht zu gewinnen.

Der Querschwellenoberbau scheint bei Verwendung eines kräftigen Profiles und nicht zu knapper Länge der Schwellen mit geschlossenem Kopfe allen Ansprüchen zu genügen.

Ueber die zweckmässigste Form und das zweckmässigste Gewicht der Lang- und Querschwellen, über die Höhe und das Gewicht der Schienen, sowie über die besten Verbindungstheile sind weitere Erfahrungen abzuwarten. Die Befestigung der Schiene auf der Querschwelle durch Bolzen hat häufiger Verwendung gefunden als durch Keile.

Ueber die Dauer der eisernen Schwellen liegen noch keine Erfahrungen vor." (IX. Supplementband, S. 27—36.) Im Uebrigen sei noch auf das „Handbuch für Specielle Eisenbahntechnik", I. Band, von Heusinger v. Waldegg, auf „Vorträge über Eisenbahnbau", I. Heft, Eisenbahnoberbau, von Winkler und auf die Veröffentlichung: „Die Materialien, die Herstellung und Unterhaltung des Eisenbahnoberbaues" von Osthoff verwiesen.

B. Gleisverbindung.

Während die Fahrzeuge auf den gewöhnlichen Land- und Wasserstrassen sich an beliebigen Stellen derselben bewegen und daher auch nach Bedürfniss sich ausweichen, einander überholen oder wenden können, ist dies bei den Eisenbahnen nicht der Fall. Hier sind die Fuhrwerke an das Gleis gebunden und es werden besondere Vorkehrungen erforderlich, um Locomotiven und Wägen zum Zwecke des Ausweichens oder Ueberholens von einem Gleis auf ein anderes zu bringen, oder sie im selben Gleis um ihre lothrechte Achse zu drehen. Solcher Vorrichtungen giebt es dreierlei Art:

1. Ausweichungen, 2. Drehscheiben, 3. Schiebebühnen.

Vermittelst der ersten können ganze Wagenzüge sich ausweichen oder einer dem anderen vorfahren, indem sie in allmählich veränderter Richtung die Gleise wechseln, dagegen gestatten Drehscheiben und Schiebebühnen immer nur ein einzelnes Fahrzeug, höchstens eine Locomotive gleichzeitig mit ihrem Tender, auf ein anderes Gleis überzusetzen, wobei dieselben eine Drehbewegung um ihre lothrechte Achse, beziehungsweise eine Parallelverschiebung erleiden. Zum Umkehren der Fahrzeuge auf demselben Gleis dienen zur Zeit nur die Drehscheiben.

I. Gewöhnliche Ausweichungen.

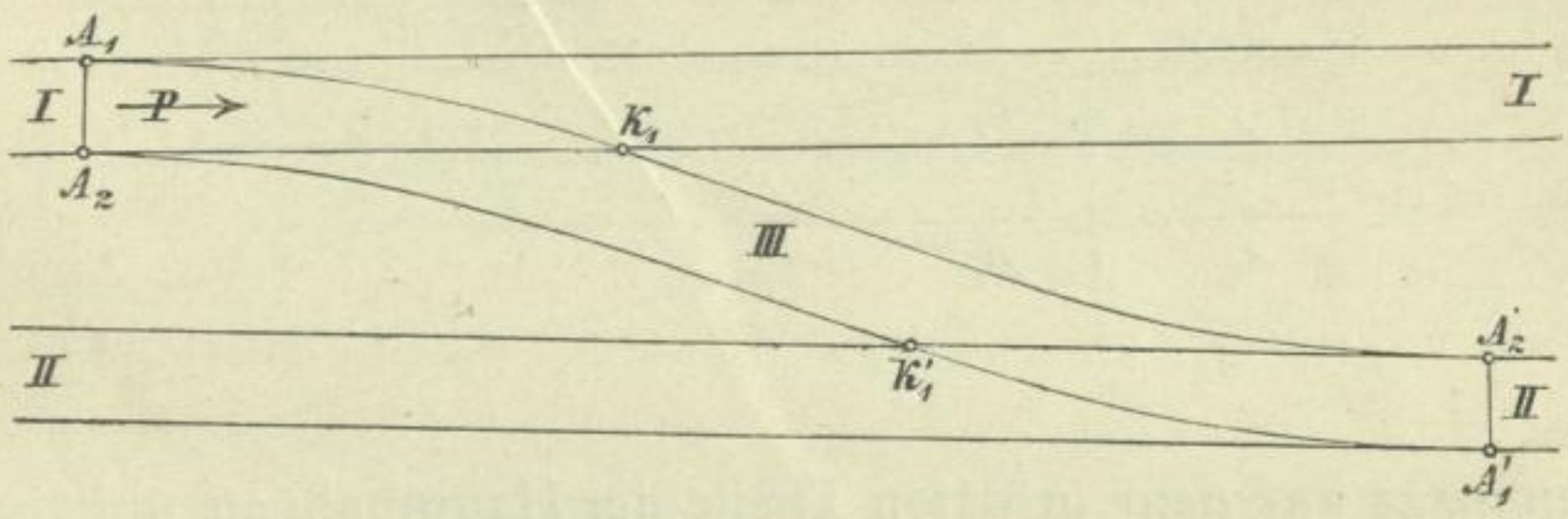
Wird zwischen die beiden Schienengleise I—I und II—II, welche in Fig. 83 im Grundrisse dargestellt sind, ein drittes Gleis III ausgeführt und beiderseits unter spitzem Winkel angeschlossen, so heisst der Theil desselben von den Ausgangspunkten A_1, A_2 bis zur Ueberkreuzungsstelle K_1 der beiden Schienenstränge eine gewöhnliche, einfache Ausweichung; desgleichen das Gleisstück zwischen dem Querschnitte $A'_1 A'_2$ und der zweiten Schnittstelle K'_1. Da ein in der Richtung P im Gleis I—I ankommender Bahnzug je nach Erforderniss in diesem weitergehen oder aber nach III abschwenken soll, so muss am Anfange der Ausweichung (bei A_1, A_2) ein beweglicher Theil vorhanden sein, durch welchen

das Verbleiben des Zuges auf dem ursprünglichen, oder sein Uebergang auf das abzweigende Gleis willkürlich veranlasst werden kann. Da weiter bei K_1 und K'_1 die Räder stets einen der Schienenstränge überschneiden müssen, so ist auch hier eine besondere Anordnung erforderlich, und damit sind die drei Theile gekennzeichnet, welche man an jeder Ausweichung unterscheiden kann: Der Wechsel (die Weiche), ein beweglicher Theil, gleich hinter dem Querschnitte A_1 A_2, sodann die festliegende Kreuzung in der Umgebung des Punktes K_1, endlich zwischen diesen beiden das feste Ausweichgleis (Weichenbogen).

Der Wechsel.

27. Allgemeine Anordnung des Wechsels. Der Wechsel hat im Laufe der Zeit mancherlei Formen an-

Fig. 83.

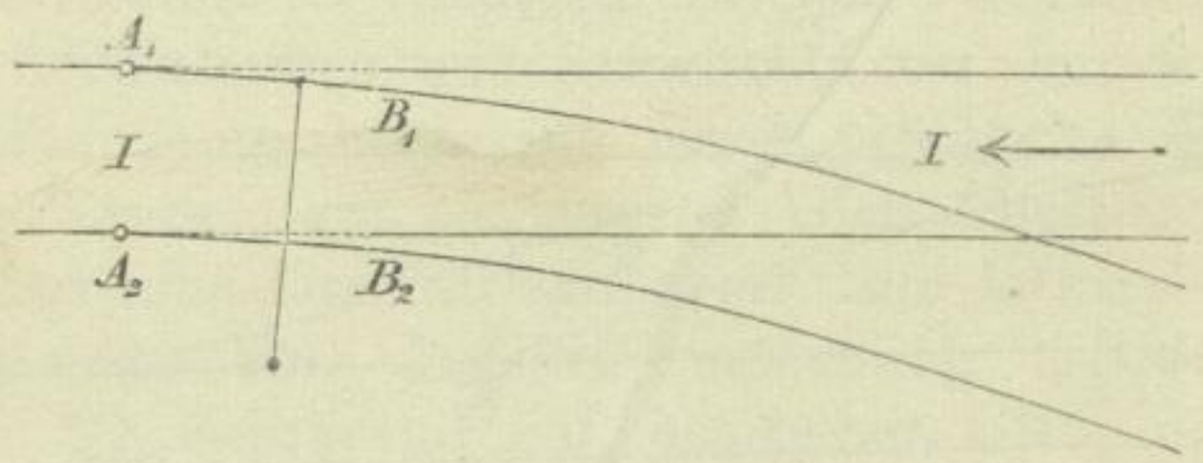


genommen, von welchen hier nur zwei besprochen werden sollen, nämlich der Wechsel mit einfachen Schubschienen, auch einfacher Schleppwechsel genannt, als Beispiel einer sehr einfachen Form, sodann der jetzt am häufigsten verwendete sogenannte selbstwirkende Sicherheitswechsel. Der einfache Schleppwechsel besteht aus einem Paar Schienen A_1 B_1 und A_2 B_2 (Fig. 84), welche um ihre Enden A_1 und A_2 drehbar sind und mittelst einer gemeinsamen Stellvorrichtung je nach Bedürfniss in's Haupt- oder Nebengleis eingeschaltet werden können, so dass immer eines derselben eine Lücke enthält. Diese Anordnung zeichnet sich zwar durch grosse Einfachheit aus, sie hat aber auch einige entschiedene Nachtheile: Vor Allem ist die Standfestigkeit der nur an einem Ende befestigten Wechselschienen eine unzureichende und

damit zusammenhängend der Anschluss derselben an die Enden der festliegenden Stränge ein mangelhafter, so dass starke Stösse der Räder beim Uebergang über die Fugen bei B_1 und B_2 unvermeidlich sind, ausserdem aber, und dies ist das Schlimmste, sind in manchen Fällen bei falscher Wechselstellung Entgleisungen unvermeidlich, wenn z. B. bei der in Fig. 84 angegebenen Stellung ein Bahnzug sich im Hauptgleis I—I in der Richtung des Pfeiles bewegt. Gerade hierdurch wird der Schleppwechsel unbrauchbar zur Verwendung auf Locomotiveisenbahnen, und alle in der Folge hervorgetretenen Verbesserungsbestrebungen gingen in erster Linie auf Beseitigung dieses gefahrdrohenden Umstandes aus.

Es ist in der That gelungen, auch in dieser Richtung ganz entsprechende Anordnungen herzustellen, so namentlich

Fig. 84.

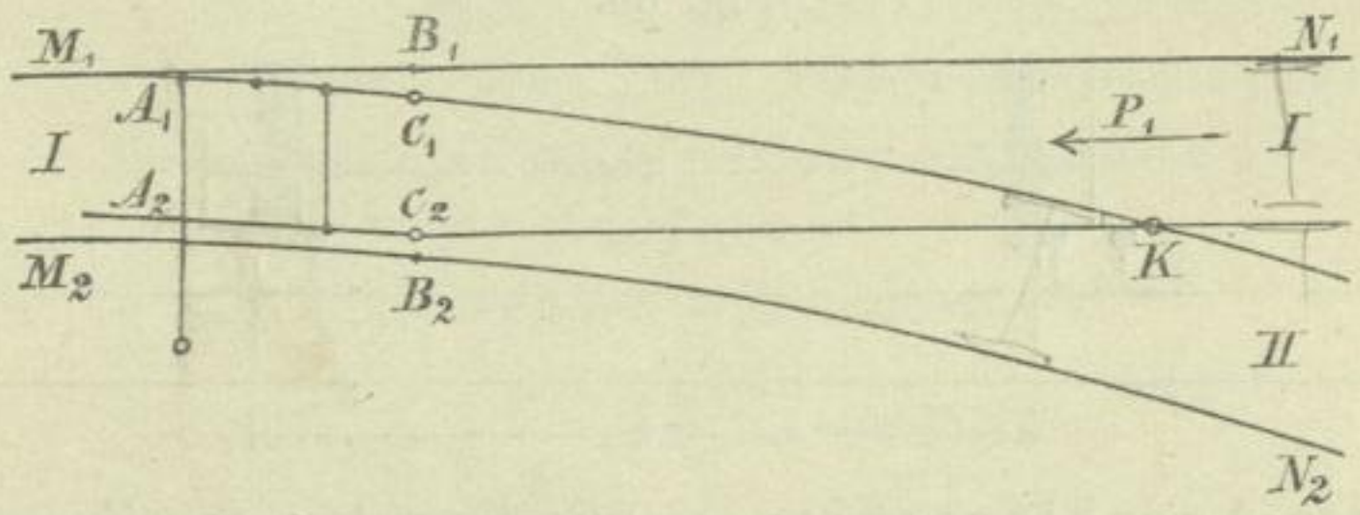


den jetzt auf dem grössten Theile der Hauptbahnen üblichen selbstwirkenden Sicherheitswechsel, welcher im Folgenden besprochen werden soll.

Bei demselben laufen die beiden äusseren Schienenstränge $M_1 N_1$ und $M_2 N_2$ (Fig. 85) ununterbrochen durch, während die inneren, nämlich der dem Hauptgleis I angehörige Strang $C_2 K$ und ebenso der zum Nebengleis II gehörige $C_1 K$ in zwei, um ihre Enden C_1 und C_2 drehbare, vornen gespitzte und zugeschärfte „Zungenschienen" $A_1 C_1$ und $A_2 C_2$ endigen, welche durch eine gemeinschaftliche Stellvorrichtung so mit einander verbunden sind, dass, während die eine ($A_1 C_1$ in der Figur) an dem durchlaufenden Strange ($M_1 N_1$) anliegt, die andere ($A_2 C_2$) von dem ihr zugehörigen Strange absteht. Beim Umstellen des Wechsels würde $A_2 C_2$ sich anlegen und $A_1 C_1$ sich „öffnen". Entgleisungen können bei diesem

Wechsel niemals eintreten, weil keiner von den Schienensträngen unterbrochen ist, bei falscher Wechselstellung ergeben sich nur insoferne Missstände, als die Fuhrwerke beim Fahren „gegen die Spitze" (in der Richtung Wechsel-Kreuzung) in ein anderes Gleis abgeleitet werden als beabsichtigt war, und bei entgegengesetzter Fahrrichtung, wenn also bei der gezeichneten Stellung des Wechsels ein Fahrzeug im Hauptgleis I in der Richtung des Pfeiles P_1 ausfährt, der Wechsel „aufgeschnitten" wird, das heisst die Spurkränze denselben selbstthätig einstellen, indem sie sich von B_1 aus zwischen den durchlaufenden Strang und die geschlossene Zungenschiene eindrängen. Allerdings können bei diesem gewaltsamen Vorgange allerlei Beschädigungen

Fig. 85.



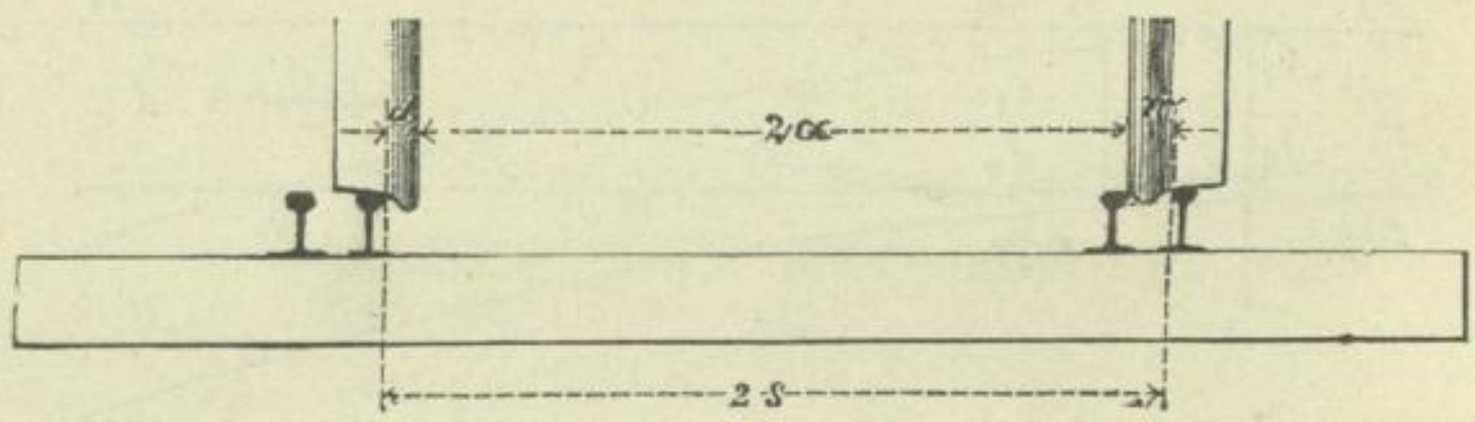
vorkommen, Entgleisungen aber werden vermieden. Daher auch der Name „Sicherheitswechsel". Das Beiwort „selbstwirkend" kommt von einer besonderen Wirkungsweise der an der Stellvorrichtung angebrachten Gegengewichte, von welchen später noch die Rede sein wird.

28. Gerade und gekrümmte Zungenschienen. Weite der Spurkranzrillen. Die beiden Zungenschienen A_1 C_1 und A_2 C_2 erhalten jetzt fast immer gleiche Länge, und was ihre Grundrissform betrifft, so sind sie entweder beide gerad, oder die eine von ihnen ist gerad, die andere gebogen. Im ersten Falle erzielt man neben einigen weniger wichtigen Vortheilen auch den, dass die Herstellung der Zungen sich einfach gestaltet, dagegen macht sich die Ecke, welche einerseits die geschlossene Zunge mit dem durchlaufenden Strange bildet, andererseits in dem durchlaufenden Strange selbst

vorhanden ist, beim Uebergang eines Fahrzeuges in das seitwärts abzweigende Gleis durch eine ruckweise Aenderung der Fahrrichtung empfindlich fühlbar. Man ist nun zwar im Stande, diese Verhältnisse durch Anwendung einer kreisförmig gebogenen Zunge zu beseitigen oder wenigstens abzuschwächen, muss aber eine kostspieligere Anfertigung derselben dagegen in den Kauf nehmen, wie auch die Beschränkung, dass ein und derselbe Wechsel nicht nach Belieben zur rechts- und linksseitigen Abzweigung verwendet werden kann (VI. Supplementband, S. 143 bis 145).

Wie aus Fig. 92, welche von einer Ausweichung ein allerdings sehr verzerrtes Bild giebt, ersehen werden kann, muss an den Drehpunkten C_1, C_2 der Zungenschienen (den Zungenwurzeln) zwischen diesen und den durchlaufenden Strängen, beziehungs-

Fig. 86.



weise den Anschlagschienen, wie die neben den Zungen liegenden Schienen dieser Stränge genannt werden, ein hinreichend grosser Zwischenraum gelassen werden, damit die längs der Innenseite des Schienenkopfes hingleitenden Spurkränze der Räder ungehindert hindurch gehen können. Die Weite w dieses Zwischenraumes ergiebt sich nach Fig. 86, welche einen Querschnitt der Gleise nach der Linie $B_1\ C_1\ C_2\ B_2$ der Fig. 92 darstellt, sehr einfach zu

$$w = 2s - 2a - d_1$$

wenn $2s = 1{\cdot}435\,m$ den fest gegebenen lichten Abstand der Schienenköpfe, die Spurweite,

$2a$ den lichten Abstand zwischen zwei zusammengehörigen Rädern, und

d_1 die Dicke des Spurkranzes oder, besser gesagt, die Entfernung des inneren Schienenkopfrandes von der Innenfläche des Rades vorstellt.

Ueber die Grösse $2a$ bestimmt § 168 der T. V. Folgendes:

„Der lichte Abstand zwischen den Rädern (innere lichte Entfernung zwischen den beiden Radreifen) muss in normalem Zustande 1·360 *m* betragen. Eine Abweichung bis zu 3 *mm* über oder unter dieses Mass ist zulässig."

Damit für w ein unter allen Umständen ausreichendes Mass erhalten wird, muss die Grösse $2a$ mit ihrem kleinsten Werthe, also mit 1·357 *m* in Rechnung gebracht werden. Der gleichzeitig für d_1 giltige Werth berechnet sich sodann nach den Bestimmungen des § 165 der T. V.:

„Der Spielraum für die Spurkränze (nach der Gesammtverschiebung der Achse an dieser gemessen) darf bei normaler Spurweite nicht unter 10 *mm* und auch bei der grössten zulässigen Abnützung nicht über 25 *mm* betragen. Nur bei den Mittelrädern sechsräderiger Locomotiven ist ein Gesammtspielraum (bei übrigens gleichem lichtem Abstande zwischen den Rädern) bis 32 *mm* zulässig."

Für ein neues Räderpaar wäre hiernach

$$d_1 = \frac{2s - 2a - 0{\cdot}010}{2} = 0{\cdot}7125 - \frac{2a}{2}$$

folglich nach § 168 für die dort bestimmten 3 Werthe von $2a$ beziehungsweise $d_1 = 0{\cdot}031$, $0{\cdot}0325$, $0{\cdot}034$, und ebenso für vollständig ausgenützte Radkränze

$$d_1 = \frac{2s - 2a - 0{\cdot}025}{2} = 0{\cdot}705 - \frac{2a}{2}$$

und $d_1 = 0{\cdot}0235$, $0{\cdot}025$, $0{\cdot}0265$.

Hiermit aber ergiebt sich schliesslich für den fraglichen Zwischenraum

$$w = 1{\cdot}435 - 1{\cdot}357 - 0{\cdot}0265 = 0{\cdot}0515\ m$$

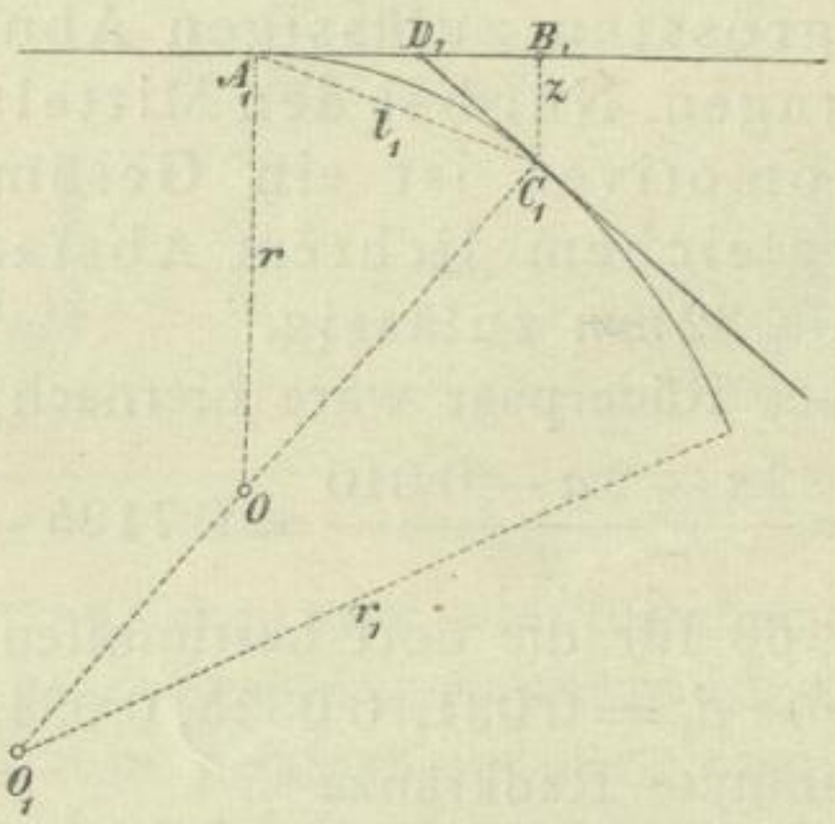
welcher äusserste Werth noch zur Erzielung eines Zwischenraumes um mehrere Millimeter vergrössert wird, so dass er gewöhnlich zwischen 55 und 60 *mm* beträgt. Uebrigens findet auch dieses, so vergrösserte Mass nur am durchlaufenden, geraden Schienenstrang Anwendung, wird dagegen am gekrümmten Strang (bei C_2) mit Rücksicht auf die dem Weichen-

bogen zu gebende Spurerweiterung noch um 5 bis 10 *mm* vergrössert. Neben der Weite des besprochenen Zwischenraumes (der Spurkranzrille) wird die Länge der Zungenschiene $A_1 C_1 = A_2 C_2 = l_1$ aus praktischen Erwägungen angenommen, womit dann der Winkel, welchen die geschlossene Zunge mit ihrer Anschlagschiene bildet, aus der Gleichung

$$\sin \beta = tg\, \beta = \frac{w + b}{l_1} = \frac{z}{l_1}$$

bestimmt ist, wenn b die Schienenkopfbreite bedeutet, und der Abstand der inneren Schienenkopfkanten an der Zungen-

Fig. 87.



wurzel, und zwar senkrecht zur geraden Gleisrichtung gemessen, $(w + b)$ mit z bezeichnet wird. Die trigonometrischen Functionen *sin* und *tg* können bei der Kleinheit des Winkels β mit einander vertauscht werden.

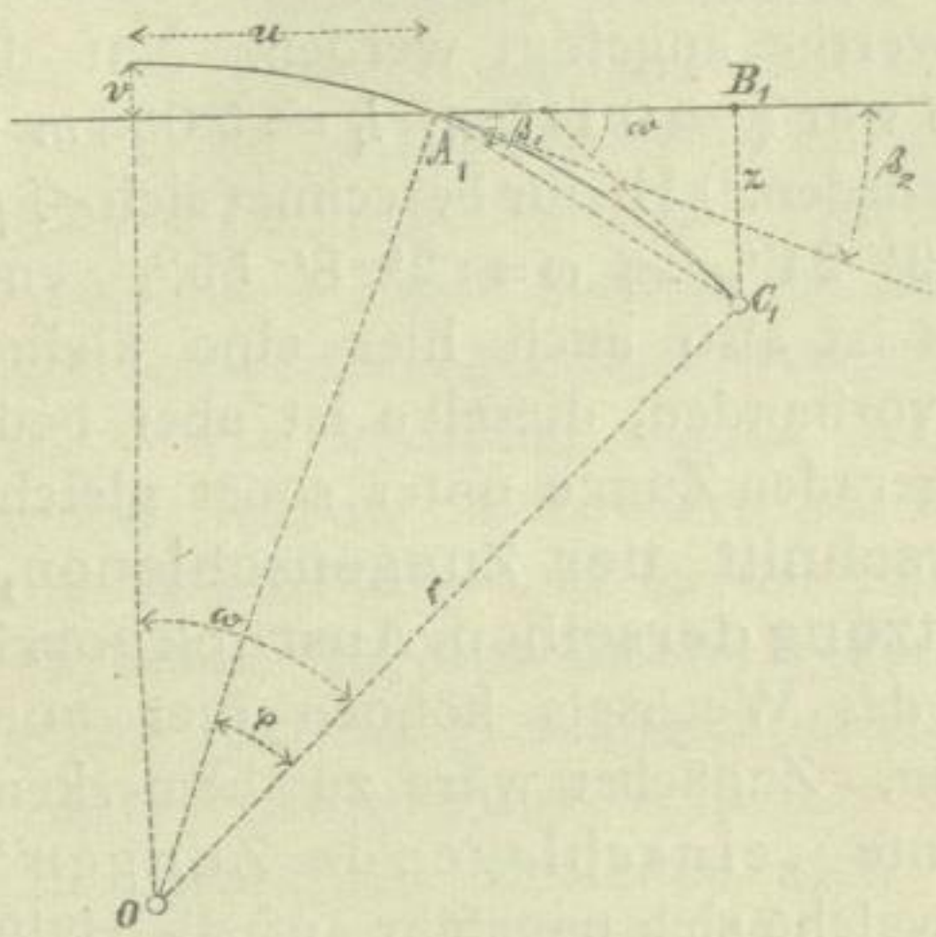
Es fragt sich nun weiter, in welcher Weise gekrümmte Wechselzungen angeordnet werden sollen. Will man auch die kleinste Ecke beim Anschlusse der Zunge vermeiden, so kann man die Anordnung nach Fig. 87 treffen, indem man die mit dem Halbmesser r kreisförmig gebildete Zunge $A_1 C_1$, welche in C_1 eine gemeinschaftliche Berührungslinie mit dem Weichenbogen hat, an der Spitze A_1 den durchlaufenden Strang berühren lässt. Es gilt dann, wenn $B_1 C_1 = z$ die

frühere Bedeutung hat und die Länge der Zungenschiene $A_1 C_1 = l_1$ gesetzt wird, nach der Figur

$$l_1^2 = 2 r z \text{ oder } r = \frac{l_1^2}{2 z}$$

Da z bekanntlich ein- für allemal festgestellt ist und auch l_1, wie vorhin erwähnt, angenommen wird, so wäre r nach dieser Gleichung festgegeben. Die Erfahrung hat nun gelehrt, dass in solcher Weise hergestellte Wechselzungen gegen ihre Spitze hin zu wenig widerstandsfähig ausfallen und es sich zur Erzielung grösserer Widerstandsfähigkeit empfehle, die genaue Berührung bei A_1 aufzugeben und

Fig. 88.



auch hier eine kleine Ecke zuzulassen. Man pflegt daher den Halbmesser der Zunge grösser anzunehmen, als er aus der Gleichung $r = \frac{l_1^2}{2z}$ folgen würde, und die Anordnung auf Grund der Fig. 88 zu treffen. Ist ω der Winkel, welchen die im Punkte C_1 der Zunge und dem Weichenbogen gemeinschaftliche Tangente mit dem durchlaufenden Strange bildet, β_1 der Winkel der Sehne $A_1 C_1$ mit eben demselben, φ der dem Bogen $A_1 C_1$ zugehörige Centriwinkel, so hat man zugleich mit den früheren Bezeichnungen in einfachster Weise nach Fig. 88

$$v = r(1 - \cos\omega) - z; \quad u = r \sin\omega - l_1 \cos\beta_1; \quad \omega = \beta_1 + \varphi/2$$

Da z, l_1 und r von vorneherein angenommen worden, sind zunächst β_1 und φ durch den Zusammenhang

$$\sin \beta_1 = tg\, \beta_1 = \frac{z}{l_1} \text{ und } \sin \varphi/_2 = tg\, \varphi/_2 = \frac{l_1}{2r}$$

gegeben. Damit berechnet sich dann der Winkel ω und schliesslich die Grösse u und v. Die Ecke im Punkte A_1 wird durch den Winkel gemessen, welchen die Tangente in diesem Punkte an den Zungenbogen mit dem geraden Schienenstrange bildet. Heisst dieser Winkel β_2, so hat man ohne Weiteres

$$\beta_2 = \beta_1 - \varphi/_2$$

Zur vollständigen Klarlegung der Sache mögen noch einige Zahlenwerthe angefügt werden. Auf der österreichischen Südbahn war $z = 0{\cdot}117\, m$, $l_1 = 5{\cdot}058\, m$ und $r = 176\, m$ angenommen worden.[1]) Hiefür berechnet sich $\measuredangle\, \beta_1 = 1^0\, 19'\, 31''$, $\measuredangle\, \varphi/_2 = 0^0\ 49'\ 24''$, $\measuredangle\, \omega = 2^0\ 8'\ 55''$, endlich $\measuredangle\, \varphi_2 = 0^0\ 30'\ 7''$. Es ist also auch hier eine kleine Ecke an der Zungenspitze vorhanden, dieselbe ist aber bedeutend kleiner als bei einer geraden Zunge unter sonst gleichen Umständen.

29. Querschnitt der Zungenschienen, Befestigung und Unterstützung derselben. Ausrückvorrichtung. Ueber Einzelnheiten des Wechsels können hier nur Andeutungen gegeben werden. Zunächst wäre zu bemerken, dass früher öfters sogenannte „einschlagende Zungen" zur Ausführung kamen, welche sich ungefähr auf die Hälfte ihrer Länge in einen Ausschnitt am Kopfe der Anschlagschiene einlegten und durchaus, auch an der Spitze, bis auf Schienenkopfhöhe reichten. Natürlich musste eine derartige Unterbrechung der Fahrkante im durchlaufenden Strange bei geöffneter Zunge unangenehm fühlbar werden und konnte unter Umständen sogar gefährliche Zustände herbeiführen. An ihrer Stelle werden deshalb jetzt immer „unterschlagende" Zungen verwendet, wobei die Fahrkante der Anschlagschiene voll erhalten bleibt, während eine Bearbeitung nur an der Zungenschiene vor-

---

[1]) R. Paulus, Der Eisenbahnoberbau in seiner Durchführung auf den Linien der k. k. priv. Südbahn-Gesellschaft.

genommen wird, so dass sie sich in der erforderlichen Weise an jene anschliesst, mit ihrem vorderen Ende ganz unter den Kopf derselben tritt und von da nach rückwärts noch eine Strecke weit so tief gehalten wird, dass sie innerhalb derselben nicht zur Stützung, sondern nur zur Leitung der Räder dient und einen lothrechten Druck erst von jener Stelle an aushalten muss, wo ihr Kopf die Dicke von etwa 1·75 *cm* erreicht hat. Weitere Anhaltspunkte liefert die Berathung der Frage: „Was für ein Profil der Weichenzungen an der inneren Seite verhütet beim Befahren gegen die Spitze am wirksamsten das Auflaufen der Radflansche bei stark ausgelaufenen Radkränzen?" — auf der Technikerversammlung zu Düsseldorf (V. Supplementband, S. 59—60).

Wenn man die Wechselzunge aus einer Schiene gewöhnlichen Querschnittes herstellt, wie dies früher immer geschehen ist und jetzt noch öfters geschieht, so müssen auch die in gleicher Höhe liegenden Füsse sowohl der Zungen-, wie der Anschlagschiene theilweise abgehobelt werden. Hierdurch erleiden beide eine Verschwächung, welche sich besonders bei der ersteren fühlbar macht, da in deren vorderen Hälfte der Kopf zunehmend verschwächt und an der Spitze vollständig beseitigt werden muss, so dass deren Widerstandsfähigkeit, insbesondere gegen seitliche Pressungen der Räder nur gering ist, in Folge dessen Ausbiegungen in der Horizontalebene und mancherlei gefährliche Zustände sich leicht ergeben können. Man verwendet deshalb mit Vortheil Zungenschienen von besonderem Querschnitte, welche vor Allem niedriger als der durchlaufende Strang sind, so dass dessen Fuss gar nicht mehr bearbeitet zu werden braucht, und bei welchen auf eine Vergrösserung der seitlichen Steifigkeit durch Anordnung breiter Füsse Bedacht genommen wird. Dass die so stark beanspruchten Wechselzungen, wie auch die Anschlagschienen aus passenden Stahlsorten zu verfertigen sind, ist wohl selbstverständlich.

Besondere Sorgfalt verlangt die Befestigung der Zungenschiene an ihrem Wurzelende. Hat sie gewöhnlichen Schienenquerschnitt, so wird sie mit der ersten Schiene des Weichenbogens durch Laschen verbunden und zugleich an dem

durchlaufenden Strange unter Benützung von Zwischenstücken auf verschiedene Weise seitlich befestigt. Ausserdem kommen Unterlagsplatten in Anwendung. Auf das Vorhandensein einer gewissen Beweglichkeit braucht dabei kaum Bedacht genommen zu werden, da eine solche trotz aller Befestigung noch in genügendem Masse verbleibt.

Manchmal allerdings benützt man in dieser Hinsicht kürzere Laschen, welche mit dem Zungenende nur durch einen einzigen Bolzen verbunden werden, und sieht vielleicht noch darauf, dass dessen Mutter nicht zu stark angezogen wird. Liegen besonders profilirte Zungen vor, so ist die Laschenverbindung und eine seitliche Befestigung der oben beschriebenen Art gewöhnlich nicht durchführbar und muss dann auf eine andere Befestigungsweise gedacht werden, wodurch namentlich Längsverschiebungen der Zunge und das Aufheben derselben verhütet werden kann. Nur wenn man auch jetzt die sehr zweckmässige Vignolesform mit besonders breitem Fuss für die Zungenschienen beibehält, kann die erwünschte Verlaschung unter Anwendung besonders geformter Laschen beibehalten werden. Ausserdem benützt man wieder Auflagerstühle oder Unterlagsplatten, welche wegen der ungleichen Höhe von Anschlagschiene und Zunge zwei verschieden hoch gelegene Stützflächen bieten müssen, steckt das Ende der Zunge auf einen, in der Unterlagsplatte eingelassenen, lothrecht stehenden Zapfen und verhütet das Abheben derselben mittelst Deckplättchen und Schrauben, durch Keilbolzen u. dergl.

Im Ganzen ist in diesem Falle die Herstellung einer ganz entsprechenden Befestigung schwieriger wie im vorigen. Ueber die neuesten Anordnungen dieser Art geben die betreffenden Verhandlungen der Berliner Technikerversammlung (1884) näheren Aufschluss, theilweise mit Bezug auf ausführliche Zeichnungen (IX. Supplementband, S. 126—131). Als zweckmässig hat sich die Anwendung von grossen Unterlagsplatten erwiesen, welche im Querschnitte durch die Zungendrehpunkte unter den vier Schienensträngen durchreichen. Auch die Auflagerung der Wechselzunge sammt der ihr zugehörigen Anschlagschiene der Länge nach auf eine gemeinschaftliche

Blechplatte oder statt dessen die Anwendung einer eisernen Langschwelle (beim eisernen Oberbau) wird empfohlen.

Zwischen dem Wurzelende und ihrer Spitze ruht die Zunge auf einer Anzahl „Gleitstühle", welche bei der meist üblichen Lagerung des Wechsels auf Querschwellen über jeder derselben angebracht werden. Es sind dies guss- oder schmiedeiserne, auf die Schwellen mittelst Nägeln oder Schrauben befestigte Unterlagsplatten, welche die richtige Höhenlage von Zunge und Schienenstrang sichern und eine leichte Beweglichkeit der ersteren zulassen sollen. Die Anschlagschiene wird deshalb ebenfalls auf den Gleitstuhl gelagert und an einem Backen desselben seitlich festgeschraubt, während die Zunge auf einer schmalen, zur Erhöhung der Beweglichkeit zu schmierenden Gleitfläche ruht.

Ueber diesen letzteren, keineswegs unwichtigen Punkt spricht sich die Technikerversammlung zu Berlin (1884) in folgender Weise aus: „Für die Gangbarhaltung der Gleitflächen an den Weichenstühlen ist zunächst eine sorgfältige und regelmässig wiederholte Reinigung dieser Flächen zu empfehlen; dieselbe genügt an und für sich bei trockener Witterung, nicht aber bei nassem Wetter, wo die Bildung von Rost zu verhüten ist. Die Anwendung von Graphit zum Schlüpfrigmachen der Gleitflächen liefert bei trockenem Wetter gute Ergebnisse, weil das Ansetzen von Staub dabei vermieden wird, anhaltender Regen wäscht jedoch den Graphit ab. Bei Verwendung von Schmieröl oder Talg empfiehlt es sich, an unmittelbar bedienten Weichen die Gleitflächen nur mit einem von dem Schmiermittel durchtränkten Lappen zu überwischen; dagegen ist für gekuppelte oder mit langen Gestängen verbundene Weichen eine ausgiebigere Schmierung nothwendig. Unter den verschiedenen Schmierölen empfehlen sich diejenigen am meisten, welche durch die Einwirkung der Luft nicht leicht verharzen." (IX. Supplementband, S. 123—126.)

Da die Gleitfläche nothwendig eine wagrechte Lage erhalten muss, wird bei Verwendung von Zungen aus Schienen gewöhnlichen Querschnittes der Kegelform der Radreifen insofern keine Rechnung getragen, als die Kopffläche der

Zungenschiene, soweit dieselbe unbearbeitet bleibt, wagrecht zu liegen kommt, und man pflegt dann in der Regel auch die Anschlagschiene lothrecht zu stellen und einen allmählichen Uebergang zu den schief gestellten Schienen des Weichenbogens zu machen oder auch innerhalb des letzteren die Schiefstellung wegzulassen. Bei Zungen von besonderer Querschnittsbildung dagegen liegt es nahe, ihrer Kopfoberfläche von vorneherein eine der Radreifenform entsprechende schiefe Lage zu geben, und dann auch bei der Anschlagschiene keine Ausnahme von der Regel zu machen. Es hat sich jedoch in dieser Hinsicht bei den Fachleuten noch keine übereinstimmende Anschauung ausgebildet, wenigstens kam die Technikerversammlung zu Stuttgart (1878) bei Berathung dieser Angelegenheit zu dem Schlusse: „Die bisherigen Erfahrungen sind noch nicht ausreichend, um mit Bestimmtheit Vortheile der Ausweichungen mit normal geneigten Schienen in dem Masse erkennen zu lassen, um deren allgemeine Einführung bei den bestehenden Bahnen zu empfehlen." (VI. Supplementband, S. 123 bis 128.)

Da weiter die beiden Zungenschienen des Wechsels gleichzeitig mit einander bewegt werden sollen, so vereinigt man sie durch Querverbindungen, welche meist die Form von Rundstangen erhalten. Die vorderste derselben, oder eine in der Nähe der Wechselspitze anzubringende besondere Stange führt dann zu der, seitlich vom Gleis angeordneten Stellvorrichtung, wobei sie durch ein Loch im Schienenstrange hindurchgeht oder zur Vermeidung von Reibungswiderständen in den Lochwänden u. dergl. m. unter dem Schienenfusse durchgeführt wird.

Ueber den Ausrückmechanismus (Weichenbock) selbst kann hier nur gesagt werden, dass er in der Regel ein zweiarmiger Hebel mit wagrechter Drehachse ist, seltener eine um eine lothrechte Achse drehbare Kurbelvorrichtung, dass jetzt immer verstellbare Gegengewichte mit ihm in Verbindung sind, um den Wechsel in einer bestimmten Lage festhalten zu können, ihn „selbstwirkend" zu machen, und dass an allen Weichenböcken eine mit dem Wechsel selbstthätig sich einstellende Vorrichtung (Signal) angebracht sein muss, durch

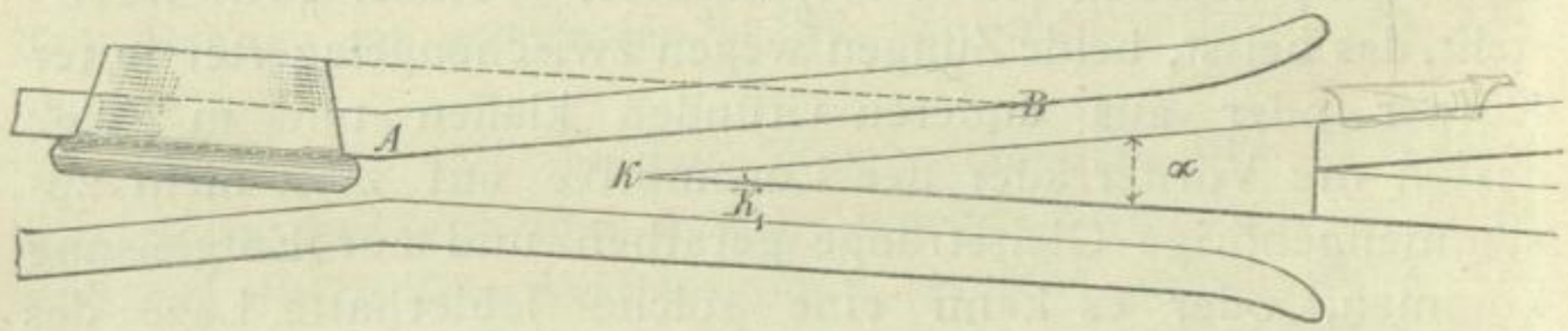
welche dessen Lage auf grössere Entfernung hin kenntlich gemacht wird.

30. Sicherheitsvorkehrungen am Wechsel. Es ist von grosser Bedeutung, dass die richtige Stellung des Wechsels möglichst gesichert wird und auch vom Locomotivführer aus der Entfernung beurtheilt werden kann. Es dienen hierzu die schon früher erwähnten Gegengewichte und die mit dem Weichenbocke in Verbindung stehende Signalvorrichtung. Ausserdem kommen aber noch besondere Sicherheitsmassregeln in Anwendung. So pflegt man Wechsel, welche nur ausnahmsweise aus einer bestimmten Lage gebracht werden, durch einfache, leicht lösliche mechanische Verschlussvorrichtungen festzustellen. Besondere Sorgfalt verlangen alle „gegen die Spitze", das heisst, in der Richtung Wechsel-Kreuzung befahrenen Ausweichungen, weil bei dieser Fahrrichtung erfahrungsgemäss am leichtesten Unfälle eintreten. Es kommt nämlich leicht vor, dass der Wechsel „auf halb" steht, das heisst, beide Zungen wegen zwischengelagerter fester Körper oder aus anderen Gründen klaffen und in Folge dessen die Vorderräder der Locomotive auf zwei nicht zusammengehörige Gleisstränge gerathen und zur Entgleisung kommen, oder es kann eine solche fehlerhafte Lage des Wechsels sich erst während des Befahrens durch Seitendrücke der Räder und dadurch bewirkte Horizontalbiegung der Zungen ergeben und dann später folgende Räderpaare zur Entgleisung gebracht werden. Es ist daher schon bei Anlage des Spurplanes dahin zu streben, die Anzahl der gegen die Spitze befahrenen Ausweichungen zu vermindern, soweit hierdurch nicht etwa grössere Missstände hervorgerufen werden, was allerdings leicht eintreten kann.

Man findet deshalb auch auf zweigleisigen Bahnen, wo es möglich wäre, alle gegen die Spitze befahrenen Ausweichungen zu vermeiden, dennoch in der Regel solche vor, und bei eingleisigen Bahnen sind jedenfalls alle an den Enden der Stationen gelegenen Ausweichungen dieser Art. Letztere erhalten öfters besondere Sicherungsvorkehrungen, so z. B. eine ursprünglich von Clemens & Paravicini angegebene Vorrichtung, welche in einem, mit den Wechselzungen ver-

bundenen Hebel besteht, der unter Einwirkung der Räder einen mangelhaften Schluss des Wechsels beseitigen soll. Andere sinnreiche Vorrichtungen sollen es unmöglich machen, den Wechsel umzustellen, während schon ein Bahnzug in denselben eingefahren ist; sie haben in neuerer Zeit eine erhöhte Bedeutung bei der sogenannten Centralisirung der Signal- und Weichenstellung erlangt, welche mehr und mehr auf den belebten Bahnhöfen zur Durchführung gebracht wird in der Absicht, die in dem Wege eines Zuges liegenden Weichen in solcher Weise von einander abhängig zu machen, dass jede nur im Zusammenhange mit den übrigen eingestellt und schliesslich das die Ein- oder Ausfahrt gestattende Signal erst gegeben werden kann, nachdem alle in Frage kommenden Weichen mit vollkommenem Schlusse ihrer Wechselzungen richtig gestellt worden sind.

Fig. 89.



Die Kreuzung (Einfache Kreuzung).

31. Die Kreuzung in ihren Theilen. Construction der Kreuzungsblöcke, Befestigung derselben. Die Form der Kreuzung für die in Rede stehenden gewöhnlichen Ausweichungen entwickelt sich sehr bestimmt aus der Nothwendigkeit, den an der Innenseite der Schienenstränge hingleitenden Spurkränzen der Räder einen Weg zu öffnen. Es müssen die beiden sich kreuzenden Schienenstränge nach Fig. 89 einerseits zu einem Keil, dem „Herzstück" vereinigt, andererseits als „Knieschienen" (Flügel- oder Hornschienen) abgebogen und eine Strecke weit gleichlaufend mit den Schenkeln des Herzstückes geführt werden, so dass zwei Spurkranzrinnen entstehen. Da weiter die Räder zwischen den Eckpunkten der Knieschienen (dem Knie) und dem Anfange des eigentlichen Herzstückes ohne Führung sein würden,

sind als dritter Theil der Kreuzung die „Zwangschienen" ($P_1 Q_1$ und $P_2 Q_2$ in Fig. 92) anzubringen, um Seitenschwankungen der Räder beim Uebergange über die bezeichnete Stelle und ein Anstossen derselben an das Herzstück unmöglich zu machen.

Der Durchschnittspunkt der inneren Schienenkopfkanten (K) heisst der mathematische Kreuzungspunkt[1]) und die stumpfe Spitze (K_1), welche in Gusseisen oder Stahl zur Darstellung kommt und immer ein Stück hinter jenem liegt, die wirkliche Herzstückspitze. Vor und hinter dem mathematischen Kreuzungspunkte werden die Schienenstränge ein Stück weit gerad geführt, sowohl mit Rücksicht auf leichte Herstellung des Kreuzungsstückes, als auch darauf, dass die Räder eine möglichst sichere Führung längs der Unterbrechungsstelle erfahren. Die Länge der fraglichen Strecken hängt theils hiervon, theils von besonderen Umständen ab, welche erst weiter unten besprochen werden können. Dasselbe gilt von der Länge des ganzen Kreuzungsstückes, welche jedenfalls so gewählt wird, dass der Kniepunkt noch innerhalb desselben zu liegen kommt und ein hinreichend grosses Gewicht des Blockes erzielt wird.

Bei gegossenen Stücken kommen gewöhnlich Längen zwischen 2 und 3 m vor, bei Kreuzungsblöcken aus mehreren Stahltheilen meist noch bedeutendere. Der Winkel (α), unter welchem sich die Schienenstränge durchschneiden, heisst der Kreuzungswinkel. Seine Grösse beträgt aus Gründen, welche ebenfalls erst im weiteren Verlaufe der Besprechung verständlich werden, bei den gewöhnlichen Ausweichungen ungefähr zwischen 5 und 6^0, und sie wird in der Regel durch die trigonometrische Tangente, entweder als echter Bruch oder als Decimalbruch angegeben. Die Bahnverwaltungen setzen diesen Tangentenwerth ein- für allemal fest mit Rücksicht auf bequeme Rechnung und Absteckung, und lassen auch aus Zweckmässigkeitsgründen auf ihren Bahnen nur einige wenige Werthe desselben zu. Auf den bayerischen

---

[1]) Zuweilen wird der Schnitt der Schienenkopfmittellinien als mathematischer Kreuzungspunkt aufgefasst.

Staatsbahnen sind z. B. die drei Werthe $tg\,\alpha = \frac{1}{8{\cdot}5}$, $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{11}$ gebräuchlich.

Verfolgen wir jetzt mit Zugrundelegung der Fig. 89 ein Rad bei seinem Uebergange über die Kreuzungsstelle. Dass dasselbe zwischen A und K_1 der leitenden Schienenkante entbehren muss und deshalb besondere Zwangschienen erforderlich werden, ist vorhin ausgeführt worden. Es kommt aber noch ein anderer Umstand in Betracht. Ehe nämlich der Radkranz auf das Herzstück gelangt, findet er seine Unterstützung nur auf dem abgebogenen Theile der Knieschiene, welche er wegen seiner Kegelform mit immer kleiner werdenden Laufkreisen berührt. In Folge dessen sinkt das Rad um einen merklichen Betrag und muss dann durch das Herzstück wieder auf die richtige Höhe der Schienenoberfläche gehoben werden; es ist gerade so, als ob das Rad auf einer schiefen Ebene herab und gleich darauf auf einer solchen wieder in die Höhe laufen müsste, was natürlich immer mit einer Stosswirkung verbunden sein würde. Ausserdem bedingen die ungleich grossen Laufkreise der beiden, auf derselben Achse aufgekeilten Räder ein starkes Schleifen derselben und in Folge dessen eine rasche Abnützung, insbesondere der Knieschienen. Der erste Missstand ist, im Falle ein Kreuzungsblock aus Hartguss oder Gussstahl angewendet wird, wenn also Herzstück und Knieschienen aus den genannten Materialien in einem Stücke gebildet werden, nicht schwer zu beseitigen, indem man nämlich die Oberfläche der abgebogenen Knieschienen von den Eckpunkten A aus in dem Masse ansteigen lässt, als sich der Durchmesser der Laufkreise vermindert, so dass ein Sinken des Rades überhaupt nicht mehr eintritt. Dagegen scheint der Versuch, eine gleiche Wirkung dadurch zu erzielen, dass man den Spurkranz des Rades auf der entsprechend hoch gelegten Sohle der Rinne auflaufen liess, nicht ganz geglückt zu sein, wenigstens sprach sich die Technikerversammlung zu Dresden (1865) entschieden gegen diese Massregel aus (I. Supplementband, S. 56—58), und die Schlussfolgerung zu einer diesbezüglichen Frage für die Technikerversammlung zu Stuttgart (1878) erhielt die folgende

Fassung: „Das Auflaufen des Spurkranzes soll möglichst vermieden werden. Bei entsprechender Weite der Spurrinne kann statt des Auflaufens ein zweckmässiges Niveau der Flügelschiene angewendet werden. In jenen Fällen, wo das Auflaufen nicht ganz vermieden ist, soll der Uebergang vom Rad auf den Spurkranz möglichst sanft und die Länge, in welcher der Spurkranz aufläuft, möglichst gering sein." (VI. Supplementband, S. 140–142.)

Der andere, oben genannte Missstand, dass nämlich durch das Schleifen der Räder eine starke Abnützung derselben und der Knieschienen eintritt, ist allerdings nicht zu vermeiden und kann nur durch Verwendung sehr widerstandsfähigen Materials auch für die Kreuzungsblöcke abgemindert werden. Was die Höhe des eigentlichen Herzstückes betrifft, so wird seine obere Fläche in der Nähe der Spitze jedenfalls so tief gehalten, dass es einen lothrechten Druck durch die Räder erst von jener Stelle an erleidet, wo es bei einer Dicke von etwa 1·5 *cm* eine hierzu ausreichende Tragfähigkeit besitzt. Die Laufflächen der Knieschienen und des Herzstückes wurden bei älteren Ausführungen gewöhnlich wagrecht gehalten und auch jetzt ist dies bei den aus mehreren Theilen zusammengesetzten Kreuzungsblöcken die Regel, dagegen pflegt man bei gegossenen Blöcken die den Radreifen entsprechende Neigung der Schienenoberfläche beizubehalten.

Nähere Aufschlüsse hierüber gewähren ebenfalls die schon früher angezogenen Verhandlungen der Techniker-versammlung zu Stuttgart (VI. Supplementband, S. 123). Die Spurkranzrinne zur Seite des eigentlichen Herzstückes sollte eigentlich dieselbe Weite wie der Zwischenraum zwischen Anschlagschiene und Zunge bei deren Wurzel erhalten; man geht jedoch selten über 50 *mm*, um die Länge der Unterbrechungsstelle zwischen A und K_1 möglichst abzukürzen. Von B nach auswärts wird die Rinne gewöhnlich ganz allmählich verbreitert. Ihre Tiefe muss mindestens 38 *mm* betragen, wenn ein Auflaufen der Spurkränze auch bei abgenützten Rädern nicht stattfinden soll. Vergleiche in dieser Beziehung die §§ 18, 41 und 164 der T. V.

Früher bildete man das ganze Kreuzungsstück aus gewöhnlichen Schienen, indem man die sich schneidenden Stränge einerseits als Knieschienen endigen liess, andererseits die wirkliche Herzstückspitze an eine Schiene anarbeitete und mit ihr eine andere derartig verband, dass sich ihr Kopf in einen Einschnitt des Kopfes der ersteren legte und die Stege beider zusammengenietet wurden. Als man fand, dass die so erzielte Spitze sich sehr schnell abnützte, setzte man das eigentliche Herzstück als Stahlkeil ein, der in passender Weise mit den anstossenden Schienen verbunden wurde, und als auch dieses sich als halbe Massregel erwies, insoferne die eisernen Knieschienen nun viel rascher als das widerstandsfähigere Herzstück zugrunde gingen, kam man schliesslich auf die jetzt sehr häufig übliche Herstellung des Kreuzungsblockes aus zwei Stahlschienen und einem Stahlkeil, deren Vereinigung zu einem Ganzen mittelst zwischengelegter Gussstücke und Schraubenbolzen geschah (Schienenherzstücke).

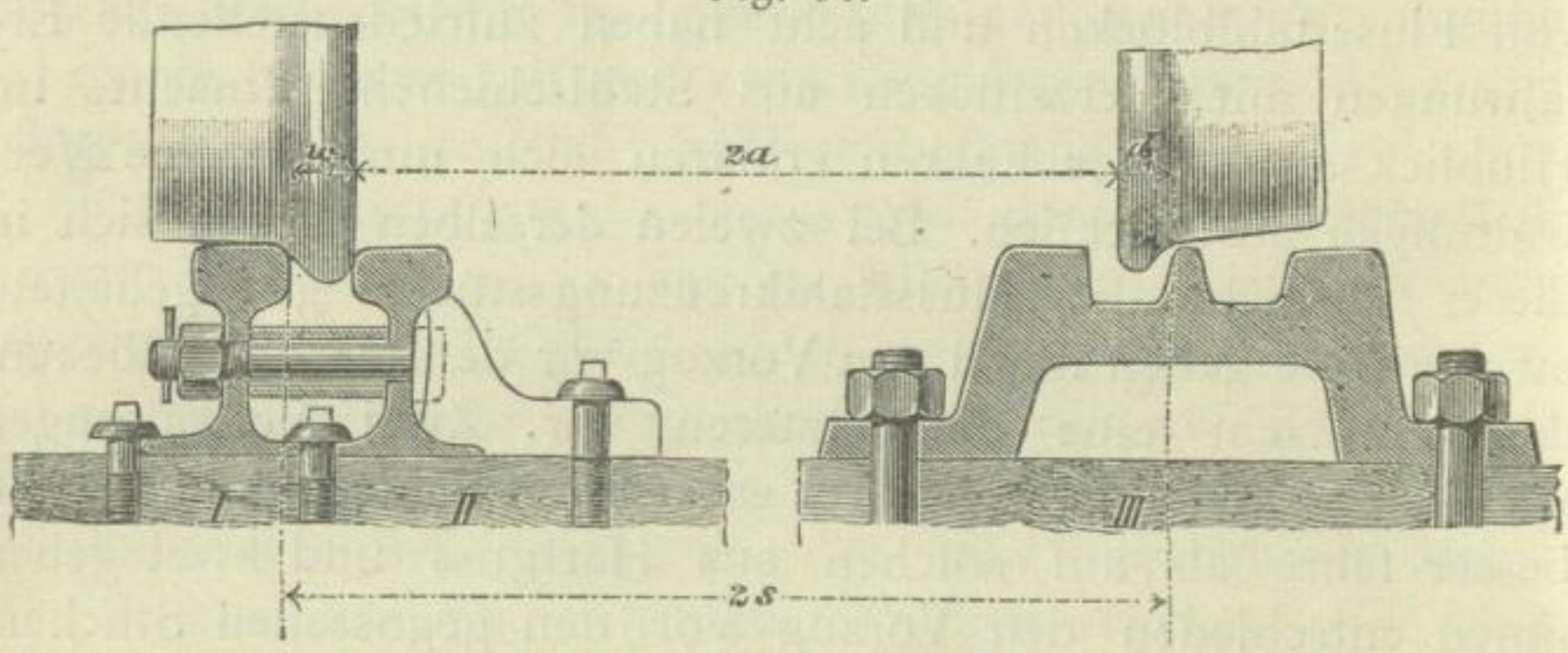
Daneben hatte man schon seit längerer Zeit Herzstück sammt Knieschienen in einem Block aus Gusseisen hergestellt, dessen Sprödigkeit jedoch sehr unangenehm hervortrat und der weiteren Verbreitung dieser Art von Kreuzungsblöcken entgegenstand, bis es gelang, das Gusseisen durch eine besondere Behandlung in den sehr brauchbaren Hart- oder Schalenguss überzuführen. Weniger Anklang hat eine andere Art der Herstellung gefunden, wobei mit einem schweren Unterlagskörper aus Gusseisen Stahlschienenstücke durch Einschieben in Nuthen und Verschraubung oder Nietung möglichst fest verbunden wurden. Im Gegensatz hierzu stehen Kreuzungsstücke aus Gussstahl, meist symmetrisch zur Horizontalen gebildet, so dass sie nach der Abnützung der einen Seite umgewendet werden können, jetzt häufig im Gebrauch und wetteifern mit den Hartgussblöcken und den Schienenherzstücken um den Vorrang. Ein ganz sicheres Urtheil über den Werth der verschiedenen Ausführungsarten kann übrigens zur Zeit noch nicht abgegeben werden, wie sich am besten wieder aus den Verhandlungen der Technikerversammlungen ersehen lässt, die sich wiederholt mit dieser Angelegenheit befasst haben, zuletzt noch in Berlin im Jahre 1884. Die

damals vorgelegte Frage: „Welche Herzstücke und Durchschneidungen (aus Flussstahl, Stahlschienen oder Hartguss) haben sich in Hinsicht auf Dauer, Sicherheit und sanftes Fahren am besten bewährt?" haben 41 deutsche und österreichisch-ungarische Bahnverwaltungen, sowie die Niederländische Staatsbahn beantwortet, darunter die Braunschweigische Bahn, die k. Eisenbahndirection Köln (linksrheinisch), sowie die Kaiser Ferdinands-Nordbahn besonders eingehend. Bezüglich der Dauer und Sicherheit erklären zehn Verwaltungen unter Anderem, dass sich ihre Hartgussherzstücke gut bewährt hätten, nach der Angabe von sieben Verwaltungen haben dieselben länger gehalten als die aus Schienen zusammengeschraubten, bei acht Verwaltungen nicht so lang als Kreuzungsstücke aus Gussstahl. 16 Bahnen sind sehr befriedigt von Flussstahlblöcken und acht haben zufriedenstellende Erfahrungen mit Herzstücken aus Stahlschienen gemacht. Im Hinblick auf sanftes Fahren erklären sich nur einzelne Verwaltungen ausdrücklich. Bei zweien derselben haben sich in dieser Hinsicht die Flussstahlkreuzungsstücke gut gehalten, zwei andere geben ihnen den Vorzug vor den Hartgussblöcken, dagegen zieht eine die letzteren vor. Zwei Verwaltungen sprechen sich dahin aus, dass es sich auf Schienenherzstücken besser fahre als auf solchen aus Hartguss und zwei geben ihnen entschieden den Vorzug vor den gegossenen Stücken. Vier Verwaltungen sind der Meinung, dass „das sanfte Fahren von der Construction, und nicht vom Material abhänge." Zuletzt wurde die Gesammtanschauung der damaligen Versammlung in den folgenden Schlusssatz vereinigt: „Es haben sich sowohl die von Hartguss, wie auch die von Gussstahl und die aus Schienen hergestellten Herzstücke in Bezug auf Dauer, Sicherheit und sanftes Fahren im Allgemeinen bewährt, und zwar die aus Schienen zusammengesetzten dann, wenn die einzelnen Theile von entsprechendem Material hergestellt und fest mit einander verbunden sind; zur Erreichung des sanften Fahrens kommt es übrigens weniger auf das Material als auf die entsprechende Construction an." (IX. Supplementbd., S. 131–138.)

Die Befestigung der Kreuzungsblöcke auf ihren Unterlagen geschieht in der Regel durch Schraubenbolzen, theil-

weise auch durch Nägel und Holzschrauben, unter Mitbenützung von Unterlagsplatten. Mit den anstossenden Schienensträngen werden sie am besten verlascht, wobei der gegenseitige Abstand der letzteren durch eingelegte Gussstücke gesichert wird. Nur bei den Hartgussblöcken ruhen die Schienenenden mit ihren Füssen auf der verlängerten Grundplatte des Blockes und sind mit entsprechenden Vorsprüngen derselben von der Seite her verschraubt, oder es ist an den Blöcken beiderseits eine Art Stuhl angegossen, welcher die Enden der Schienen aufnimmt, während in deren Zwischenraum ein keilförmiges Eisenstück mittelst eines wagrechten, in der Mittellinie des Blockes angebrachten und an demselben festsitzenden Schraubenbolzens eingepresst wird.

Fig. 90.



32. Zwangschienen für die einfache Kreuzung. Zur sicheren Führung der Räder über die Kreuzungsstelle sind, wie schon oben des Näheren auseinandergesetzt worden ist, die Zwangschienen unentbehrlich. Ihr Abstand von den neben ihnen durchlaufenden Strängen muss so bemessen sein, dass die Spurkränze der Räder niemals gegen die Herzstückspitze stossen können. Hiernach ergiebt sich aus Fig. 90, welche einen Querschnitt durch das Gleis, ein wenig hinterhalb der Herzspitze vorstellt, so dass I der durchlaufende Schienenstrang, II die Zwangschiene und III der Kreuzungsblock, unter der Voraussetzung, dass an der Kreuzungsstelle, wie es üblich ist, die normale Spurweite $2s = 1{\cdot}435\,m$ eingehalten wird, für den fraglichen Zwischenraum zunächst

$$w_1 = 2s - 2a - d_1$$

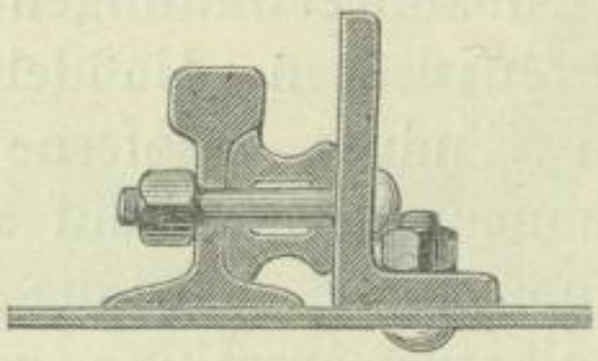
Der ungünstigste Fall liegt offenbar vor, wenn besonders weit gestellte Räder mit neuen, noch nicht abgenützten Reifen über die Kreuzungsstelle gehen, weil dann am leichtesten ein Stoss gegen die Spitze erfolgen kann. Es ist also der Bestimmung von w_1 der grösste im § 168 der Technischen Vereinbarungen zugelassene Abstand $2a = 1{\cdot}363$ und für d_1 der auf S. 235 entwickelte Werth $d_1 = 0{\cdot}031\,m$ zu Grunde zu legen, wofür

$$w_1 = 1{\cdot}435 - 1{\cdot}363 - 0{\cdot}031 = 0{\cdot}041\,m$$

und als senkrechter Abstand des mathematischen Kreuzungspunktes von der Leitkante der Zwangschiene $2s - w_1 = 1{\cdot}435 - 0{\cdot}041 = 1{\cdot}394\,m$ erhalten wird. Dieser Abstand wird in der That durch § 64, Absatz 6 der Technischen Vereinbarungen empfohlen mit dem Zusatze, dass eine Verminderung desselben um 3 *mm* in Folge Abnützung der Zwangschiene zulässig sei. Für die Ausführung im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen war ausserdem eine Bestimmung des Preussischen Handelsministeriums vom 24. April 1874 von Einfluss, insoferne dieselbe von den Preussischen Staatsbahnen aus auch auf andere Bahnen überging. In ihrem Sinne lautet auch die betreffende Schlussfolgerung der Technikerversammlung zu Stuttgart (1878): „Es empfiehlt sich, unter Anwendung der normalen Spurweite, gegenüber der Kreuzungsspitze die Entfernung der Zwangschiene von der Fahrschiene im geraden Gleis mit 44 *mm*, im gekrümmten mit 41 *mm* zu bemessen. Diese Spurrinnenweite ist gegenüber der Unterbrechung der Fahrschiene auf nur 1 *m* Länge durchzuführen und soll sich von da ab beiderseits ebenfalls auf 1 *m* Länge bis 65 *mm* erweitern. Die Enden der Zwangschiene sind auf eine Länge von 25 *cm* entsprechend abzukrümmen. Für eine sehr solide Befestigung der Kreuzungsstücke, Zwang- und Fahrschienen ist Sorge zu tragen." (VI. Supplementband, S. 118 bis 123) — welche nach weiteren sechs Jahren von der Berliner Versammlung vollauf bestätigt wurde. (IX. Supplementband, S. 139 bis 142.) Die Mitte der Zwangschiene wird demnach gegenüber dem mathematischen Kreuzungspunkt angeordnet und kleine Verschiebungen gegen

den Wechsel hin nur vorgenommen, wenn es die Schwellenlage wünschenswerth erscheinen lässt. Die Anwendung des aus der Rechnung abgeleiteten Masses $w_1 = 41\,mm$ am gekrümmten Schienenstrang und dessen Vergrösserung auf der entgegengesetzten Seite ist darin begründet, dass sich bei demselben eine ziemlich starke Abnützung sowohl der Zwangschiene selbst, wie auch der Räder ergiebt. Ausserdem wird gefordert, die Zwangschiene aus passendem Stahl von grosser Widerstandsfähigkeit herzustellen und sowohl die Rinnenweite w_1, wie auch den Abstand zwischen Herzstück und Zwangschiene durch eine gute Befestigungsart möglichst zu sichern. Letztere wird deshalb zunächst seitlich mit dem Schienenstrang verschraubt, unter Zwischenschaltung von Hohlcylindern (Hülsen, Stehbolzen), welche die Schraubenbolzen

Fig. 91.



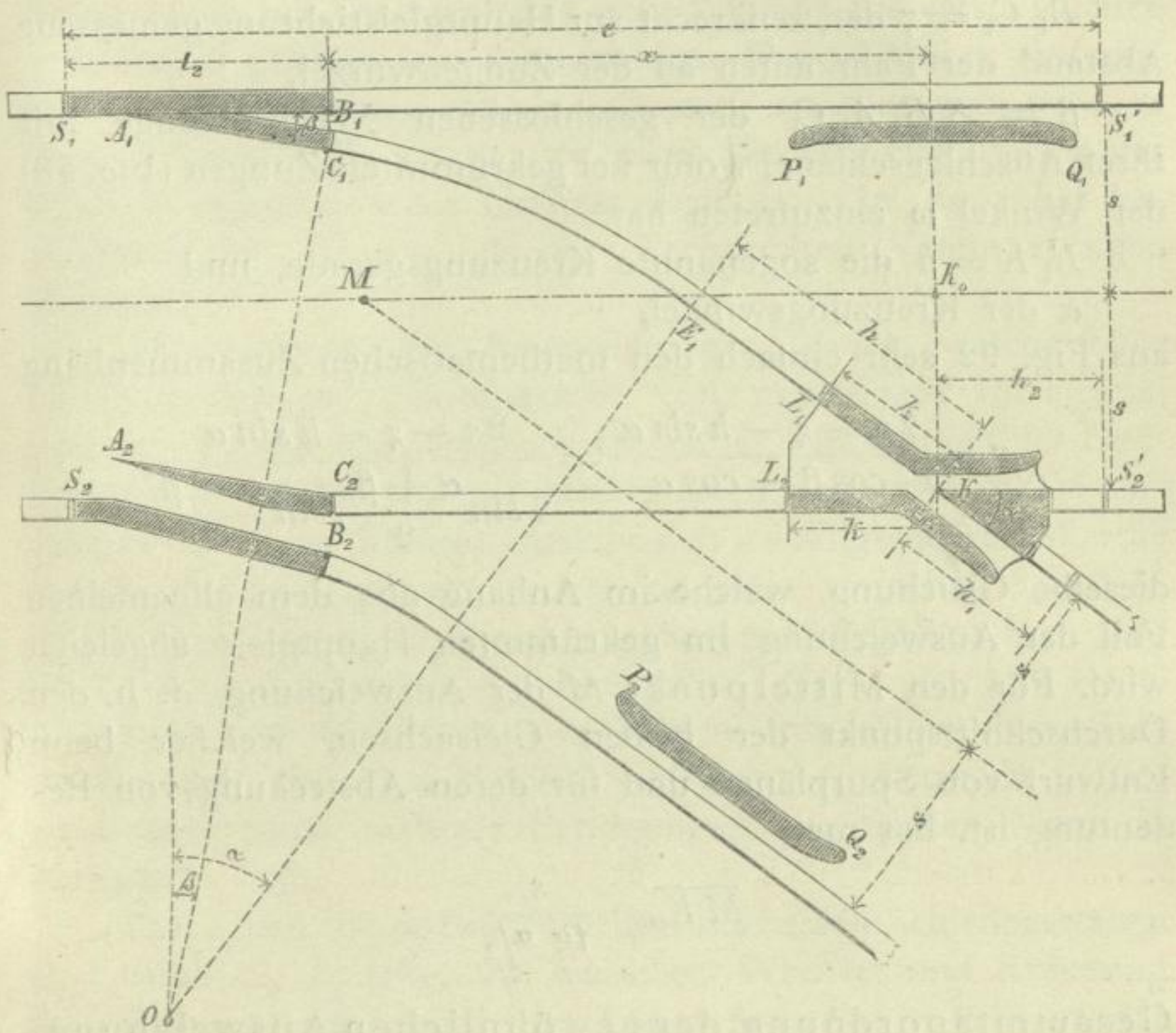
umgeben und durch ihre Länge die Weite w_1 bestimmen, oder statt dessen noch besser unter Benützung von kleinen Gussklötzen. Manchmal werden zu demselben Zweck auch starke Schrauben mit drei Muttern empfohlen, welche eine Regelung des Abstandes w_1 nach erfolgter Abnützung der Zwangschiene zulassen. Ausserdem wird auf eine feste Verbindung der Zwangschiene mit den Schwellen durch Nägel, Schrauben oder Bolzen sammt Unterlagsplatten gesehen, auch gusseiserne Stützböcke (Fig. 90) oder förmliche Lagerstühle angeordnet. Neuerdings hat man zuweilen Fahr- und Zwangschiene vereinigt in Hartguss gebildet oder die Zwangschiene nach Fig. 91 in Form eines starken Winkeleisens angebracht, welches den Rädern eine grössere Berührungsfläche bietet, so dass deren, wie seine eigene Abnützung merklich vermindert wird.

Der Weichenbogen oder das Ausweichgleis.

33. Kreisförmige und parabolische Weichenbögen.

Der Weichenbogen wird bei der Rechnung gewöhnlich kreisförmig, seltener in Form einer Parabel[1]) gedacht und meist durch die Bestimmung festgelegt, dass der den Kreuzungspunkt enthaltende Strang ($C_1 L_1$ in Fig. 92) einerseits die

Fig. 92.



geschlossene Zunge $A_1 C_1$ an ihrem Wurzelende C_1, andererseits die sogenannte Kreuzungsgerade ($E_1 K = h$) in E_1 berührt. Manchmal lässt man den Bogenanfang nicht mit C_1 zusammenfallen, sondern legt ihn etwas weiter zurück in die

---

[1]) Ueber parabolische Weichenbögen siehe: Pinzger, Die geometrische Construction von Weichenanlagen für Eisenbahngleise, 2. Aufl. Aachen 1877.

Verlängerung von $A_1 C_1$, um die später zu besprechende Schieneneintheilung leichter zu Stande zu bringen. Behält man die erste Annahme bei, so erhält man für ein gerades Hauptgleis und kreisförmigen Weichenbogen, wenn

$r = O C_1 = O E_1$ der Halbmesser der Fahrkante des äusseren Schienenstrangs,

$2s$ die Spurweite (lichter Abstand zwischen den inneren Schienenkopfkanten),

$B_1 C_1 = z$ der, senkrecht zur Hauptgleisrichtung gemessene Abstand der Fahrkanten an der Zungenwurzel,

$\beta = \measuredangle B_1 A_1 C_1$ der geschlossenen Wechselzunge mit ihrer Anschlagschiene, wofür bei gekrümmten Zungen (Fig. 88) der Winkel ω einzutreten hat,

$E_1 K = h$ die sogenannte Kreuzungsgerade, und

α der Kreuzungswinkel,

aus Fig. 92 sehr einfach den mathematischen Zusammenhang

$$r = \frac{2s - z - h \sin \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha} = \frac{2s - z - h \sin \alpha}{2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} . \sin \frac{\alpha - \beta}{2}}$$

dieselbe Gleichung, welche im Anhang aus dem allgemeinen Fall der Ausweichung im gekrümmten Hauptgleis abgeleitet wird. Für den Mittelpunkt M der Ausweichung, d. h. den Durchschnittspunkt der beiden Gleisachsen, welcher beim Entwurf von Spurplänen und für deren Absteckung von Bedeutung ist, hat man

$$\overline{M K_0} = \frac{s}{tg\ \alpha/_2}$$

Gesammtanordnung der gewöhnlichen Ausweichung.

34. Grenzwerthe für den Halbmesser des Weichenbogens und die Kreuzungsgerade. Schieneneintheilung in der Ausweichung. Da bei der einfachen Ausweichung im geraden Hauptgleis der Mittelpunktswinkel des Weichenbogens den unveränderlichen Werth $(\alpha - \beta)$ hat und die Grössen $2s$, z, β und α als fest gegeben zu betrachten sind, so kann von den beiden übrigen Grössen r und h noch eine angenommen werden, dann aber ist die andere und damit

die ganze Weichenanlage unzweideutig bestimmt. Es fragt sich nun, welche Gesichtspunkte bei der Annahme von h oder r massgebend sein müssen. Was zunächst die Kreuzungsgerade h betrifft, so muss dieselbe mindestens gleich der Strecke $L_1 K = k$ (Fig. 92) sein, weil die Schenkel des Kreuzungsblockes der leichteren Herstellung wegen jedenfalls gerade ausgeführt werden. Dieses, in der Construction des Herzstückes begründete Mass reicht jedoch in den meisten Fällen nicht hin, es empfiehlt sich vielmehr aus verschiedenen Gründen, h grösser wie k zu wählen. Nun fällt aber andererseits r um so kleiner aus, je grösser h angenommen wird, es fragt sich also vor Allem, ob nicht für den Halbmesser des Weichenbogens gewisse Grenzen festliegen. In der That bestimmt § 63, Abschn. 1 der Technischen Vereinbarungen Folgendes:

„Die Curven der Ausweichungen, durch welche Züge fahren, sollen mit Halbmessern von mindestens 180 m ausgeführt werden. Empfehlenswerth ist es, die Curven der Endweichen der Bahnhöfe mit Halbmessern von etwa 300 m anzulegen." — und hiermit ergeben sich im Allgemeinen Werthe für die Kreuzungsgerade, welche ungefähr zwischen $h = 1{\cdot}75$ und $2{\cdot}00\,m$ liegen. In einem gegebenen Falle hätte man also r und h versuchsweise so festzustellen, dass r dem § 63 entsprechen und h nahezu $2\,m$ lang würde. Rein theoretisch wäre damit die Angelegenheit erledigt; es kommen jedoch ausserdem noch mehrere Erwägungen praktischer Natur in Betracht.

Vor Allem ist zu beachten, dass die beiden Schienenstränge $C_1 L_1$ und $C_2 L_2$ (Fig. 92) zwischen Wechsel und Kreuzung eingeschlossen sind und ihre Länge feststeht, sobald r oder h den eben erläuterten Bedingungen entsprechend angenommen wurde. Es müsste nun als ein höchst bemerkenswerther Zufall betrachtet werden, wenn die so bestimmten Längen der genannten Stränge mit den zur Verfügung stehenden Schienen genau ausgelegt werden könnten. Wohl immer müsste man entweder eine Schiene kürzen, was bei der vorhandenen grossen Anzahl gleicher Ausweichungen und wegen der öfters nothwendigen Erneuerung der Schienenstränge als Material-

verlust fühlbar würde, oder, was noch schlimmer wäre, es bliebe beim Einlegen der vorhandenen Schienen eine nach Centimeter oder Decimeter zu bemessende kleine Lücke übrig, deren Ausfüllung überhaupt nicht mehr praktisch durchführbar wäre. Deshalb wählt man die Länge der Kreuzungsgeraden nicht blos mit Rücksicht auf die bisher angeführten Bedingungen, sondern gleichzeitig auch im Hinblick auf eine passende Schieneneintheilung, indem man neben der oben angeführten Grundgleichung für den Halbmesser

$$r = \frac{2s - z - h \sin \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha}$$

oder

$$r\,(\cos\beta - \cos\alpha) + h \sin a - (2s - z) = o$$

auch noch die andere:

$$r\,arc\,(\alpha - \beta) + h - k - a = o$$

aufstellt, worin k die Schenkellänge des Kreuzungsblocks vor dem mathematischen Kreuzungspunkt (siehe Fig. 92) und a die gewünschte Länge des Stranges $C_1\,L_1$ bedeutet. Es liegen nun zwei Gleichungen vor, aus welchen die beiden Grössen r und h unzweideutig bestimmt sind.

Weiter kommt sodann in Betracht, dass die beiden Stränge $C_1\,L_1$ und $C_2\,L_2$ ungleiche Länge haben. Für ihren Unterschied $C_1\,L_1 - C_2\,L_2 = d$ erhält man, da die Erstreckung der Ausweichung zwischen Zungenwurzel und mathematischem Kreuzungspunkt, in der Richtung des geraden Hauptgleises gemessen, nach der Figur

$$x = r\,(\sin\alpha - \sin\beta) + h \cos\alpha$$

beträgt, allgemein

$$d = a - (x - k) = (r\,arc\,(\alpha - \beta) + h) - (r\,(\sin\alpha - \sin\beta) + h \cos\alpha)$$

und für die gewöhnlichen Zahlenwerthe ungefähr 3—4 *cm*. Wäre beispielsweise $C_1\,L_1 = a$ von vorneherein zu drei Schienenlängen angenommen worden, so könnte man auch den kürzeren Strang $C_2\,L_2$ mit drei Schienen auslegen, nachdem eine derselben um den Betrag d gekürzt worden wäre. Bei der Kleinheit dieses Betrages kann von einem nennenswerthen Materialverlust nicht die Rede sein, und nur die Arbeit des Abschneidens der Schiene, sowie des Bohrens neuer Laschen-

bolzenlöcher könnte in Frage kommen und unangenehm empfunden werden. Manche Ingenieure machen sich deshalb den Umstand zu Nutzen, dass die wirklichen Längen der Schienen immer um einige Millimeter von der genauen Normallänge nach beiden Seiten hin abweichen, indem sie Schienen mit Uebermass für den Strang $C_1 L_1$ und solche mit Untermass für $C_2 L_2$ aussuchen und den sodann noch verbleibenden Rest von d in den Temperaturzwischenräumen ausgleichen. Besser bleibt jedoch immer die Beibehaltung der berechneten Gesammtlänge.

In manchen Fällen kann übrigens auch ohne besondere Verkürzung einer Schiene und ohne dass man sich in der zuletzt beschriebenen Art zu behelfen braucht, die Auslegung der fraglichen Schienenstränge erfolgen, wenn nämlich die angenommene Schienenzusammenstellung a die Hälfte einer zur Verfügung stehenden Schienenlänge enthält. Dann braucht man die letztere (l) nur in zwei ungleiche Theile $l + \frac{d}{2}$ und $l - \frac{d}{2}$ zu trennen, ersteren in den Strang $C_1 L_1$, den kleineren Theil in $C_2 L_2$ einzulegen, womit der Längenunterschied d vollkommen ausgeglichen wäre.

Neben den bis jetzt besprochenen Gesichtspunkten kommt schliesslich noch einer in Betracht, dass nämlich die Gesammtlänge der Ausweichung einem Vielfachen der normalen Schienenlänge gleich sein soll, unter Gesammtlänge (e in Fig. 92) den Abstand des Schienenstosses unmittelbar vor der Zungenspitze von einem Stosse in dem durchlaufenden Hauptgleisstrang verstanden, welcher dem Ende des Kreuzungsblockes oder dem auf dieses Ende folgenden Stosse gegenüberliegt. Es muss diese Bedingung aus einem ähnlichen Grunde aufrecht erhalten werden, weshalb man auch schon $C_1 L_1 = a$ von vorneherein festlegte, damit nämlich die Ausweichung an jeder beliebigen Stelle eines, aus Normalschienen bestehenden Bahnhofgleises eingelegt werden kann, ohne dass dabei in diesem Hauptgleis entstehende Lücken besonders ausgestückt werden müssen.

Diese letzte Bedingung kann, nachdem allen vorausgegangenen schon entsprochen worden, sehr leicht dadurch erfüllt

werden, dass man im verlängerten Strange $C_2 L_2$ hinter dem Kreuzungsblock ein Schienenstück einlegt, welches seiner Länge nach durch die vorausgegangenen Annahmen fest bestimmt ist und nach Bedarf von einer ganzen Schiene abgeschnitten werden kann. Hält man jedoch auch jetzt noch daran fest, dass die Anlage mit dem geringsten Materialverlust gemacht werden soll, so wird die soeben beschriebene Lösung meistens unzulässig, weil dabei in der Regel ein Schienenstück übrig bleibt, welches nur zu Nebenzwecken noch brauchbar und deshalb minderwerthig ist. Es bleibt dann, wenn nicht etwa die Abmessungen des Kreuzungsblockes schon mit Rücksicht auf die verfügbaren Schienenlängen passend gewählt worden waren, oder man nicht in der Lage ist, diese Wahl erst treffen zu können, gewöhnlich nichts Anderes übrig, als die zuerst festgelegte Linienverbindung $A_1 C_1 E_1 K C_2 A_2$ im Hauptgleis von der Kreuzung gegen den Wechsel hin, um etwas zu verschieben, so dass nun die ursprünglich neben einander angenommenen Punkte B_1 und C_1 aus einander rücken und in dem verlängerten Strange $C_2 L_2$, hinter dem Kreuzungsblock gerade die Hälfte einer Schiene eingelegt werden kann. Genauer kann hier nicht auf die Sache eingegangen werden.

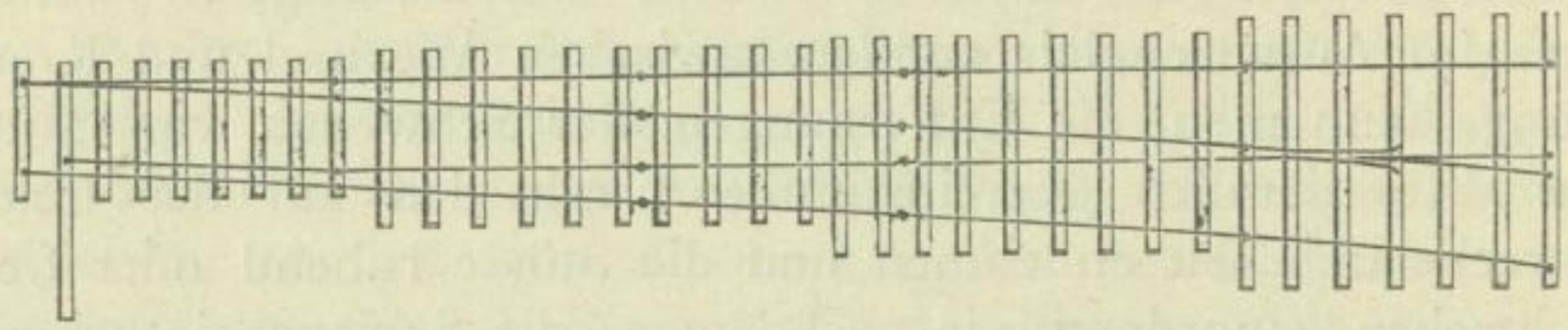
35. Schwellenlage in den gewöhnlichen Ausweichungen. Als Schienenunterlagen innerhalb der Ausweichungen dienen zur Zeit noch ziemlich häufig Querschwellen aus vollkantigem, hartem Holz. Man unterstützt zunächst die Enden der sich gegenüber liegenden Wechselzungen (C_1 und C_2) unter Bildung ruhender Stösse durch eine etwa 30 *cm* breite Schwelle und legt in der Nähe der Zungenspitzen ein oder zwei längere Schwellen ein, deren Lage genau bestimmt ist, weil sie zugleich die Stellvorrichtung des Wechsels aufzunehmen haben. Zwischen hinein kommen sodann die übrigen Schwellen in Abständen von etwa 75 *cm*, welche in dem vorderen, verschwächten Theile der Zungenschienen zweckmässig noch etwas verkleinert werden. Am vorderen Ende der Anschlagschiene, dem Anfange der Ausweichung, welche immer ein Stück vor den Zungenspitzen liegt, wird je nach Erforderniss ein ruhender oder freiliegender Stoss ausgeführt, während das andere Ende der Anschlagschiene in der Regel mit der Zungen-

wurzel (C_1) auf dieselbe Schwelle zu ruhen kommt, und nur, falls es gegen letztere verschoben werden musste, für sich ruhend oder freiliegend behandelt wird. Zur Erzielung noch grösserer Sicherheit werden die in der beschriebenen Weise angeordneten Querschwellen zuweilen mittelst hölzerner Langschwellen zu einer Art Rost vereinigt oder man benützt zu demselben Zwecke schmiedeiserne Platten zwischen Schienen und Querschwellen.

Auch der Kreuzungsblock verlangt eine besonders sorgfältige Unterstützung. Man legt ihn gewöhnlich mit den Enden auf zwei lange, quer durch alle vier Schienenstränge reichende Holzschwellen auf und ordnet dazwischen, je nach der Länge des Blockes, noch weitere zwei oder drei derartige Schwellen an. Im Ausweichgleis endlich, zwischen Wechsel und Kreuzung, kann man die Entfernungen der Schwellen von Mitte zu Mitte ziemlich übereinstimmend mit den auf der freien Strecke üblichen annehmen und die Stösse ruhend oder freischwebend anordnen, je nachdem es die Schieneneintheilung wünschenswerth erscheinen lässt. Dabei ist es im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen ziemlich allgemein gebräuchlich, die Schwellen in der Hauptsache senkrecht zur Achse des Hauptgleises zu legen und sie alle unter den vier Schienensträngen der Ausweichung durchreichen zu lassen (Fig. 93). Natürlich empfiehlt es sich dabei, nicht zu vielerlei Längen anzuwenden, sondern immer eine Anzahl auf einander folgender Schwellen von gleicher Länge zu wählen. Dieser Anordnung steht eine andere, besonders in Frankreich übliche gegenüber (Fig. 94), wobei einige längere Schwellen nur unter dem Kreuzungsblock, im Uebrigen aber lauter Stücke gewöhnlicher Länge verwendet werden, so dass eigentlich jedes der beiden aus einander laufenden Gleise seine eigene Schwellenlage erhält. Im zweiten Falle ist jedoch der Holzbedarf grösser wie im ersten und das Unterstopfen der Schwellen wegen ihrer engen Lage schwieriger. Dass auch innerhalb der Ausweichung besonders gutes Material für den Bettungskörper erforderlich ist und dessen künstliche Entwässerung, wenn irgendwie nothwendig, durchgeführt werden muss, ist wohl für sich verständlich.

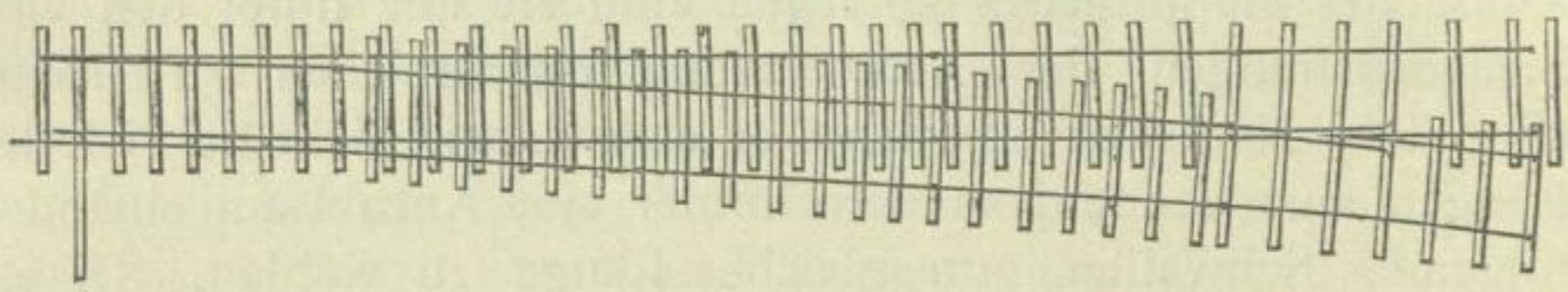
Schliesslich ist dann noch anzuführen, dass in neuerer Zeit, und zwar nicht blos beim eisernen Oberbau, Unterlagen aus Eisen, vor Allem im Wechsel, dann aber auch innerhalb der ganzen Ausweichung mehr und mehr Verbreitung finden. Mancherlei Aufschlüsse in dieser Beziehung gewährt die Technikerversammlung zu Stuttgart (1878), worüber im VI. Supplementband, S. 146 u. 147, nachgelesen werden kann, dann die Berliner Versammlung vom Jahre 1884 (IX. Supplementband, S. 111 bis 117). Im Ganzen geht aus diesen Mittheilungen etwa Folgendes hervor: Auf manchen Bahnen wurden die hölzernen Querschwellen einfach durch solche

Fig. 93.



aus Eisen verschiedener Form ersetzt, auf anderen wurden im Wechsel Langschwellen verwendet, welche durch einzelne

Fig. 94.



Querschwellen mit einander verbunden waren. Letztere Anordnung ging aus den schon oben gelegentlich erwähnten hervor, wo zwischen den gewöhnlichen Holzschwellen und den Schienen lange Blechplatten eingeschaltet waren, indem man diese als Langschwellen auffasste und durch untergenietete Stücke alter Schienen oder wirkliche eiserne Querschwellen gegenseitig verband. Als sich derartige sogenannte Plattenweichen nicht sicher genug erwiesen, ersetzte man die Platten durch steifere Langschwellen verschiedenen Profils. Ueber die mit solchen neueren Ausführungen gemachten Erfahrungen giebt die folgende Schlussfolgerung aus dem Jahre 1884 Aufschluss:

„Bei den ganz eisernen Weichen (Wechseln) hat sich sowohl das Lang- als das Querschwellensystem bei entsprechenden Constructionsformen, ausreichenden Abmessungen und gutem Bettungsmateriale bewährt; indessen ist das Urtheil in Betreff des guten Erfolges bei Weichen auf eisernen Querschwellen ein einstimmiges, bei Weichen auf Langschwellen dagegen getheilt. Die einfachen Plattenweichen entsprechen den Anforderungen nicht." (IX. Supplementband, S. 117.)

36. Gewöhnliche Ausweichungen im gekrümmten Hauptgleis, Curvenweichen. Schwieriger wie bei der einfachen Ausweichung im geraden Hauptgleis gestaltet sich die Sache, wenn letzteres gekrümmt ist, weil dann der Mittelpunktswinkel (δ) des Weichenbogens nicht mehr unveränderlich, sondern von dem Werthe der Kreuzungsgeraden h abhängig ist. Nach den Entwickelungen im Anhang gelten im vorliegenden Fall, je nachdem die Abzweigung nach der einen oder anderen Seite stattfindet, die Gleichungen

$$r = \frac{(r'_0 \pm s)\, m \mp n}{(r'_0 \pm s)\, p \pm q}, \quad tg\, {}^{\delta}/_{2} = \frac{(r'_0 \pm s)\, p \pm q}{(r'_0 \pm s)\, u \pm v}$$

Nimmt man hierzu, wie vorher, die dritte Gleichung

$$r\, arc\, \delta + h - k - a = o$$

mittelst welcher eine passende Schieneneintheilung im Weichenbogen erzielt werden soll, so hat man zwar auch wieder ebensoviele Gleichungen als unbekannte Grössen (r, δ und h); die Auflösung ist aber erschwert, indem der Winkel δ gleichzeitig in der Verbindung $tg\, {}^{\delta}/_{2}$ und $arc\, \delta$ vorkommt. Für die erste Ueberschlagsrechnung genügt es jedoch, $r\,.\, arc\, \delta = 2\, r\,.\, tg\, {}^{\delta}/_{2}$, also

$$r\, tg\, {}^{\delta}/_{2} = \frac{a + k - h}{2}$$

zu setzen und in Verbindung mit dem, durch Multiplication der beiden Grundgleichungen abzuleitenden Ausdruck

$$r\, tg\, {}^{\delta}/_{2} = \frac{(r'_0 \pm s)\, m \mp n}{(r'_0 \pm s)\, u \pm v}$$

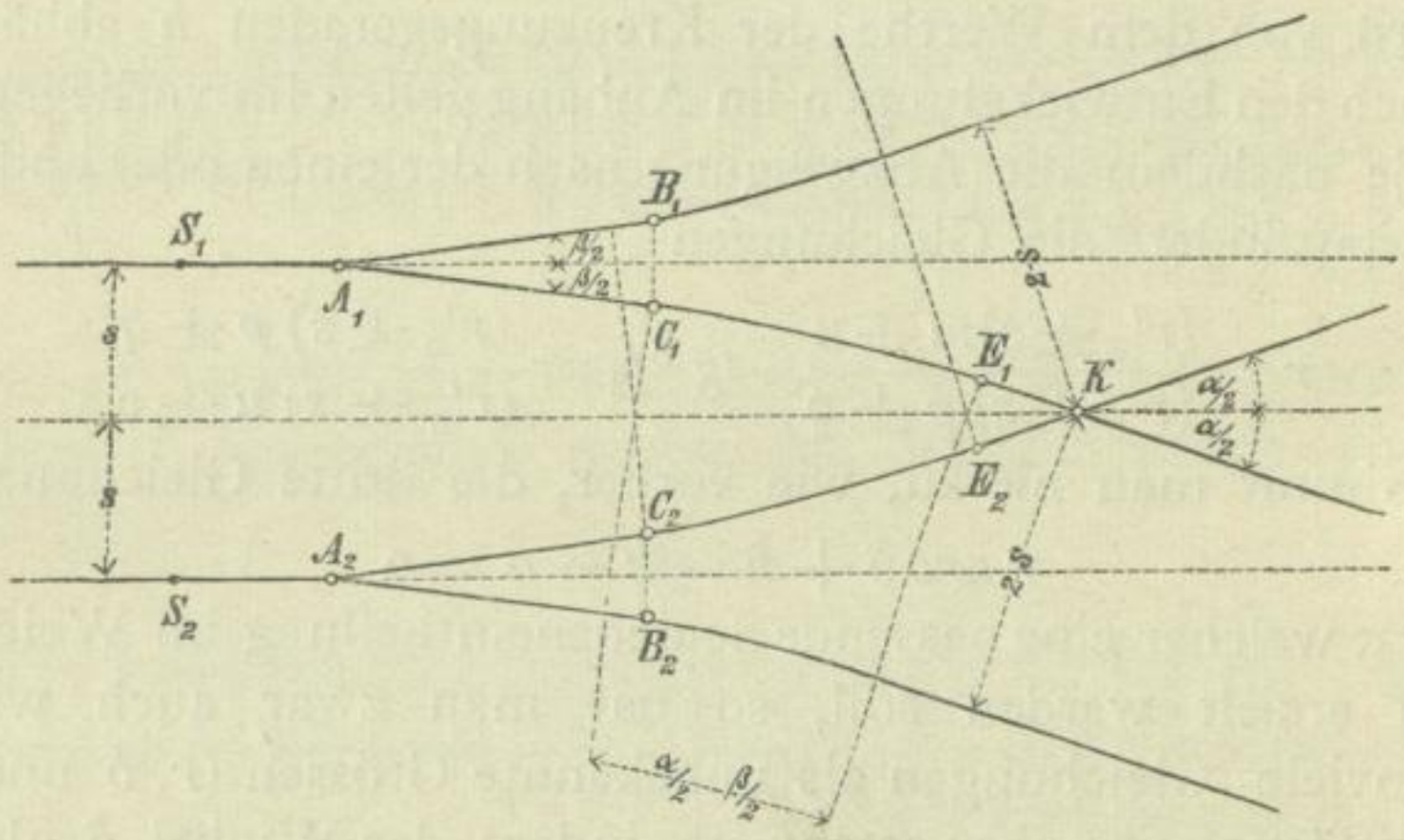
zunächst h und dann die anderen Grössen zu berechnen. Zu einem genaueren Ergebniss gelangt man, wenn man für h eine Reihe von Werthen annimmt, für jeden derselben die

zugehörigen Werthe von r, δ, $r \, arc \, \delta + h - k$ u. s. w. berechnet und schliesslich die, einer passenden Schienenzusammenstellung entsprechenden Werthe durch Interpolation entnimmt. Bezüglich der Schwellenlage bleiben die für die Ausweichung im geraden Hauptgleis angegebenen Regeln im Grossen und Ganzen unverändert bestehen.

II. Andere Formen von Ausweichungen.

37. Einfache symmetrische Ausweichung. Die rein theoretische Form des Wechsels, wie sie allen bisherigen Betrachtungen zu Grunde lag, zeigt einerseits eine gerade, andererseits eine im Winkel β abgebogene Anschlagschiene ($S_1 \, B_1$

Fig. 95.



und $S_2 \, B_2$ in der Fig. 92). Denkt man sich nun eine Aenderung dahin getroffen, dass auch die erstere abgebogen wird, jedoch nur unter dem Winkel $\beta/2$, und gleichzeitig die Ecke der anderen auf dasselbe Mass abgemindert, denkt man sich dann den in solcher Weise veränderten Wechsel in ein gerades Bahnhofsgleis eingelegt, so dass die geschlossene Zungenschiene mit dessen Achse ebenfalls nur die Hälfte des Winkels β einschliesst, und endlich das Gleis selbst von dem Querschnitte $A_1 \, A_2$ aus symmetrisch zu dem abzweigenden Gleis, namentlich also mit einem Kreisbogen von demselben Halbmesser (r) umgeformt, so erhält man die theoretische Grundfigur (95) für die sogenannte einfache symmetrische Ausweichung, welche auch als Curvenausweichung bei Abzweigung nach

entgegengesetzten Seiten aufgefasst werden kann. Bei der Ausführung ergiebt sich eine unwesentliche Abweichung von dieser, der Rechnung zu Grunde zu legenden Figur nur dadurch, dass man sich gestattet, den für die gewöhnlichen Weichen benützten Wechsel auch hier einzulegen.

Unter Beibehaltung aller bisherigen Bezeichnungen, insbesondere auch des Buchstabens h für die Länge der Kreuzungsgeraden $E_1 K$, ergiebt sich der mathematische Zusammenhang der in Betracht kommenden Grössen nach Fig. 95 sehr einfach aus der Thatsache, dass die Projection des Linienzuges $A_1 C_1 E_1 K$ auf die Querschnittsrichtung $A_1 A_2$ gleich der halben Spurweite s ist, zu

$$r = \frac{s - \zeta/_2 - h \sin \alpha/_2}{\cos \beta/_2 - \cos \alpha/_2} = \frac{s - \zeta/_2 - h \sin \alpha/_2}{2 \sin \frac{\alpha+\beta}{4} \sin \frac{\alpha-\beta}{4}}$$

Da auch hier, wie bei der gewöhnlichen Ausweichung, die Grössen s, ζ, α und β als gegeben zu betrachten sind, so erscheint der Halbmesser r nur mit der Länge der Kreuzungsgeraden (h) veränderlich und die ganze Weichenanlage vollständig bestimmt, sobald bezüglich einer dieser beiden Grössen irgend eine Annahme gemacht worden ist, und es gilt in dieser Hinsicht ebenfalls Alles, was früher über Schieneneintheilung im Weichenbogen u. dgl. gesagt wurde.

Für die Länge x der Ausweichung zwischen den Zungendrehpunkten (C_1 und C_2) und dem mathematischen Kreuzungspunkte (K), in der ursprünglichen Achsenrichtung gemessen, ergiebt sich ebenfalls sehr einfach

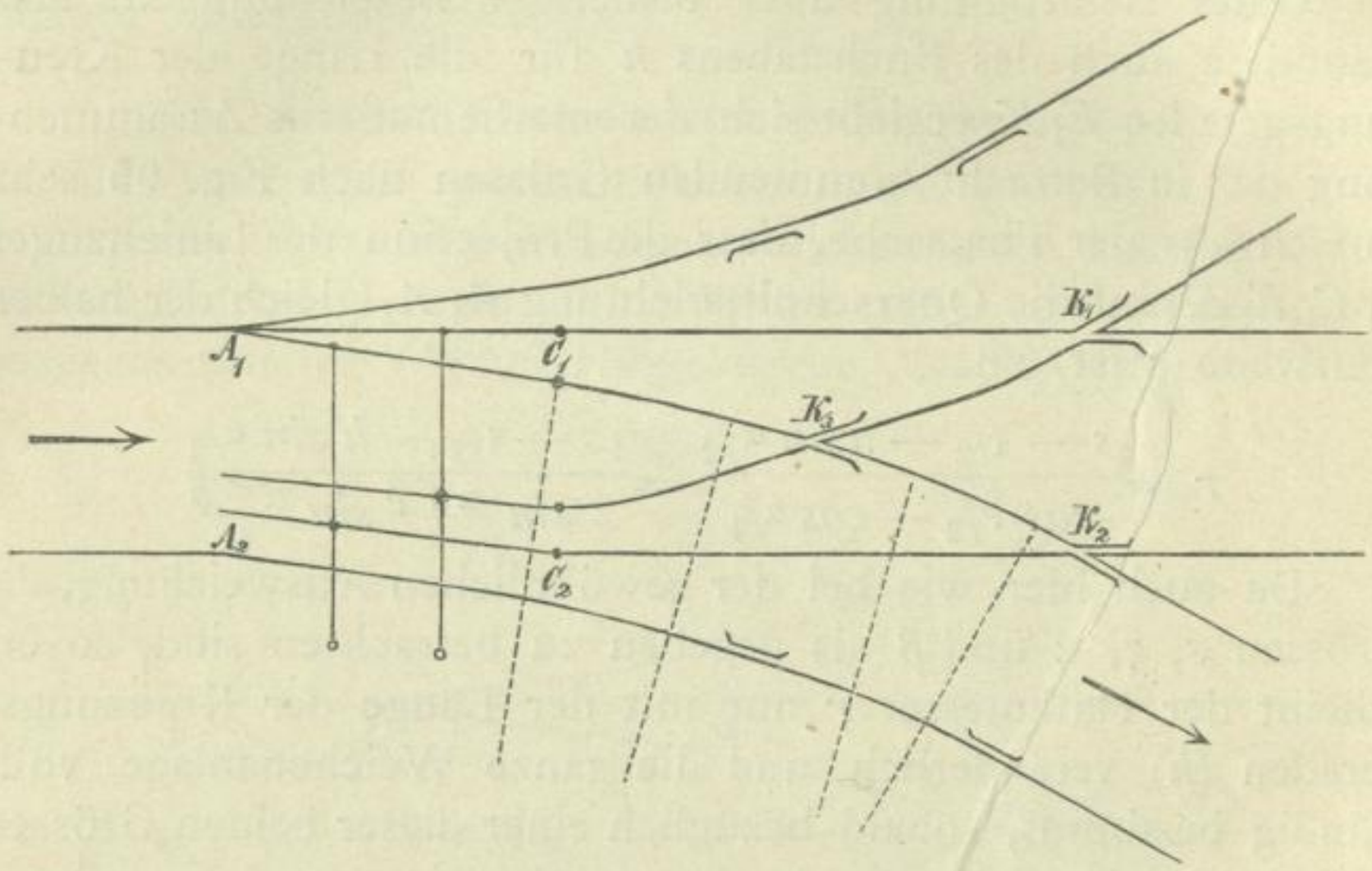
$$x = r\,(\sin \alpha/_2 - \sin \beta/_2) + h \cos \alpha/_2$$

während der Abstand des mathematischen Kreuzungspunktes (K) von den verlängerten Fahrkanten des ursprünglichen geraden Gleises selbstverständlich $y = s$ ist.

38. **Doppelte Ausweichungen im geraden Hauptgleis.** Wenn man von einer und derselben Stelle eines durchlaufenden geraden Hauptgleises zwei andere Gleise mittelst gewöhnlicher Ausweichungen nach entgegengesetzten Seiten hin abzweigt, so entsteht eine doppelte Ausweichung (dreitheilige oder dreigleisige Weiche) und insbesondere eine symmetrische Doppelweiche, wenn die beiden einfachen Aus-

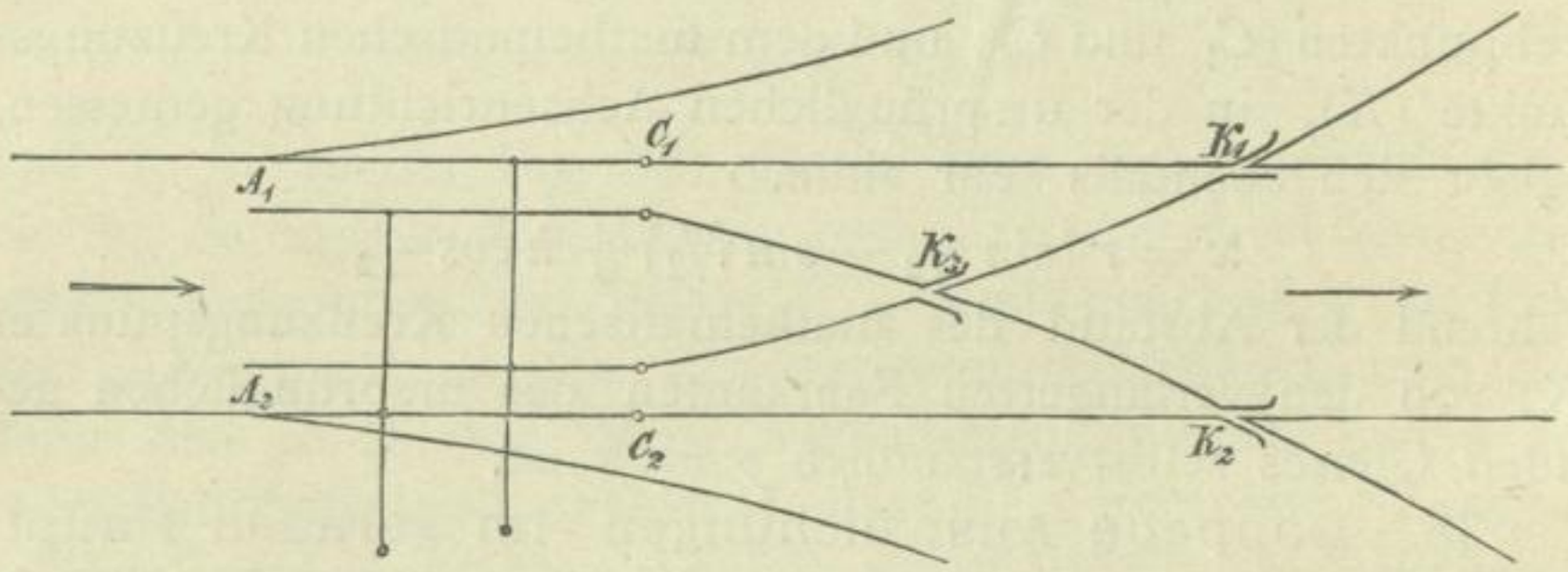
weichungen mit demselben Kreuzungsverhältniss und auch sonst übereinstimmend angeordnet sind. In beiden Fällen kommen zwei Wechsel, also zwei Paare zusammengehöriger Zungenschienen mit je einer Stellvorrichtung neben einander zu

Fig. 96.



liegen, und es treten drei Kreuzungen auf, indem die äusseren Stränge der beiden Weichenbögen regelrecht je einen Strang

Fig. 97.

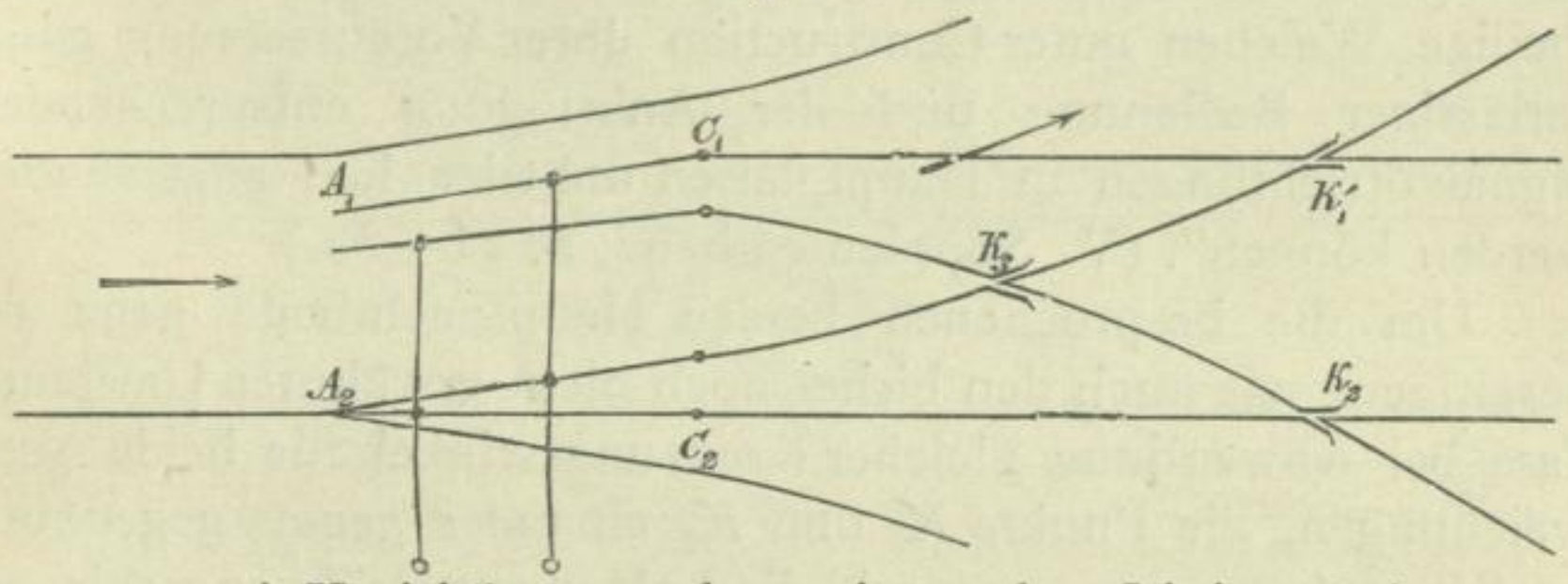


des geraden Gleises, dann aber auch sich selbst durchschneiden. In den, der Raumersparniss und Uebersichtlichkeit wegen sehr verzerrt gezeichneten Figuren 96, 97 und 98 ist durch die Pfeilrichtung angedeutet, welche Wege ein im geraden Gleis von links nach rechts ankommender Bahnzug je nach der Stellung der Wechsel einschlagen muss.

Die, geraden Gleissträngen angehörigen Wechselzungen erhalten natürlich eine gerade Fahrkante, während die übrigen Zungen gerade oder gekrümmt hergestellt werden können. Bei der Ausführung wird es nöthig, um hinreichend widerstandsfähige Spitzen für die Zungenschienen zu erhalten, denselben etwas verschiedene Längen zu geben; bei der Rechnung nimmt man jedoch hierauf keine Rücksicht, sondern führt sie alle mit gleicher Länge ein.

Da es weiter nothwendig ist, ebenso wie bei K_1 und K_2, auch vor und hinter dem dritten mathematischen Kreuzungspunkte K_3 gerade Strecken auszuführen, so setzen sich die innerhalb des Hauptgleises verlaufenden äusseren Stränge der abzweigenden Gleise zwischen den Wurzelpunkten der Zungenschienen und den Kreuzungspunkten K_1, beziehungsweise K_2,

Fig. 98.



je aus zwei Kreisbögen und zwei geraden Linienstücken zusammen, und man gelangt zu mathematischen Ausdrücken zwischen den vielen hierbei auftretenden Grössen (den Halbmessern der Kreisbögen, den Kreuzungsgeraden und Mittelpunktswinkeln der Bögen) wiederum in einfacher Weise durch Projiciren der besprochenen Linienzüge auf eine Richtung, senkrecht zur Hauptgleisachse. Welche von diesen Grössen dann angenommen und welche berechnet werden sollen, hängt von dem jeweils vorliegenden besonderen Falle ab, wobei es sich nur noch empfiehlt, auch eine leichte Auflösung der Gleichungen nicht ganz aus dem Auge zu lassen.

Es ist unzweifelhaft, dass solche doppelte Ausweichungen eine gute Raumausnützung gestatten, so dass man sie in manchen Fällen nur ungern vermissen würde. Andererseits wurden, besonders in früherer Zeit, einige nicht unbedenkliche Nach-

theile derselben beobachtet. So namentlich, dass die Wechselzungen einer starken Abnützung unterlagen und in Folge dessen hohe Unterhaltungskosten verursachten, auch wurde geltend gemacht, dass wegen der Lage der beiden Ausrückvorrichtungen dicht neben einander, leicht eine Verwechselung der Hebel stattfände und falsche Einstellungen der Wechselzungen zu Stande kämen, die überdies von den ankommenden Locomotiven aus nur schwer erkennbar seien. Die Würdigung dieser Schattenseiten war zeitweilig eine so allgemeine, dass auch in den Technischen Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen eine Zeitlang die Anwendung der Doppelweichen in Hauptgleisen als nicht empfehlenswerth bezeichnet wurde. Erst die Berathungen der in Düsseldorf im Jahre 1874 abgehaltenen Technikerversammlung führten zu einer günstigeren Beurtheilung und zu der Erklärung, „dass dreitheilige Weichen guter Construction unter Voraussetzung ganz verlässiger Bedienung und der Anbringung entsprechender Signalvorrichtungen in Hauptgleisen unbedenklich angewendet werden können". (V. Supplementband, S. 21—23.)

Um die besprochenen beiden Hauptnachtheile ganz zu beseitigen, wie auch den bisher noch nicht erwähnten Umstand, dass bei Anwendung gleicher Kreuzungswinkel für beide Ausweichungen, die Punkte K_1 und K_2 einander genau gegenüber zu liegen kommen, wodurch die Anlage zweier Zwangschienen unmöglich wird, hat man die beiden Wechsel schon aus einander gerückt, um so viel, dass der weiter zurückliegende eben noch vollkommen geöffnet werden kann. Die rechnerische Behandlung bleibt dann fast genau dieselbe wie im vorausgehenden Falle.

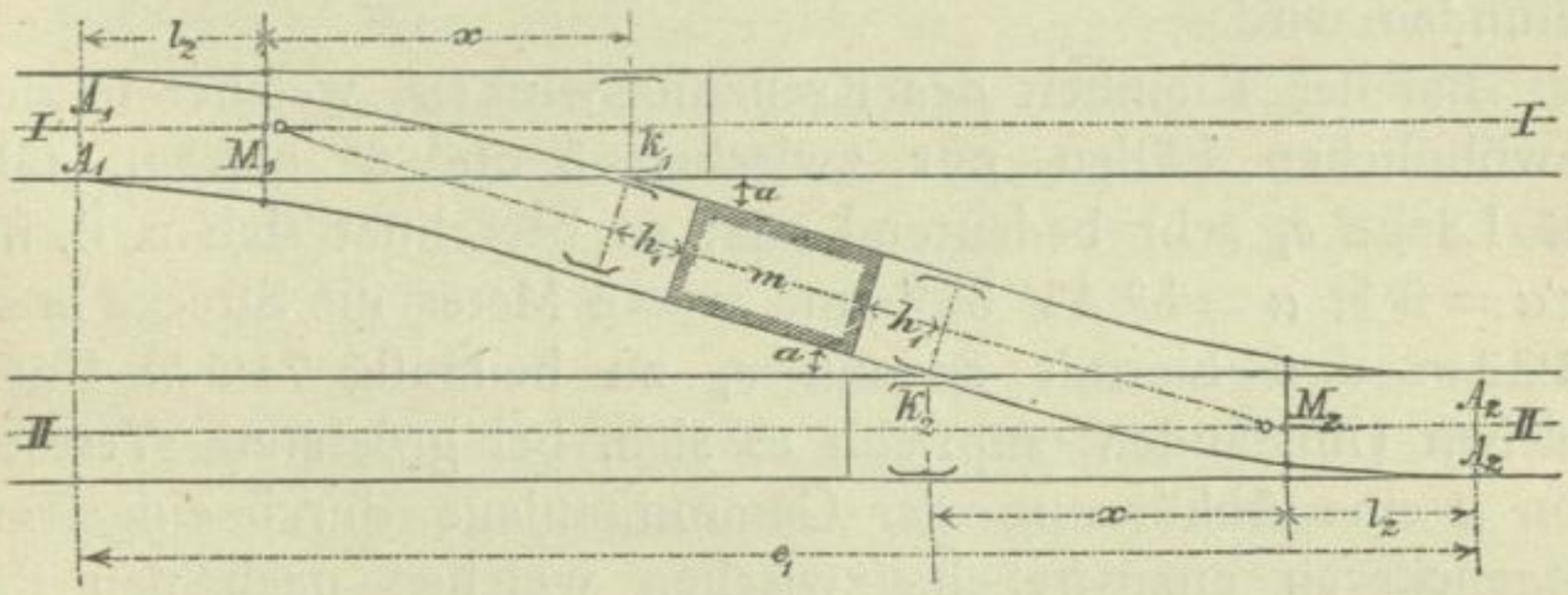
III. Verbindung der Gleise mittelst Ausweichungen.

39. **Gabelung zweier gleichlaufender Gleise.** Der einfachste hierher gehörige Fall ist wohl der, dass sich aus einem durchgehenden geraden Bahnhofsgleis ein anderes, ihm in einem bestimmten Achsenabstand (a) gleichlaufendes, mittelst einer gewöhnlichen Ausweichung abzweigt. Da dieses das gegebene Gleis unter dem Kreuzungswinkel α verlässt, so handelt es sich einfach darum, zwei festgegebene, unter diesem

Winkel sich schneidende Gerade unter einander mittelst eines Kreisbogens zu verbinden, welcher natürlich an beide berührend anschliessen muss. Die mathematische Beziehung zwischen dessen Achsenhalbmesser (r_0), der Entfernung der parallelen Gleisachsen (a) und der hinter dem Kreuzungspunkt einzulegenden geraden Strecke (h_1) ist ohne Schwierigkeit aus einer Gleichung zu entnehmen. (Sie lautet: $s + s \cos \alpha + h_1 \sin \alpha + r_0 (1 - \cos \alpha) = a$).

Vom praktischen Standpunkte aus ist nur noch zu bemerken, dass der erforderliche Verbindungskreis keinesfalls schärfer gekrümmt werden darf als der vorausgehende Weichenbogen und die Kreuzungsgerade h_1 den früher angegebenen Bedingungen entsprechen muss.

Fig. 99.



40. Ausweichgleis zwischen geraden Bahnhofsgleisen. Einen anderen, sehr häufig vorkommenden Fall stellt die Fig. 99 dar. Es handelt sich demnach um die Verbindung zweier gerader, nach beiden Seiten hin durchlaufender Gleise mit Hilfe gewöhnlicher Ausweichungen. Die Gleise liegen zuweilen unter einem Winkel gegen einander, welcher grösser wie Null ist, meistens werden sie einander gleichlaufend sein. Auch die Kreuzungswinkel bei K_1 und K_2 können im Allgemeinen verschiedene Grösse haben, werden aber auch in der Regel gleich gross angenommen. In diesem Falle ist zur Vereinigung der beiden Ausweichungen, welche nach den früher gebrachten Darlegungen (siehe insbesondere auch Fig. 92) um ein Stück h_1 über ihren mathematischen Kreuzungspunkt hinausreichen, ein gerades „Verbindungsgleis" einzulegen,

dessen Länge (m) feststeht, sobald der Kreuzungswinkel α und die Achsenentfernung a angenommen sind. Da das so berechnete m selten mit den verfügbaren Schienenlängen in befriedigender Weise ausgelegt werden kann, so wird man, wenn sonst keine Gründe dagegen stehen, manchmal umgekehrt für m einen passenden Werth annehmen und den zugehörigen Werth von a aufsuchen. Die zu Berechnungen dienende Gleichung ergiebt sich aus den Entwickelungen im Anhange, und auch aus Fig. 99 kann sie abgelesen werden; sie lautet:

$$m + 2\,h_1 = \frac{a - 2\,s\,(1 + \cos\alpha)}{\sin\alpha} = \frac{a - 2\,s}{\sin\alpha} - \frac{2\,s}{tg\,\alpha}$$

während als Länge e_1 der ganzen Anlage mit den Bezeichnungen der Fig. 92

$$e_1 = 2\,(l_2 + x) - 2\,s\,\sin\alpha + (m + 2\,h_1)\cos\alpha$$

gefunden wird.

Bei der Kleinheit des Kreuzungswinkels, welcher in den gewöhnlichen Fällen nur zwischen 5 und 6^0 beträgt, fällt die Länge e_1 sehr bedeutend aus; so berechnet sich z. B. für $tg\,\alpha = 0{\cdot}1$, $\alpha = 5^0\ 42'\ 38''$ und $a = 4$ Meter die Strecke m zu $11{\cdot}43\,m$ und hiermit sodann e_1 zu beiläufig $71{\cdot}5\,m$. Unter solchen Umständen empfiehlt es sich, bei grösseren Werthen von a eine Abkürzung der Gesammtanlage durch eingelegte Gegencurven anzustreben, zwischen welchen nach den Bestimmungen des § 63, Abschn. 2 der Technischen Vereinbarungen eine gerade Strecke von mindestens $6\,m$ eingelegt werden muss.

Ein wesentlicher Vortheil lässt sich jedoch, wie schon bemerkt, nur bei weiter aus einander liegenden Gleisen erzielen. Ist der Achsenabstand a derselben zu klein, so fallen die in Aussicht genommenen Bogenstücke zu kurz aus oder es ist ihre Anlage überhaupt nicht möglich. Im Anhang ist dieser Fall unter ziemlich allgemeinen Voraussetzungen behandelt.

41. Die sogenannte Kreuzweiche und die Doppelkreuzung. Bei der in Fig. 99 dargestellten Verbindung müssen alle von rechts nach links im Gleis I ankommenden Fahrzeuge beim Wechsel der Gleise ihre Hauptfahrrichtung wieder-

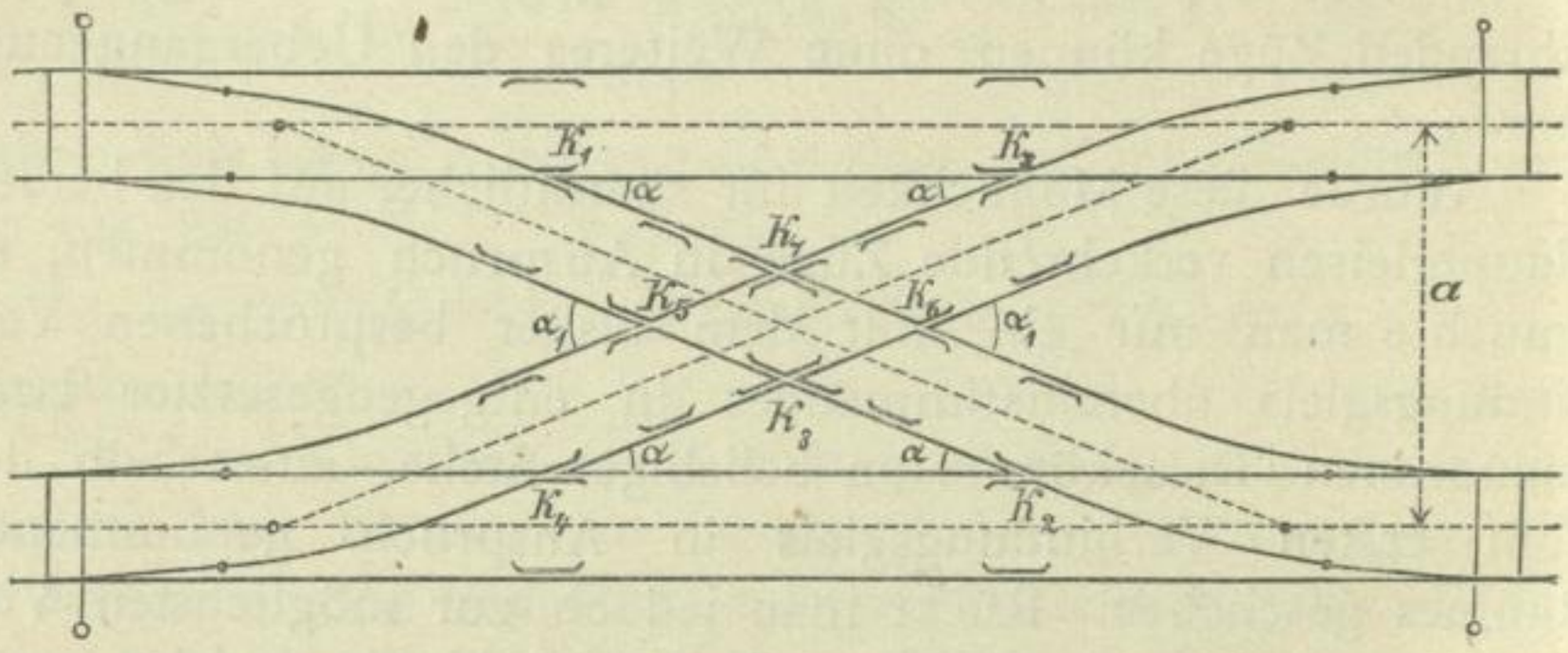
holt ändern; sie müssen zunächst über den ersten Wechsel bei $A_1 A_1$ hinausfahren, nach dessen Umstellung rückwärts durch das ganze Ausweichgleis und über den anderen Wechsel bei $A_2 A_2$ weg bis in's Gleis II; dann erst, nachdem auch dieser Wechsel umgestellt worden, im zweiten Hauptgleis in der ursprünglichen Richtung (von rechts nach links) weiter. Dieselben Umständlichkeiten ergeben sich für alle Fahrzeuge oder Wagenzüge, welche von links her im Gleis II ankommen und in derselben Richtung das Gleis I durchfahren sollen. Nur die in beiden Gleisen gegen die Zungenspitze fahrenden Züge können ohne Weiteres den Uebergang ausführen.

Würde diese Möglichkeit für sämmtliche, auf den beiden Hauptgleisen verkehrende Züge in Anspruch genommen, so brauchte man nur ein, mit dem bisher besprochenen Verbindungsgleis übereinstimmendes in entgegengesetzter Lage anzuordnen. Dies könnte an beliebiger Stelle, ausserhalb des vom ersten Verbindungsgleis in Anspruch genommenen Raumes geschehen. Rückt man jedoch zur möglichsten Verkürzung der ganzen Anlage beide Verbindungsgleise nach Fig. 100 in einander, so entsteht eine Anordnung, welche unter dem Namen Kreuzweiche bekannt ist. Die beiden vorgegebenen geraden Bahngleise können gleichlaufend sein oder sich unter einem spitzen Winkel durchschneiden; in beiden Fällen ist die rechnerische Behandlung ohne Schwierigkeit durchzuführen. Hier mögen nur noch einige Worte über die, unter dem Winkel α_1 erfolgende Kreuzung der Verbindungsgleise ihren Platz finden. Da dieser Winkel sehr spitz ist (er würde z. B. nach Fig. 100 für $tg\,\alpha = 0{\cdot}1$, $\alpha_1 = 2\alpha = 11^0\ 25'\ 16''$ betragen), so unterscheiden sich die Kreuzungen bei K_5 und K_6 nicht wesentlich von den gewöhnlichen Kreuzungen in K_1, K_2, K_3, K_4, dagegen verlangen die Kreuzungsstellen bei K_7 und K_8 eine besondere Bildung, wie sie aus Fig. 101 zu ersehen ist.

Um Rinnen für die, längs den Innenseiten der Schienenstränge hingleitenden Spurkränze der Räder zu erhalten, müssen die sich kreuzenden Stränge vor Allem ein stumpfes Herzstück mit der Spitze K_7 bilden, sodann zwei Knieschienen

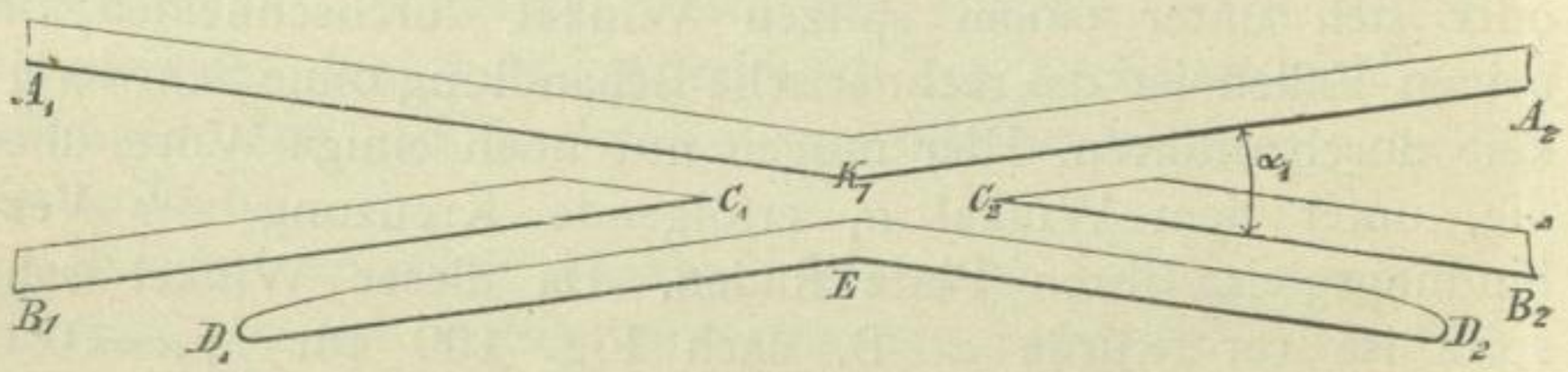
(B_1 C_1, B_2 C_2) mit spitzwinkeligen Knien (C_1, C_2), wozu weiter noch die Zwangschiene D_1 E D_2 kommt. Die Schenkel des stumpfen Winkels gewähren hier den Rädern beim Uebergang über die Unterbrechungsstellen K_7 C_1 und K_7 C_2 Unterstützung, in gleicher Weise wie die Knieschienen bei der früher besprochenen „einfachen Kreuzung" (Nr. 31), und da die Kniepunkte C_1 und C_2 bei der jetzigen Anlage wie zwei Herzstückspitzen erscheinen, nennt man dieselbe auch „Doppel-

Fig. 100.



kreuzung". Ist der Winkel α_1 weniger spitz als es bei den Kreuzweichen wohl immer der Fall ist, so gewährt die Zwang-

Fig. 101.

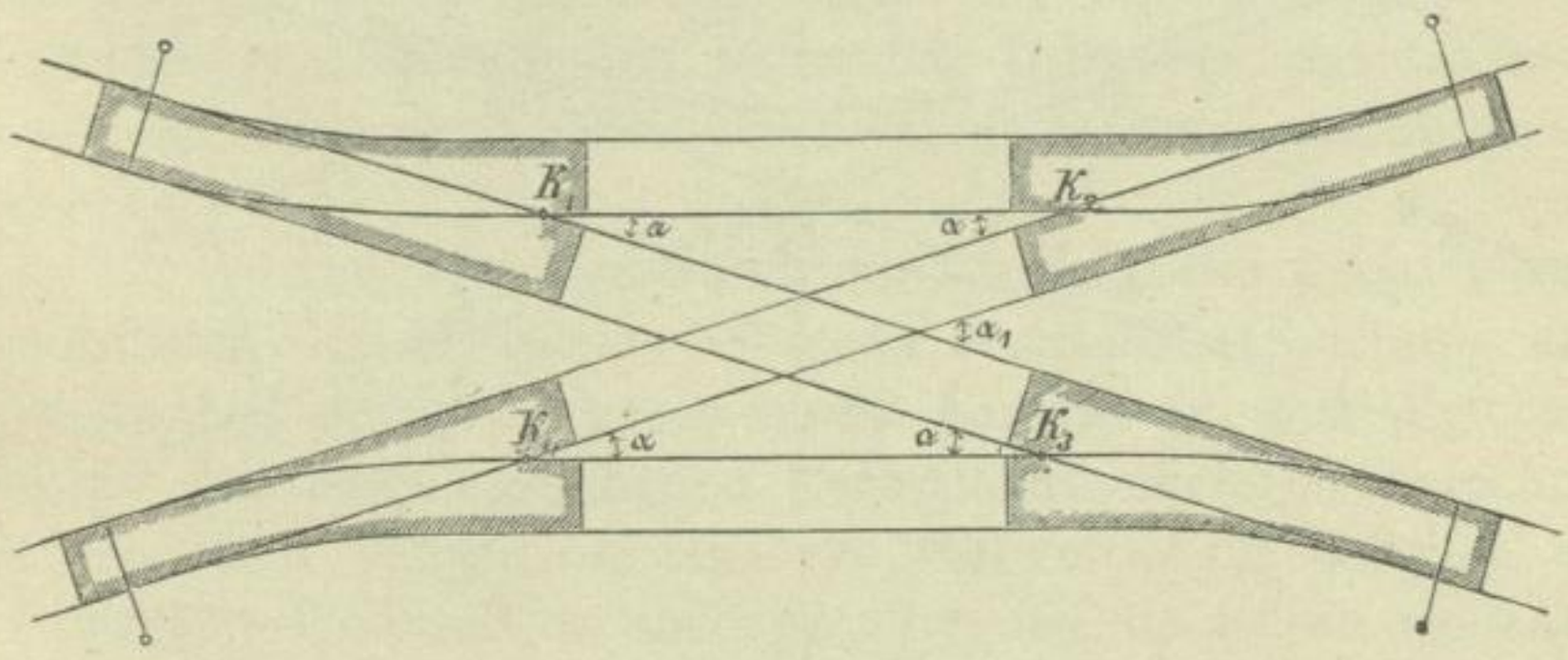


schiene bei K_8, welche in ihrer Form genau mit D_1 E D_2 übereinstimmt, den die Lücken K_7 C_1 oder K_7 C_2 überschreitenden Rädern noch eine gewisse Führung; bei kleineren Winkeln α_1 dagegen fehlt jegliche Führung und man kann nur darauf rechnen, dass die Räder beim Laufen in der Richtung B_1 C_1 oder B_2 C_2 vermöge ihrer Trägheit nicht in C_2, beziehungsweise C_1 anstossen, nachdem sie vor ihrem Eintritt in die Lücken K_7 C_2 oder K_7 C_1 von den Schenkeln D_1 E oder D_2 E der Zwangschiene geführt worden waren. Die

Erfahrung hat diese Voraussetzung bestätigt. Immerhin aber ist es angezeigt, die Länge der Lücken möglichst einzuschränken, indem man die Spurkranzrinnen nicht zu weit macht (etwa nur gleich 45 *mm*), auch ist es gerade hier am Platz, die Oberfläche der Zwangschienen höher wie die der übrigen Schienenstränge zu legen, um eine längere Berührungslinie zwischen ihnen und der Innenfläche der Räder zu erhalten.

Was endlich noch die Herstellung der Doppelkreuzungen betrifft, so werden sie entweder aus einzelnen Theilen zusammengeschraubt oder aber aus einem Stück gegossen, ähnlich wie dies bei den einfachen Kreuzungen schon besprochen worden ist. Im ersten Fall lässt sich die Ueberhöhung der Zwang-

Fig. 102.



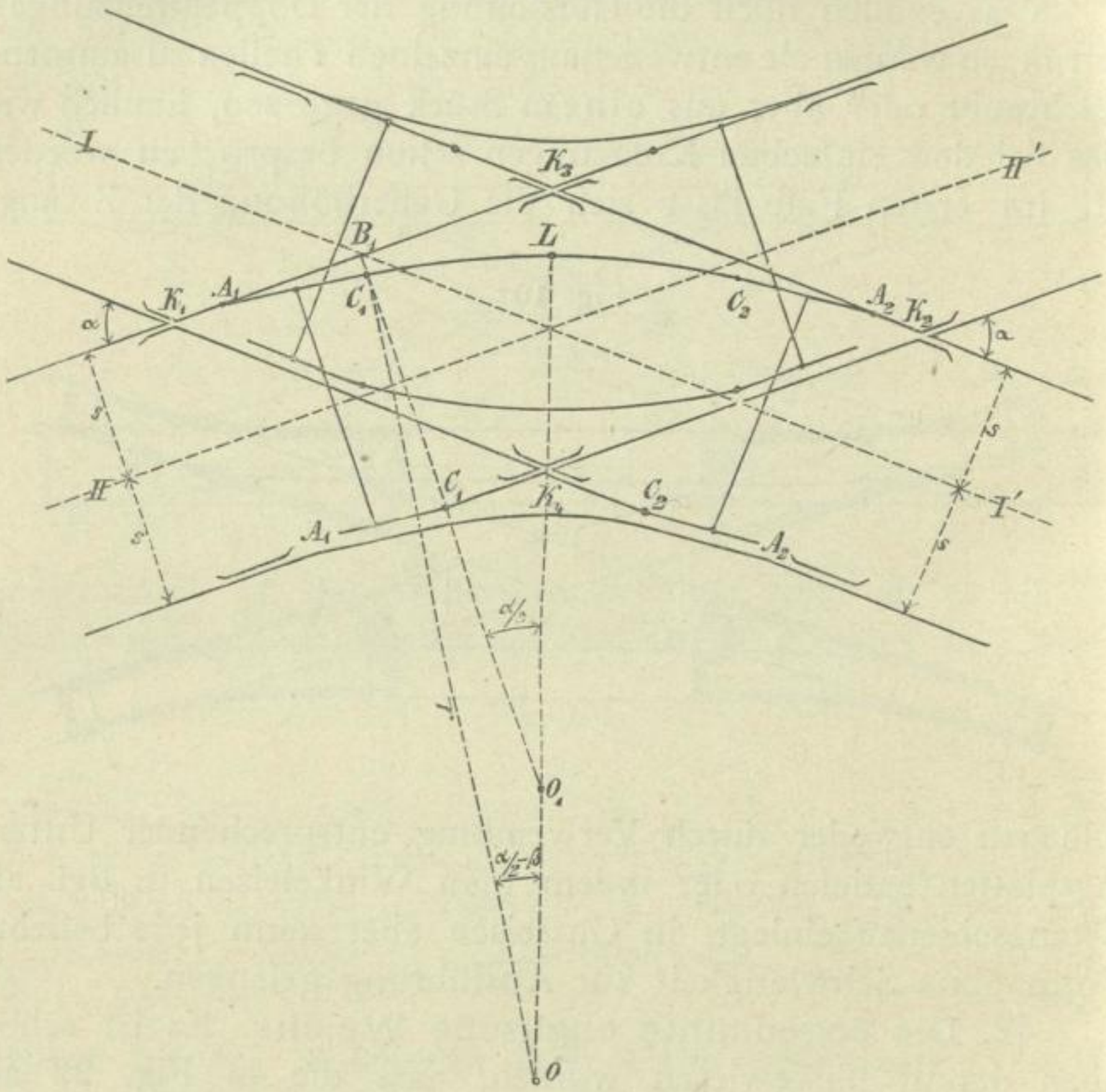
schienen entweder durch Verwendung entsprechender Unterlagsplatten erzielen oder indem man Winkeleisen u. dgl. als Zwangschienen einlegt, in Gusseisen aber kann jede beliebte Form ohne Schwierigkeit zur Ausführung gelangen.

42. **Die sogenannte englische Weiche.** Es ist schon oben darauf hingewiesen worden, dass die in Fig. 99 als gleichlaufend vorausgesetzten geraden Bahngleise auch einen Winkel von endlicher Grösse mit einander einschliessen können und dass sich dieser Fall nicht wesentlich von dem dort betrachteten unterscheide. Eine andere, bisher noch nicht in Betracht gezogene Verbindung zwischen zwei sich schneidenden geraden Bahnhofsgleisen zeigt Fig. 102. Auch hier sind wieder vier gewöhnliche Ausweichungen verwendet, von welchen je zwei durch ein Verbindungsstück zusammenhängen, das

gerade ausfällt, wenn der Winkel α_1 der beiden Gleise doppelt so gross ist wie der Kreuzungswinkel α, sonst aber wenigstens theilweise kreisbogenförmig.

Aus dieser etwas umständlichen Anlage ergiebt sich bei hinreichender Kleinheit des Ueberschneidungswinkels α_1 unter wesentlicher Vereinfachung die sogenannte „Englische Aus-

Fig. 103.



weichung," wenn man die vier Kreuzungen bei K_1, K_2, K_3 und K_4 ganz verschwinden lässt und je eine Zungenschiene der vier Wechsel innerhalb des, beiden Hauptgleisen gemeinschaftlichen Raumes legt.

Nach der hierzu gehörigen Fig. 103 durchschneiden sich die geraden Gleise I — I' und II — II' in den Punkten K_1, K_3, K_2, K_4, und es entstehen bei K_1 und K_2 einfache, bei K_3 und K_4 Doppelkreuzungen. Legt man zunächst in den

Gleisarm II einen Wechsel ein, so dass dessen Zungenspitzen in den Querschnitt $A_1 A_1$ und die Zungendrehpunkte nach C_1, C_1 zu liegen kommen, in gleicher Weise sodann einen anderen Wechsel $A_2 C_2$ in den Theil I' des anderen Hauptgleises und vereinigt man beide durch ein Verbindungsgleis, dessen äusserer Strang $C_1 L C_2$ mit dem Halbmesser $OC_1 = OC_2 = r$ beschrieben wird, so entsteht eine Verbindung der beiden Gleisschenkel II und I' blos vermittelst zweier gewöhnlichen Wechsel und eines zwischengelegten Weichenbogens, welche den Namen „Einfache englische Weiche" (halbe englische Weiche) trägt. Wird dann die gleiche Verbindung zwischen den Gleisstrecken I und II' ausgeführt, so kommt eine sogenannte „Doppelte (ganze) englische Weiche" zu Stande. Dieselbe gestattet, wie man aus der Figur deutlich ersieht, jedem, in einem der vier Gleisschenkel gegen die Ueberschneidungsstelle hin fahrenden Bahnzuge das Gleis zu wechseln, ohne dabei eine Rückwärtsbewegung ausführen zu müssen.

Im Anhang wird die, durch die beschriebene geometrische Anordnung der englischen Weichen bestimmte Gleichung entwickelt. Aus derselben kann der Halbmesser (r) des Weichenbogens für einen gegebenen Kreuzungswinkel (α) berechnet werden, oder umgekehrt jener Winkelwerth, für welchen ein bestimmter Halbmesser noch möglich ist. Es ist an sich klar und auch aus der Grundgleichung zu ersehen, dass der Halbmesser um so kleiner und folglich der Bogen um so weniger flach ausfällt, je grösser der Winkel α angenommen wird, und man kann leicht jenen Winkelwerth feststellen, für welchen die ganze Anlage im Hinblick auf einen kleinsten, noch zulässigen Werth des Halbmessers überhaupt noch möglich ist. Die bei englischen Weichen thatsächlich auftretenden Winkelwerthe, deren Tangenten etwa zwischen $^1/_7$ und $^1/_{12}$ liegen, sind jedenfalls so klein, dass nach den Ausführungen über spitzwinkelige Gleiskreuzungen in Nr. 41 die Führung der Räder durch eine gegenüberliegende Zwangschiene unmöglich ist. Es muss deshalb die Lücke in den Doppelkreuzungen K_3 und K_4, innerhalb welcher den Rädern die leitende Schienenkopfkante fehlt, möglichst kurz gemacht

werden, was hauptsächlich nur durch einen entsprechend grossen Winkel α erzielt werden kann.

Mit Rücksicht auf eine flache Krümmung des Weichenbogens soll also α klein, und zur Erzielung der nöthigen Betriebssicherheit beim Uebergang der Räder über die Doppelkreuzungen gross genommen werden; der richtige, beiden Bedingungen möglichst gut entsprechende Werth wird sich daher nur erfahrungsgemäs feststellen lassen. Allerdings bleibt auch bei Annahme eines thunlichst grossen Kreuzungswinkels immer noch eine Lücke übrig, gross genug, um unter Umständen gefährlich wirken zu können, so namentlich wenn die Fahrzeuge innerhalb der Ausweichung gebremst, oder plötzlich angehalten, oder aus der Ruhe in Bewegung gesetzt werden. Man hat deshalb für nöthig befunden, noch andere Mittel zur Erhöhung der Betriebssicherheit in Anwendung zu bringen. (V. Supplementband, S. 23 bis 25, VI. Supplementband, S. 136 bis 138.) Vor Allem giebt man der Spurkranzrinne das kleinste noch zulässige Mass von etwa 45 *mm* und stumpft die Kreuzungsspitzen (C_1 und C_2 in Fig. 101) nicht ab, sondern führt sie, wenn möglich, bis zum Durchschnittspunkt der Fahrkanten aus. Als ganz besonders wirksam hat sich die schon früher besprochene Ueberhöhung der Zwangschiene über Schienenoberkante erwiesen, wofür § 66 der T. V. ein Mass von 50 *mm* empfiehlt, und in vereinzelten Fällen, so namentlich auf der österreichischen Nordwestbahn nach der Angabe Hohenegger's, hat man auch in den Doppelkreuzungen bewegliche Zungenstücke angebracht, die vermittelst Hebeln durch die Radkränze selbstthätig eingestellt wurden, oder in Verbindung mit den Wechselzungen ihre Lage änderten. Die Erfahrungen damit scheinen nach verschiedenen Aeusserungen auf den Technikerversammlungen (V. Supplementband, S. 20) nicht günstig ausgefallen zu sein, jedenfalls haben sie keine weitere Verbreitung gefunden. Dagegen haben die anderen, oben angeführten Mittel sehr zufriedenstellende Ergebnisse geliefert, wie die grosse Zahl der jetzt auch in Hauptgleisen ausgeführten englischen Weichen beweist. Von besonderem Interesse in dieser Beziehung ist die Mittheilung des Deutschen Reichs-Eisenbahnamtes vom

31. August 1883 über die in Folge des Erlasses vom 8. November 1882 eingegangenen Berichte der Eisenbahnverwaltungen Deutschlands (excl. Bayerns) „über die Anzahl der vorhandenen Weichen, mit besonderer Berücksichtigung der englischen Weichen, in Bezug auf die Constructionsverhältnisse und die gemachten Erfahrungen beim Gebrauche derselben."

Demnach haben von 62 berichtenden Verwaltungen nur solche von 4 Haupt- und 16 Nebenbahnen englische Weichen nicht verwendet. „Sämmtliche Berichte stimmen auch jetzt wieder darin überein, dass gegen die Anwendung und gegen die Construction der englischen Weichen hinsichtlich der Betriebssicherheit Bedenken nicht zu erheben sind. Sie haben sich vielmehr durchgängig gut bewährt. Die darin vorgekommenen Entgleisungen stehen im Allgemeinen mit der Construction der Weichen nicht im Zusammenhange, dieselben wurden vielmehr zum grössten Theile durch mangelhafte Bedienung, Unaufmerksamkeit beim Rangiren, falsche oder unzeitige Wechselstellung, wie auch durch plötzliches und zu starkes Anziehen der Bremsen verursacht. In einigen wenigen Fällen, wo Entgleisungen auf die Construction der englischen Weichen zurückgeführt werden, trug der mangelhafte Anschluss der Weichenzungen die Schuld. Die Direction der Braunschweigischen Eisenbahngesellschaft misst die grosse Sicherheit beim Durchfahren der von ihr verlegten englischen Weichen dem Umstande bei, dass die Zungen der Curvenstränge sich in eine Vertiefung der Reibeisen einlegen und dadurch einen vollkommen festen Anschluss an die Hauptschiene erhalten, so dass ein Klaffen der Zungen unmöglich ist."

„In mehreren Fällen kamen Entgleisungen namentlich beim Zurücksetzen gebremster Wägen in Doppelherzstücken vor. In dem Berichte der Königl. Eisenbahndirection Köln (rechtsrheinische) wird zur Verhütung solcher Entgleisungen empfohlen, die Leitschienen der Doppelherzstücke (Hartguss) so zu construiren, dass sie ausgewechselt werden können, wenn man nicht vorzöge, die Herzstücke ganz aus Stahlschienen herzustellen. Bei derartigen Herzstücken sei ein Auflaufen der Radkränze auf die Spitze, beziehungsweise eine dadurch hervorgerufene Entgleisung noch nicht beobachtet worden, und könne diese günstige Wahrnehmung nur darauf zurückgeführt

werden, dass der Spurkranz in verticaler Lage niemals in der Spurrinne auflaufen oder anstossen kann."

„Die Anzahl der mit überhöhten Zwangschienen versehenen englischen Weichen hat sich gegen das Jahr 1881 um ungefähr 42 Procent vermehrt; auch scheinen Entgleisungen in solchen Weichen verhältnissmässig weniger vorgekommen zu sein, als in den übrigen. Im Berichte der Kais. Generaldirection der Eisenbahnen in Elsass-Lothringen wird erwähnt, dass an mehreren, in den Jahren 1873 und 1874 eingelegten englischen Weichen die Ueberhöhung der Zwangschiene erst später angebracht wurde, nachdem Entgleisungen in den Herzstücken dieser Weichen vorgekommen waren. Seitdem hätten derartige Unfälle aufgehört, wobei schon eine Ueberhöhung von 30 *mm* sich genügend wirksam gezeigt habe."

„Englische Weichen, welche in Hauptgleisen am Fusse starker Gefälle gelegener Bahnhöfe oder am Fusse ansteigender Ausziehgleise liegen, sind bei 21 Eisenbahnen verlegt. Auch über diese Weichen stimmen sämmtliche Berichte darin überein, dass dieselben sich gut bewährt und zu Ausstellungen irgend welcher Art eine Veranlassung nicht gegeben haben, obwohl fast alle von gebremsten Fahrzeugen, theilweise auch von ganzen Zügen im gebremsten Zustande befahren worden sind. Während die meisten Verwaltungen hervorheben, dass Entgleisungen in solchen Weichen nicht zu verzeichnen gewesen sind, erachtet nur die Königl. Eisenbahndirection Köln (linksrheinische) in Rücksicht darauf, dass in englischen Weichen überhaupt häufig Entgleisungen vorkommen, welche durch gebremste Fahrzeuge in den Mittelherzstücken derselben entstehen, es für angezeigt, von Anlage solcher Weichen wenigstens an denjenigen Stellen der von ganzen Zügen befahrenen Gleise abzusehen, bei welchen das Bremsen der Fahrzeuge nicht zu vermeiden ist. Die Königl. Eisenbahndirection glaubt gerade bei solchen Weichen die Anwendung überhöhter Zwangschienen für die Betriebssicherheit als vortheilhaft bezeichnen zu können."

Bedeutungsvoll sind die weiteren Mittheilungen, dass sich die Anzahl der verlegten englischen Weichen seit dem Jahre 1881 um 395 Stück oder um 9·67 Procent vermehrt habe, so dass jetzt 2214 einfache und 2266 doppelte englische

Weichen vorhanden sind, davon 1899 in Haupt- und 2581 in Nebengleisen, und dass jetzt 67·32 Procent aller vorhandenen englischen Weichen mit überhöhten Zwangschienen versehen sind.

Was den Kreuzungswinkel betrifft, so ist bei

106	Stück	oder	2·36	Procent	$tg\alpha = 1:7$	bis	1: 7·6
124	„	„	2·77	„	1:8	„	1: 8·5
1593	„	„	35·56	„	1:9	„	1: 9·8
2631	„	„	58·73	„	1:10	„	1:10·5
26	„	„	0·58	„	1:11		

Zieht man in dieser Hinsicht die seit 1881 neu hinzugekommenen Weichen besonders in Betracht, so ergiebt sich, „dass der grösste Zuwachs bei den Weichen im Neigungsverhältnisse 1 : 10 stattgefunden hat, während sich die mit 1 : 11 nicht vermehrt haben. Die Zunahme der englischen Weichen in den steileren Neigungsverhältnissen 1 : 7 bis 1 : 8 ist, wie im Zeitraum 1878—1881, eine sehr geringfügige gewesen". Wenn dann eine halbe englische Weiche gleich zwei, eine ganze gleich vier und eine dreitheilige Weiche gleich zwei einfachen Weichen gerechnet wird, so ergiebt sich die Anzahl der vorhandenen englischen Weichen zu 17·48 Procent aller vorhandenen Weichen.

Aus den statistischen Angaben über die, in Weichen überhaupt vorgekommenen Entgleisungen wird zuletzt der Schluss gezogen, dass die Betriebssicherheit in englischen und einfachen (gewöhnlichen!) Weichen als nahezu gleich angenommen werden kann.

Wiederholte Mittheilungen über diesen Gegenstand sind in einigen Jahren zu erwarten.

43. Verbindung gekrümmter Bahngleise mittelst Ausweichungen. Mehrere der im Vorausgehenden besprochenen Fälle von Verbindungen gerader Bahnhofsgleise unter einander können auch bei gekrümmten Gleisen vorkommen. Es kann sich darum handeln, aus einem solchen mit Hilfe einer Curvenweiche nach der einen oder anderen Seite abzuzweigen und dann in irgend eine gerade Richtung oder in ein anderes gekrümmtes Gleis einzumünden, das mit dem ersten aus demselben Mittelpunkte beschrieben sein oder un-

abhängig von demselben bestehen kann. Auch kommt es zuweilen vor, zwischen zwei gekrümmten, meist aus demselben Mittelpunkte beschriebenen Hauptgleisen ein Verbindungsgleis, welches wieder aus zwei gewöhnlichen Ausweichungen und einem dieselben vereinigenden Stücke besteht, anzulegen.

In allen diesen Fällen handelt es sich in erster Linie darum, die Abzweigungsstellen an den vorgegebenen Gleisen zu bestimmen, wie auch die Richtung, in welche die Schenkel des Kreuzungsblockes zu liegen kommen. Hierbei empfiehlt es sich ganz besonders, zuerst in einer Zeichnung die Möglichkeit bestimmter Annahmen zu versuchen und dann erst die Festlegung der Abzweigungsrichtungen durch Rechnung vorzunehmen. Ist dies geschehen, so stellt sich in den meisten Fällen die Aufgabe einfach dahin, zwei gegebene gerade Richtungen durch eine einfache oder eine Gegencurve, oder aber eine gegebene Gerade mit einem festliegenden Kreisbogen kreisförmig zu verbinden. Es fehlt hier der Raum, auf Fälle dieser Art näher einzugehen; es soll deshalb nur die Lösung der Hilfsaufgabe: Einen Kreis an einen anderen und eine Gerade berührend zu legen, im Anhange kurz angegeben werden, eine Aufgabe, welche auch bei den weiter noch zu besprechenden Arten der Gleisverbindung vielfach Anwendung findet.

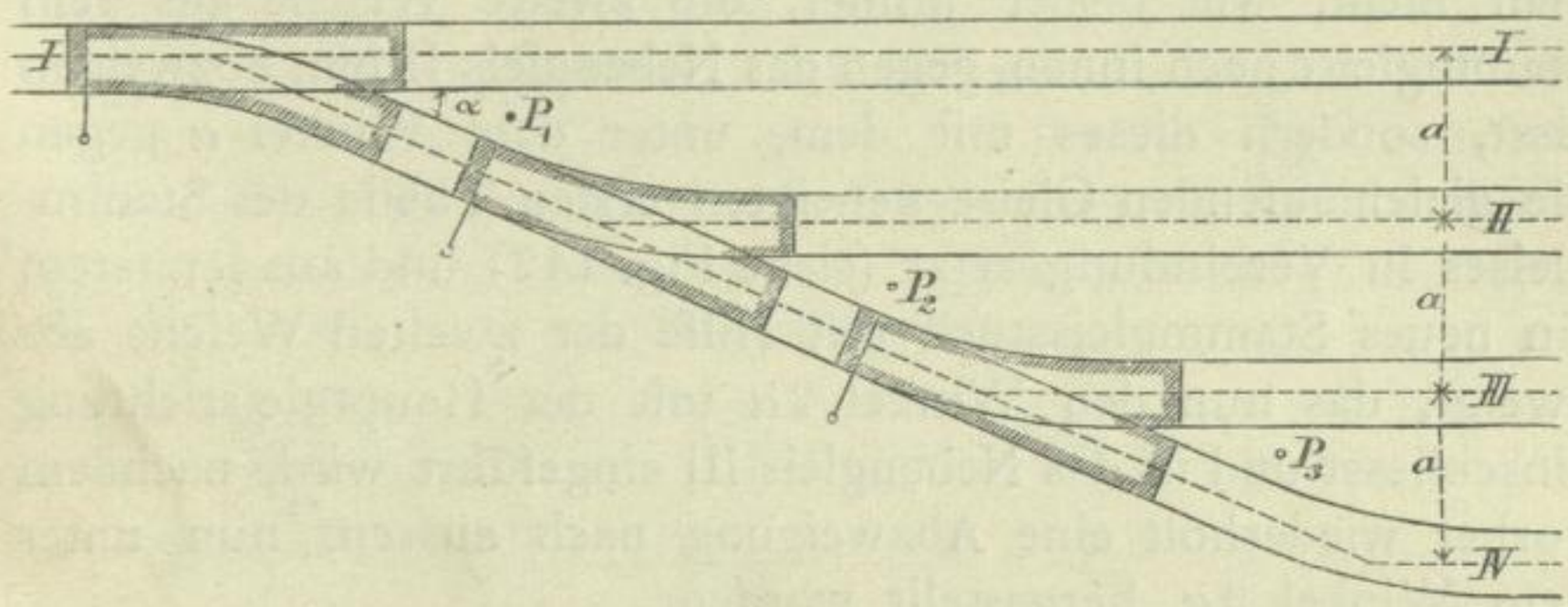
44. Stammgleis zwischen geraden Bahnhofsgleisen. Auf jedem Bahnhofe kommt die Aufgabe vor, mehrere gerade, gleichlaufende Gleise an ihren Enden unter einander so in Verbindung zu bringen, dass sie von ganzen Zügen nach Belieben befahren werden können, oder was dasselbe ist, aus einem bevorzugten, gewöhnlich gerade durchlaufenden Hauptgleis eine Anzahl gleichlaufender Nebengleise abzuzweigen. Dies kann in sehr einfacher Weise dadurch geschehen, dass man aus ersterem (Nr. I in Fig. 104) ein sogenanntes Stamm- oder Muttergleis mittelst einer gewöhnlichen Ausweichung unter dem Kreuzungswinkel quer über den Bahnhof abzweigt und in dieses als Hauptgleis die Nebengleise (II und III) wiederum mit gewöhnlichen Ausweichungen, das letzte Nebengleis (IV) einfach durch einen Bogen einführt. Ist durchaus der gleiche Kreuzungswinkel verwendet worden, so verlassen sämmtliche Nebengleise das Stammgleis in derselben Richtung,

gleichlaufend mit dem durchgehenden Hauptgleis und es kommen dann von gekrümmten Strecken nur die Weichenbögen und das Verbindungsstück zwischen dem Stamm- und dem äussersten Nebengleis vor.

Diese Anlage ist sehr einfach, hat aber den Nachtheil, dass die „nutzbare Länge" der Nebengleise allzurasch abnimmt. Man versteht hierunter jene Länge, welche von einem Wagenzug noch eingenommen werden kann, ohne dass der Verkehr auf den Nachbargleisen eine Störung erleidet, und sie wird durch § 67 der Technischen Vereinbarungen in folgender Weise bestimmt:

„Zwischen zusammenlaufenden Gleisen ist bei 3·5 *m* Entfernung von Mitte zu Mitte ein Markirzeichen anzubringen,

Fig. 104.



welches die Grenze bezeichnet, bis zu welcher in jedem Gleis Fahrzeuge vorgeschoben werden können, ohne das benachbarte zu sperren."

So würde in Fig. 104 die nutzbare Länge des Gleises I durch den Abstand des nach § 67 gesetzten Pfahles P_1 von einem gleichen, am anderen Ende des Bahnhofes vorhandenen Pflocke bestimmt, die des Gleises II durch zwei sich entsprechende Pflöcke P_2 u. s. f. Der Unterschied dieser Längen nun wäre bei der Kleinheit des Kreuzungswinkels ein sehr beträchtlicher. Man wird deshalb diesen immerhin misslichen Umstand auf irgend eine Weise zu verbessern suchen. Vor Allem wird man, wenn irgend thunlich, die Nebengleise auf beiden Seiten eines Hauptgleises anordnen, damit der Abstand dieses und je des äussersten Parallelgleises möglichst

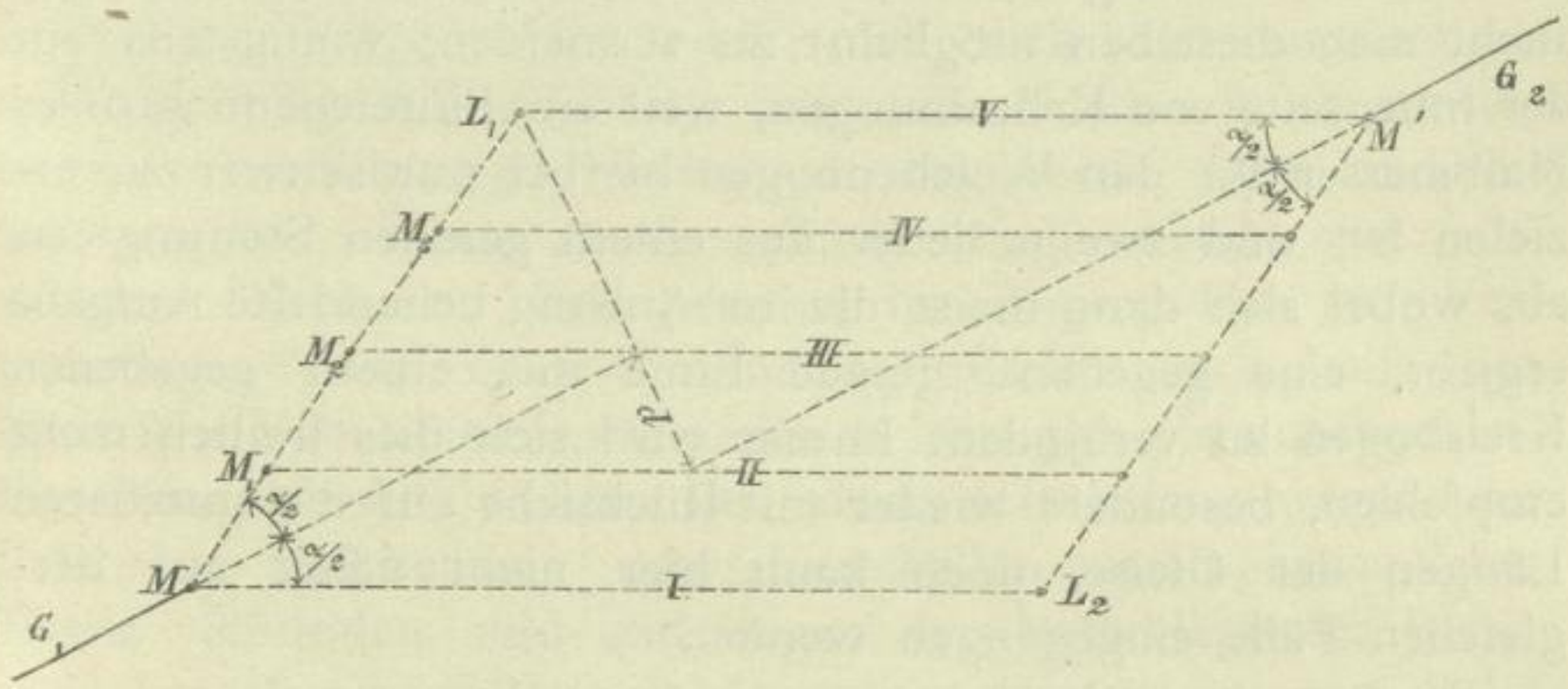
klein ausfällt. Ein anderes Mittel besteht darin, das Stammgleis nicht unter dem allzuspitzen Winkel α über den Bahnhof wegzuführen, sondern seine Neigung durch Einschaltung eines Kreisbogens vor jeder Abzweigung zu vergrössern. Im Anhange ist dieser Fall auf Grund der Fig. 141 eingehend besprochen. Diese Anordnung wird noch wirksamer, wenn man den Winkel γ (Fig. 141) vergrössert und eine Curvenweiche zum Anschluss an das Nebengleis II benützt, wobei der Halbmesser des eingeschalteten Bogens kaum grösser als bisher angenommen zu werden braucht, da bei Abzweigungen auf der äusseren Seite eines gekrümmten Gleises der Halbmesser des Weichenbogens immer verhältnissmässig gross ausfällt. Will man die Curvenweiche vermeiden, so lässt sich eine gleich wirksame Anordnung mittelst gewöhnlicher Ausweichungen treffen, indem man nicht, wie bisher immer, die zweite Weiche aus dem Stammgleise nach innen, gegen das Nebengleis II hin, abzweigen lässt, sondern dieses mit dem, unter dem Winkel α gegen die gleichlaufenden Gleise geneigten ersten Theile des Stammgleises in Verbindung setzt (siehe Fig. 142) und aus letzterem ein neues Stammgleisstück mit Hilfe der zweiten Weiche abzweigt, das nun den Winkel 2α mit der Hauptgleisrichtung einschliesst und in das Nebengleis III eingeführt wird, nachdem vorher wiederholt eine Abzweigung nach aussen, nun unter dem Winkel 3α, hergestellt worden.

Durch die bisher beschriebenen Verbindungsweisen werden die Unterschiede in den nutzbaren Längen der gleichlaufenden Bahnhofsgleise allerdings verringert, jedoch nicht aufgehoben. Dagegen lassen sich durchaus gleiche nutzbare Längen durch die in Fig. 105 versinnlichte Anordnung erzielen, in welcher der Einfachheit halber die Gleise nur durch ihre Achsen und die Weichen durch ihre Mittelpunkte zur Darstellung gebracht sind. Das Wesentliche bei der nun zu beschreibenden Anordnung liegt darin, dass die gleichlaufenden Gleise und damit di Bahnhofsachse unter einem Winkel $\alpha/_2$ gegen die, von der freien Bahn her einmündenden Schienengleise G_1 und G_2 verdreht und diese beiden zwar gleichlaufend, jedoch um die Strecke d gegen einander verschoben sind. Es wird nämlich das Gleis G_1 durch eine einfache symmetrische Weiche

mit dem Kreuzungswinkel α (siehe Fig. 95) in zwei Aeste gespalten, der eine als Bahnhofsgleis I aufgefasst, der andere als Stammgleis, aus welchem sich vermittelst gewöhnlicher Ausweichungen die anderen Bahnhofsgleise (II, III und IV) unter dem gleichen Kreuzungswinkel α entwickeln, während das Stammgleis schliesslich durch ein Bogenstück in das äusserste Ausweichgleis (hier V) übergeführt wird. Indem genau dieselbe Entwickelung vom Streckengleis G_2 aus vorgenommen wird, entsteht ein Spurplan in Form eines Parallelogramms $M\ L_1\ M'\ L_2$, dessen Seiten die Längen

$$M\,L_2 = L_1\,M' = n + 2.\ \frac{3{\cdot}5}{2}\ cotg\ \alpha/_2 \text{ und}$$

Fig. 105.



$$M\,L_1 = L_2\,M' = \frac{(\nu - 1)\,a}{sin\ \alpha}$$

besitzen, wenn nämlich n die nutzbare Länge, 3·5 die im § 67 der Technischen Vereinbarungen bestimmte Entfernung der, diese nutzbare Länge eingrenzenden Markirpflöcke von den Gleisachsen, und ν die Anzahl der gleichlaufenden Bahnhofsgleise (in Fig. 105 wäre $\nu = 5$) bedeutet.

Für die Verschiebung d der Streckengleise endlich ergiebt sich unmittelbar aus der Figur

$$d = (L_1\,M' - M\,L_1)\ sin\ \alpha/_2$$

und damit ist die ganze Anlage soweit festgelegt, dass alle weiteren Rechnungen ohne Schwierigkeit durchgeführt werden könnten.

45. Stammgleis zwischen gekrümmten Bahnhofsgleisen. Es erübrigt jetzt noch darauf hinzuweisen, dass es nicht immer möglich ist, die Achse der Bahnhöfe durchaus gerade zu gestalten, sondern dass dieselbe zuweilen an einem, manchmal auch an beiden Enden gekrümmt werden muss, so dass es sich dann nicht mehr um die Anlage von Stammgleisen zwischen geraden, gleichlaufenden, sondern zwischen gekrümmten, aus demselben Mittelpunkte beschriebenen Bahnhofsgleisen handelt. Im Ganzen bleibt zwar auch in diesen Fällen die Anlage ziemlich übereinstimmend mit der früheren, nur werden, abgesehen von dem schwierigeren Anschlusse der Verbindungsgleise an die gekrümmten Bahnhofsgleise, verschiedene Curvenweichen auftreten, jedenfalls bei der erstmaligen Abzweigung aus dem kreisförmig einmündenden Streckengleise. Im Uebrigen sucht man dieselben möglichst zu vermeiden, wenigstens auf der Innenseite von Krümmungen, weil ein hinreichend grosser Halbmesser für den Weichenbogen hierbei nur schwer zu erzielen ist, und zweigt lieber aus einem geraden Stammgleise ab, wobei sich dann meist die im Anhang behandelte Aufgabe ergiebt, eine gegebene gerade Linie mit einem gegebenen Kreisbogen zu verbinden. Immer wird sich dies freilich nicht empfehlen, besonders wieder mit Rücksicht auf die nutzbaren Längen der Gleise, doch kann hier nicht näher auf dergleichen Fälle eingegangen werden.

IV. Drehscheiben.

46. Allgemeines über Drehscheiben, Construction derselben. Drehscheiben dienen bekanntlich zum Uebersetzen einzelner Fahrzeuge, höchstens einer Locomotive sammt ihrem Tender, von einem Gleise zum anderen und sind gegenwärtig zugleich die einzigen Hilfsmittel zum Wenden der Fahrzeuge im selben Gleis. Im Grunde genommen stellen sie Gleisstücke vor, welche um eine lothrechte Achse gedreht und abwechselnd in die mit einander zu verbindenden Gleise eingeschaltet werden. Sie zeichnen sich, wie schon aus dieser kurzen Beschreibung hervorgeht, sehr vortheilhaft aus, indem sie wenig Platz in Anspruch nehmen und grosse Leistungen in kurzer Zeit mit verhältnissmässig wenig Bedienung auszuführen ge-

statten. Um so auffallender muss es sein, dass sie auf den deutschen Bahnen weniger Verbreitung gefunden haben, keinesfalls in dem Masse wie in England und Frankreich. Der Grund davon ist nicht allein, ja nicht einmal vorzugsweise, in geringeren Verkehrsanforderungen zu suchen, sondern vielmehr in der Vielgestaltigkeit der auf den deutschen Bahnen laufenden Fahrzeuge, welche zum Theil sehr grosse Längenabmessungen besitzen und dem entsprechend auch grosse und schwere Drehscheiben beanspruchen, dann auch besonders in dem strengen deutschen Winter, durch welchen mancherlei missliche Zustände an den Scheiben hervorgerufen werden. Die im Fahrmateriale gelegenen Hindernisse sind im Laufe der Zeit etwas zurückgetreten, wenn freilich nach §. 137 der Technischen Vereinbarungen immer noch sehr bedeutende Radstände vorkommen können; und auch den ungünstigen Einflüssen des Klimas lernte man allmählich durch zweckmässige Ausführungen besser zu begegnen. Dies und die Schwierigkeit, einen starken Güterverkehr ohne eine ausreichende Zahl von Scheiben zu bewältigen, hat zur Vermehrung dieses Gleis-Verbindungsmittels auch auf den deutschen Bahnhöfen entschieden beigetragen. In durchgehenden Hauptgleisen werden sie jedoch vermieden, wegen der Gefahren, welche mit dem Einschalten solch beweglicher Theile verbunden sind und wegen der Aufschläge der Räder und der damit zusammenhängenden Abnützung von Bahn und Fuhrwerk.

Die Grösse der Drehscheiben hängt von ihrer besonderen Bestimmung ab; die für zweiachsige Güterwägen bestimmten Scheiben müssen bei den Betriebsverhältnissen im Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen einen Durchmesser von etwa 4·5 *m* erhalten, zweiachsige Personenwägen erfordern einen Durchmesser von ungefähr 5·0 *m*, und sechs- oder achträderige Wägen einen solchen von 7·5 bis 8·0 *m*. Letztere können auch für Locomotiven ohne Tender benützt werden, wenn sie anders hinreichend starke Abmessungen besitzen; doch sind öfters noch grössere Scheiben erwünscht, um Locomotiven sammt Tender auf einmal umsetzen zu können. § 68 der Technischen Vereinbarungen mit dem Wortlaut: „Auf

Locomotivstationen ist eine Drehscheibe nothwendig. Für dieselbe wird ein Durchmesser von wenigstens 12 *m* empfohlen. Nur bei ausschliesslicher Verwendung von Tenderlocomotiven ist eine Drehscheibe entbehrlich." — ist hierbei massgebend.

Während man früher öfters Holz zur Herstellung von Drehscheiben verwendete, geschieht dies jetzt nicht mehr, wenigstens nicht bei solchen, welche unter freiem Himmel auszuhalten haben. Kleinere Scheiben für vierräderige Wägen werden jetzt gewöhnlich aus Gusseisen hergestellt, auch aus Walzeisen in Form von Eisenbahnschienen oder gewalzten Trägern anderen Querschnittes, oder aber mit Benützung genieteter Blechbalken, welche sich alle widerstandsfähiger gegen Erschütterungen erweisen als gusseiserne Theile. Letzterer Umstand gewinnt noch mehr Bedeutung bei den grossen, für Locomotiven bestimmten Drehscheiben, welche beträchtlichen Stössen ausgesetzt sind, so dass man sich veranlasst gesehen hat, den folgenden § 69 der Technischen Vereinbarungen aufzustellen: „Die Hauptträger der Drehscheiben für Locomotiven sollen von Schweisseisen, Flusseisen oder Stahl construirt werden."

Bei den kleineren, namentlich gusseisernen Scheiben werden in der Regel zwei sich rechtwinkelig kreuzende Gleisstücke angeordnet und es entsteht dann beim Abdecken des Rippenwerks mit Bohlen, Gussplatten, geriffeltem Eisenblech u. dgl. eine wirkliche Scheibe. Die grossen Drehscheiben dagegen verdienen diesen Namen eigentlich nicht, insoferne sie gewöhnlich Drehbrücken in aller Form darstellen. Man begnügt sich nämlich bei ihnen in der Regel mit einem Gleisstück, dessen Schienenstränge auf zwei Hauptträgern ruhen, zwischen welchen Querverspannungen und Horizontalverbände angebracht sind. Zuweilen allerdings werden auch sie zur Erzielung einer Abdeckung des ganzen von ihnen beanspruchten Raumes zu wirklichen Scheiben ausgebildet, indem man mehrere untergeordnete Träger an den Seiten der Hauptträger befestigt und darauf die Abdeckungstheile verlegt; Regel jedoch ist, nur zu beiden Seiten des Gleises je einen Fussweg für die Bedienungsmannschaft auszuführen. Die Schienenstränge sind bei den gusseisernen Scheiben gewöhnlich angegossen, sonst aber werden sie aus wirklichen stählernen Fahrschienen gebildet,

welche man an den Kreuzungsstellen zu Herzstückspitzen zusammenarbeitet oder mit besonderen, an diesen Stellen eingeschalteten, gegossenen Kreuzungsblöcken vereinigt.

Andere Unterscheidungsmerkmale für die Drehscheiben liegen in der Art ihrer Unterstützung. Bei kleinen Scheiben erfolgt dieselbe in der Regel ausschliesslich am Rand, während im Mittelpunkte nur eine Führung gewährt wird. Da hierbei die Reibungswiderstände mit einem grossen Hebelarm zur Thätigkeit gelangen und in Folge dessen die Beweglichkeit der Scheibe leidet, so wird öfters schon bei kleineren, jedenfalls aber bei grösseren Scheiben, die Belastung nicht ausschliesslich auf den Rand, sondern theilweise auch auf einen im Mittelpunkt angebrachten Drehzapfen übertragen. Das Theilverhältniss kann dabei verschieden gewählt und durch besondere Vorkehrungen nach Bedürfniss verändert werden, jedenfalls wächst die Beweglichkeit der Scheibe mit der Grösse des auf ihre Mitte verlegten Theiles der Belastung. Man wird deshalb diesen Theil im Allgemeinen um so grösser wählen, je grösser der Scheibendurchmesser ist und so naturgemäss dazu kommen, bei grossen Drehscheiben eine Anordnung zu treffen, bei welcher die ganze Last von dem Mittelzapfen oder einer besonderen Centralsäule getragen wird (Krahnensäule). Das Moment des Bewegungswiderstandes am Scheibenrande, bezogen auf die Scheibenmitte als Drehpunkt, wächst nämlich nicht nur mit dem Hebelarme desselben, sondern auch mit dem Werthe dieses Widerstandes selbst. Derselbe hängt ab, ausser von der Grösse der Belastung, gleichzeitig von der Ebenheit des Weges, auf welchem die zur Stützung des Scheibenrandes dienenden Rollen sich bewegen. Je grösser nun die Scheibe ist, desto schwieriger wird es, die nothwendige Ebenheit der Bahn zu erhalten, und zwar aus mehreren Gründen. Vor Allem macht sich die Verschiedenheit der Massen einerseits des unter dem Laufkranz der Rollen auszuführenden ringförmigen Mauerfundamentes, andererseits des, unabhängig von diesem bestehenden Zapfenfundamentes in der Mitte durch ungleichmässiges Setzen unangenehm fühlbar, auch erleidet das erstere bei starkem Frostwetter leicht Formänderungen, welche zur Vergrösserung der Widerstände bei-

tragen können und endlich verringern kleine Erhöhungen auf dem Laufkranz der Rollen, durch abgetropftes und wieder gefrorenes Schneewasser gebildet, die Beweglichkeit grosser Scheiben sehr merklich.

Am Rande der Scheiben sind, auch bei Verlegung der Gesammtbelastung auf die Mitte, gewöhnlich Rollen oder Laufräder angeordnet, welche beim Auffahren der Locomotiven Stützpunkte für die Scheibe abgeben, oder welche bei nicht ganz richtiger Stellung des Fahrzeuges über der Scheibe das Gewicht desselben zum Theile übernehmen. Da nun gerade bei dieser Einrichtung der Eintritt schwerer Fahrzeuge auf die Scheibe mit gefährlichen Stössen verbunden ist, so kommt endlich zur Vermeidung derselben zuweilen noch eine besondere Anordnung in Gebrauch, wobei die Scheibe im Ruhezustande fest mit dem Rande aufliegt, nach dem Aufbringen des Fahrzeuges aber mittelst Hebel- oder hydraulischen Vorrichtungen auf eine Mittelsäule gebracht wird, so dass sie während der Bewegung thatsächlich nur eine Unterstützung in der Mitte erfährt.

Bezüglich der zur Stützung des Scheibenrandes dienenden Rollen oder Laufräder sind wiederum mehrere Fälle zu unterscheiden. Bei kleineren Constructionen sind die Lager für die Rollenachsen manchmal an dem ringförmigen Fundamente angebracht und die Scheibe gleitet über die an Ort und Stelle sich drehenden Rollen hin, öfters jedoch sitzen die, genau gegen den Scheibenmittelpunkt gerichteten Achsen an der Scheibe selbst und die Räder rollen, indem sie an der Bewegung jener theilnehmen, auf einem über dem ringförmigen Fundamente gelagerten Laufkreise. In anderen Fällen wieder findet weder das Eine noch das Andere statt, indem sich zwar die Rollen ebenfalls auf einem unteren Laufkreise bewegen, ihre Achsen aber nicht mit der Scheibe verbunden sind, sondern gegen den Mittelpunkt gerichtet, an einem besonderen Gestelle sitzen, welches das Lager des Mittelzapfens ringförmig umschliesst und sich um diesen dreht, während die Scheibe über die Rollen gleitet. Das Zweckmässige dieser Anordnung ist darin zu suchen, dass die Last der Scheibe nicht auf die Achsen, sondern die Umfänge der Rollen über-

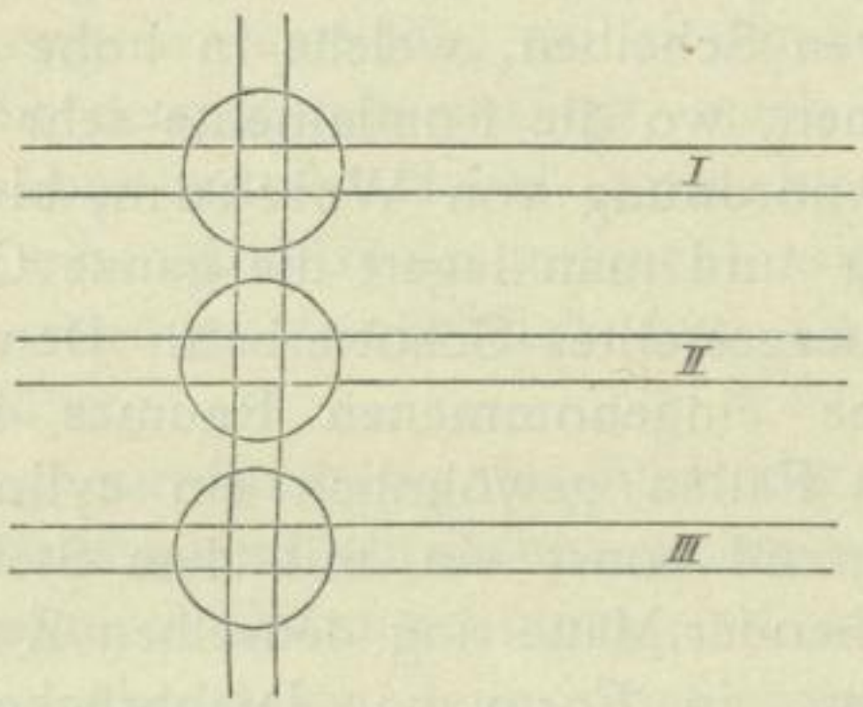
tragen und deshalb gleitende Reibung möglichst vermieden wird. Eine besondere Unterstützungsart der Drehscheiben, anstatt durch Rollen, mittelst einer grösseren Anzahl gussstählerner Kugeln zeigt die von Weickum angegebene Construction, welche zuerst auf der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 bekannt wurde und seitdem auf verschiedenen Bahnen Eingang gefunden hat.

Es ist schon oben ausdrücklich betont worden, dass für eine Drehscheibe in der Regel zwei gemauerte Fundamente nothwendig werden, ein ringförmiges unter dem Scheibenumfange zur Unterstützung des Laufkreises, beziehungsweise des kreisförmigen Schienenstranges der Laufrollen, und ein zweites in der Scheibenmitte zur Gründung der Centralachse. Nur bei kleineren Scheiben, welche in hohe Aufschüttungen zu liegen kommen, wo die Fundamente sehr theuer würden, sowie bei der Anordnung von Weickum, bleiben die Steinfundamente weg und man lagert die ganze Construction auf ein sorgfältig hergestelltes Schotterbett. Den Abschluss des von der Scheibe eingenommenen Raumes nach der Seite bildet in diesen Fällen gewöhnlich ein cylindrischer Mantel aus Eisen, während sonst ein, mit dem Steinfundamente in Verbindung stehender Mauerring denselben Zweck zu erfüllen hat. Bei grossen, in Form von Drehbrücken ausgeführten Scheiben, ohne Abdeckung des von ihnen in Anspruch genommenen Raumes lässt sich die für das Betriebspersonal gefährliche offene Grube mit Mauereinfassung zuweilen dadurch vermeiden, dass man letztere in der Hauptsache weglässt, die Grubensohle mit flacher Neigung nach auswärts bis zur Oberfläche des Bahnhofes ansteigen lässt und kurze Mauerstücke nur unter den zur Scheibe geführten Schienensträngen anbringt. In allen Fällen ist für eine gründliche Entwässerung der Grubensohle zu sorgen, indem man dieselbe pflastert und das an einem tiefsten Punkte sich sammelnde Wasser regelrecht den Entwässerungscanälen des Bahnhofes auf kürzestem Wege zuführt.

Schliesslich wäre nur noch zu erwähnen, dass das Drehen der Scheiben meist von Arbeitern besorgt wird entweder mittelst Hebeln, welche am Rande derselben eingesteckt

werden oder mit Benützung einer auf der Scheibe selbst angebrachten Windevorrichtung, welche in verschiedener Weise auf die Laufrollen einwirken kann, in selteneren Fällen durch elementare Kräfte, namentlich Dampfkraft; und dass zur Feststellung der Scheibe auf ein bestimmtes Gleis mancherlei Vorkehrungen dienen, z. B. sogenannte Klinkhaken, welche sich um wagrechte, auf der Scheibe sitzende Achsen drehen und in Kerben des feststehenden Randes einfallen, oder Riegel, welche von der Scheibe aus in entsprechende Löcher der Umfassungswand eingeschoben werden, oder eine von Weickum angegebene besondere Schienenstossverbindung.

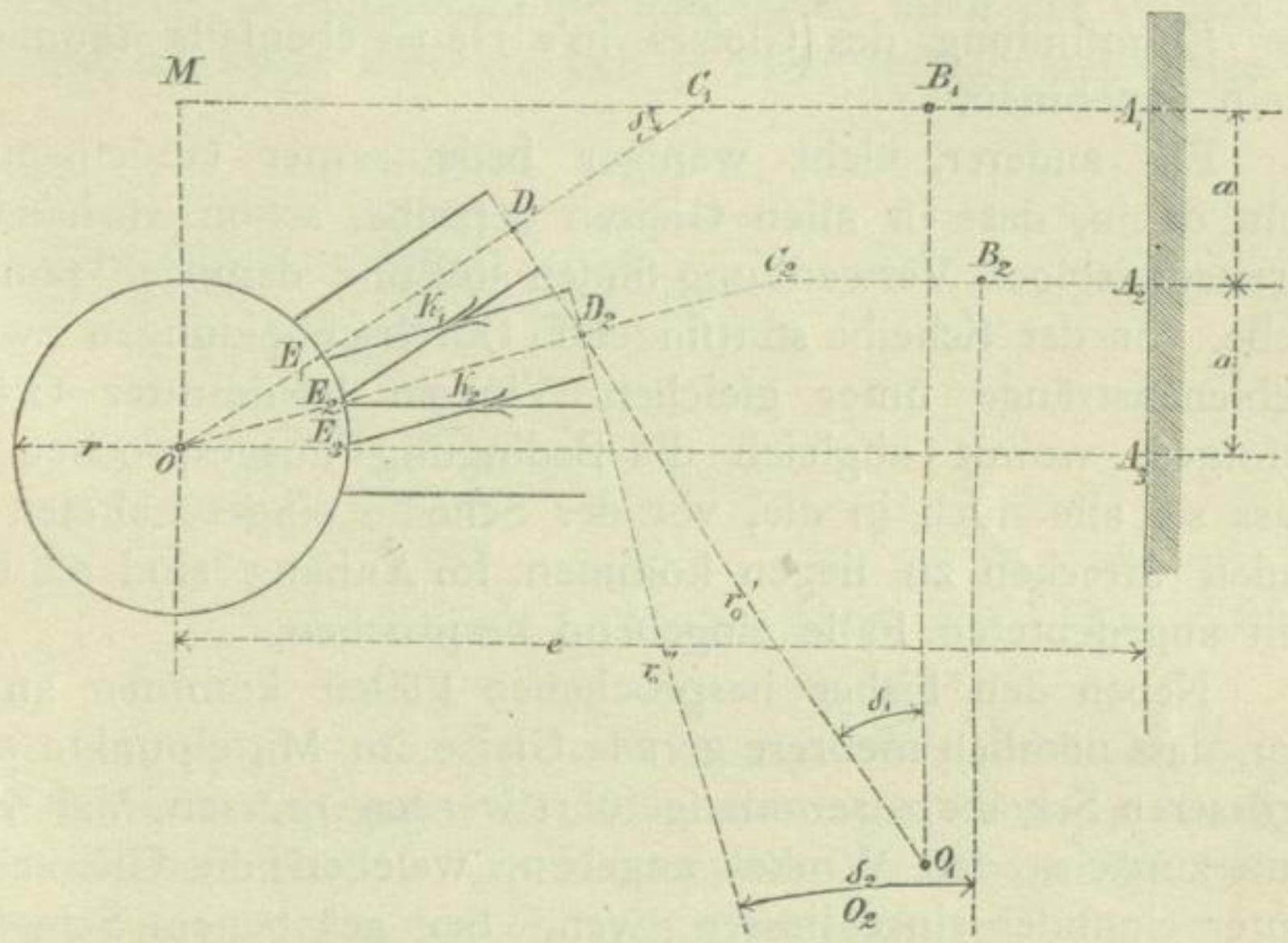
Fig. 106.



47. Anwendung der Drehscheiben zur Verbindung von Eisenbahngleisen. Am einfachsten gestaltet sich die Verbindung bei gleichlaufenden Bahnhofsgleisen; man braucht nur, wie in Fig. 106 angedeutet, quer über dieselben ein „Drehscheibengleis" und in jede Kreuzungsstelle eine Scheibe zu legen. Ein Wagen, welcher z. B. aus dem Gleise I nach II übergehen soll, wird auf die in I liegende Scheibe gebracht, von da, nachdem dieselbe um 90° gedreht wurde, im Drehscheibengleis bis auf die zweite Scheibe und schliesslich, nach vorausgegangener Vierteldrehung auch dieser, hinunter in's Gleis II. Um das Drehscheibengleis möglichst kurz zu erhalten, wird man seine Richtung wo möglich senkrecht zu den gleichlaufenden Gleisen annehmen, und nur wenn der Gleisabstand zu klein im Verhältnisse zum Scheibendurchmesser wäre, schief zu denselben oder zickzackförmig.

Anstatt, wie hier angenommen wurde, in jedes der zu verbindenden Gleise eine Scheibe zu legen und diese alle durch ein neues Gleis unter einander in Verbindung zu setzen, kann es sich empfehlen, sämmtliche gleichlaufende Gleise auf einer einzigen Drehscheibe zusammenzuführen, deren Mittelpunkt in der Achse eines derselben angenommen wird. In Fig. 107 ist diese, bei Wagenschuppen öfters ausgeführte Anordnung dargestellt. Man ersieht daraus, dass es sich wiederholt um die Aufgabe handelt, ein gerades Gleis

Fig. 107.



nach einer Drehscheibe zu führen, deren Mittelpunkt zur Seite desselben in einem bestimmten Abstand (hier $2a$ und a) von seiner ursprünglichen geraden Richtung gelegen ist. Die Ueberführung geschieht natürlich jedesmal mit Hilfe eines Kreisbogens von bestimmtem Halbmesser (hier r_0' und r_0''), welcher in solchen Fällen ziemlich klein, etwa noch 130 m, angenommen werden darf, weil die Fahrzeuge in den Drehscheibengleisen nur langsam bewegt zu werden pflegen. Ausserdem ist zu bemerken, dass diese Bögen nicht unmittelbar an die Scheibe angeschlossen werden sollen, sondern vor der Scheibe noch ein gerades Stück (k) von ungefähr 4 m

Länge eingeschaltet werden muss, damit die Räder der Fuhrwerke in fest bestimmter Richtung möglichst sicher auf die Scheibe übergehen.

In den meisten Fällen handelt es sich wohl darum, die Scheibe so nahe wie thunlich an's Gebäude zu rücken, damit die ganze Anlage wenig Platz in Anspruch nimmt und die Fahrzeuge recht kurze Wege vom Schuppen zur Scheibe zurückzulegen haben. Man wird also für den äussersten Anschlussbogen ($B_1 D_1$) den kleinsten noch zulässigen Halbmesser wählen und auch das gerade Stück ($E_1 D_1$) vor der Scheibe und das etwa für nöthig erachtete Stück $A_1 B_1$ vor der Einmündung des Gleises in's Haus ebenfalls thunlichst klein annehmen.

Ein anderer, nicht weniger bedeutsamer Gesichtspunkt geht dahin, dass in allen Gleisen derselbe, schon vorhandene Kreuzungsblock Verwendung finden soll und demnach sämmtliche, vor der Scheibe stattfindende Durchschneidungen zweier Schienenstränge unter gleichen Winkeln bestimmter Grösse erfolgen, womit zugleich die Bedingung ausgesprochen ist, dass sie alle noch in die, vor der Scheibe eingeschalteten geraden Strecken zu liegen kommen. Im Anhang sind die hiermit angedeuteten Fälle eingehend besprochen.

Neben den bisher besprochenen Fällen kommen andere vor, dass nämlich mehrere gerade Gleise im Mittelpunkte einer grösseren Scheibe zusammengeführt werden müssen. Man kann nun zunächst den Winkel angeben, welchen die Gleisachsen unter einander einschliessen, wenn bei gegebenem Scheibendurchmesser Durchschneidungen der Schienenstränge nicht mehr vorkommen, sodann die Anzahl der Gleise, welche unter dieser Bedingung noch Platz auf einer bestimmten Drehscheibe finden.

In Fig. 108 ist eine Scheibe vom Halbmesser r gezeichnet und zwei Gleise mit der Spurweite $2s$, deren benachbarte Stränge sich mit ihren Köpfen von der Breite b am Scheibenrande berühren, wobei also eine Ueberkreuzung derselben eben nicht mehr eintritt. Für diese Grenzlage berechnet sich der Winkel φ, den die beiden Gleisachsen mit einander einschliessen, zu

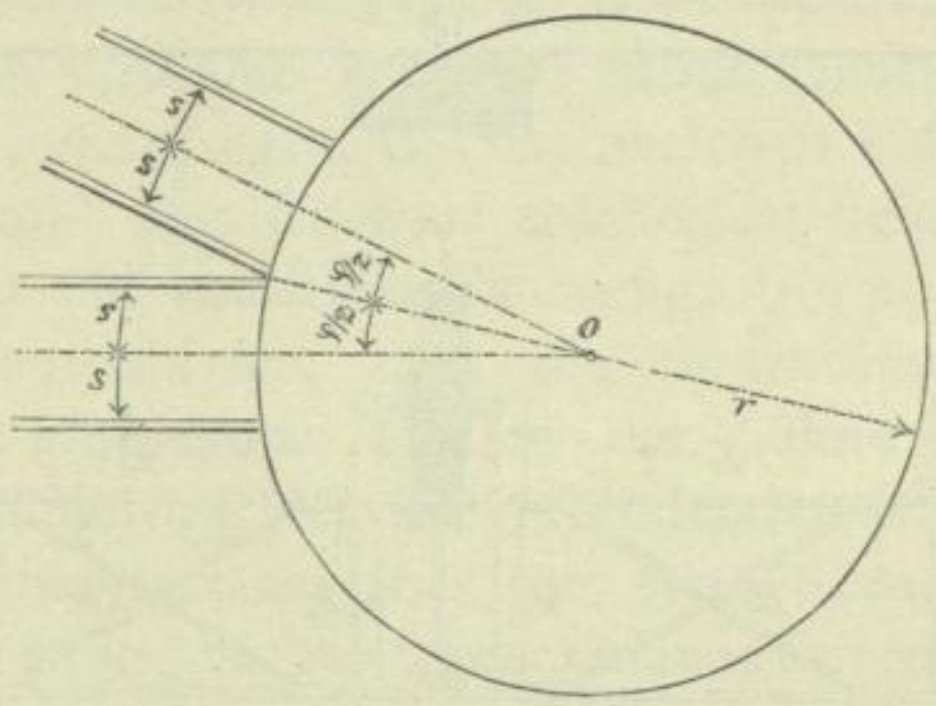
$$\sin \varphi/_2 = \frac{s+b}{r}$$

und die Anzahl der unter solchen Umständen von der Scheibe aufzunehmenden Gleise zu

$$\nu = \frac{2r\pi}{2(s+b)} = \frac{r\pi}{s+b}$$

Sobald der Winkel zweier Gleise spitzer ist, als durch diese Gleichung bestimmt wird, ergeben sich Kreuzungsstellen. Letzterer Fall liegt gewöhnlich bei der Ausführung kreisbogenförmiger oder polygonaler Locomotivenschuppen vor, bei welchen die Anzahl der Maschinenstände und damit auch der Winkel bestimmt ist, unter welchem sich je zwei benachbarte Gleise auf

Fig. 108.



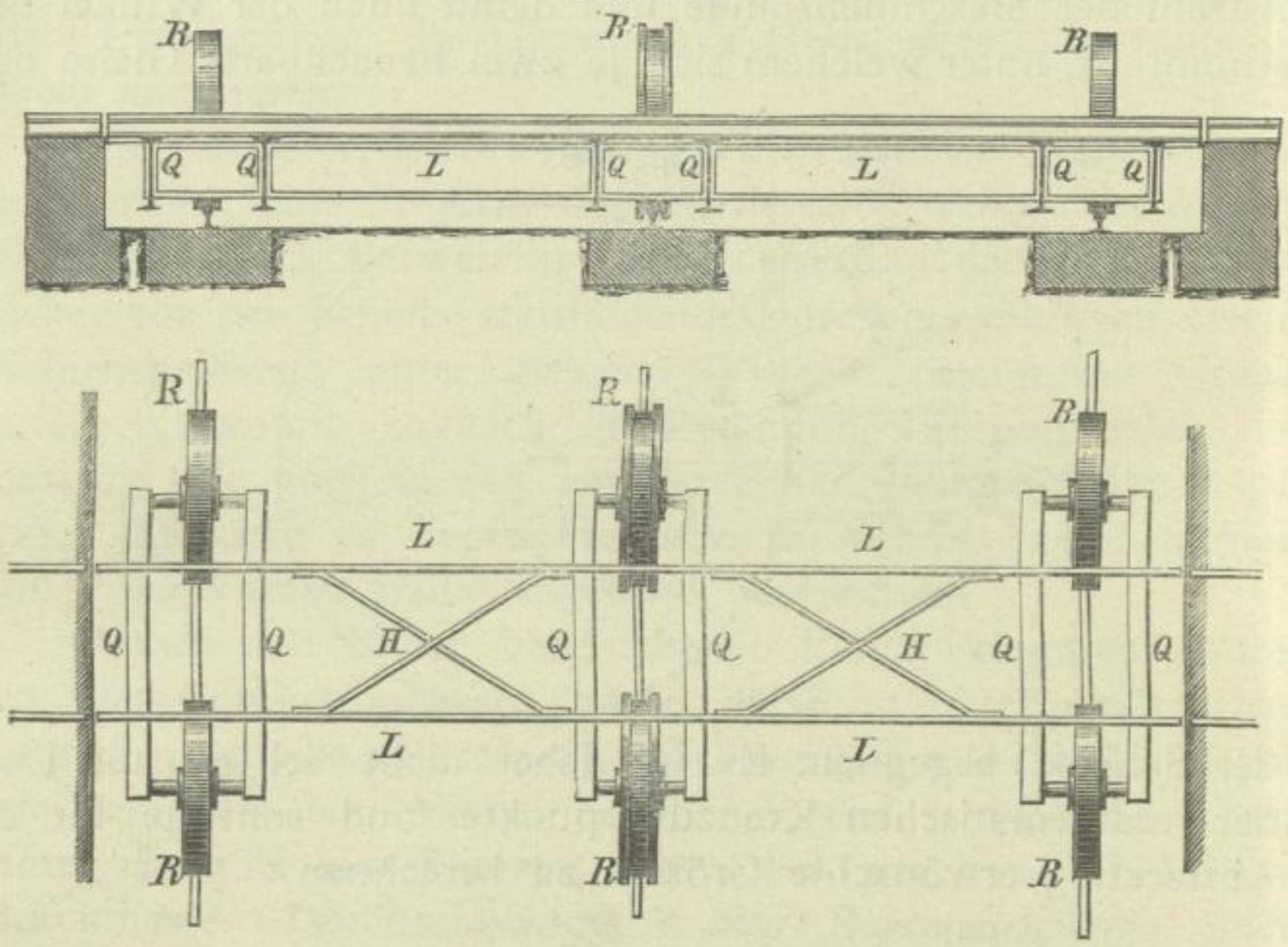
der Scheibe begegnen. Es ist dabei nicht schwer, die Lage der mathematischen Kreuzungspunkte und sonstige für die Absteckung erwünschte Grössen zu berechnen.

V. Schiebebühnen.

48. **Allgemeines über Schiebebühnen, Construction derselben.** Als drittes Mittel zum Uebersetzen einzelner Fahrzeuge von einem Gleise auf ein anderes wurden früher die Schiebebühnen (Gleiskarren) genannt. Es sind dies kurze Gleisstücke, ungefähr von der Länge eines Fahrzeuges, welche auf Rollen gesetzt sind, senkrecht zur Richtung der unter einander zu verbindenden geraden Bahnhofsgleise verschoben und in jedes derselben nach Belieben eingeschaltet werden können. Der einfache Vorgang bei ihrer Benützung gestaltet sich dem-

nach in folgender Weise: Einstellung der Bühne in jenes Gleis, auf welchem das zu versetzende Fahrzeug sich befindet, Aufbringen desselben auf die Bühne, Verschiebung dieser bis zu demjenigen anderen Gleis, auf welches das Fahrzeug übergehen soll, Abschieben des letzteren von der Bühne. Wegen der Einfachheit ihrer Verwendung empfehlen sich Schiebebühnen besonders zur Verbindung von Werkstätten- und Remisengleisen, dann aber auch zum Rangirdienst auf Bahnhöfen. Im ersten Falle kommen häufig sogenannte Schiebebühnen

Fig. 109.



mit Grube (Bühnen mit versenktem Gleis) zur Benützung, im letzteren Falle ausschliesslich Schiebebühnen ohne Grube.

Am einfachsten gestaltet sich die Anordnung, wenn man die zu verbindenden Gleise nach Fig. 109 quer über durch eine Grube unterbricht, auf deren Sohle die Gleisstränge für die Bühnenrollen liegen und deren Tiefe so bemessen wird, dass sämmtliche, unter den beweglichen Schienensträngen liegende Theile der Bühne Platz finden. Der Körper derselben baut sich dann aus den Längsträgern *L L* auf, welche unter

den Schienensträngen angeordnet sind, den Querträgern *Q Q* zur Unterstützung jener, welche zugleich die Achsen der Laufrollen *R R* tragen, endlich aus dem Horizontalverband *H H*, durch welchen unverschiebliche Dreiecksfiguren gebildet werden sollen. Dem Vorzuge einfacher Anordnung dieser Art von Schiebebühnen steht nun aber der grosse Nachtheil gegenüber, dass sämmtliche Gleise durch die Grube unterbrochen werden. Es ist dies schon bei Nebengleisen misslich, weil die jedenfalls offen zu haltende Grube Abstürze von Personen verursachen kann, weil sie im Winter zugeschneit wird und vielfach Räumungsarbeiten verlangt und weil endlich die rasche Entleerung des Wagenschuppens bei Feuersgefahr u. dergl. unmöglich ist. Bei Hauptgleisen aber verbietet die Sicherung des Betriebes eine Grubenanlage unbedingt (§ 71 der Technischen Vereinbarungen).

Aus diesen Gründen hat man schon sehr bald Schiebebühnen herzustellen gesucht, bei welchen eine Grube nicht erforderlich wird. Der Entwurf solcher ist keine leichte Aufgabe, weil jetzt die belasteten Fahrzeuge um so viel lothrecht gehoben werden müssen, dass die Spurkränze ihrer Räder sammt den sie stützenden Theilen der Bühne über die undurchbrochenen Stränge der zu verbindenden Gleise weggehen können, das Hebungsmass aber nur etwa 5 *cm* betragen darf, wenn die Anordnung nicht unzweckmässig werden soll wegen allzugrossen Kraftaufwandes.

Es sind zweierlei Anordnungsweisen von Schiebebühnen ohne Grube möglich. Entweder wählt man grosse Laufrollen und Querträger, deren Länge die Spurweite der Gleise übertrifft, oder statt dessen kleine Rollen mit so kurzem gegenseitigen Abstand, dass sie noch unter den Achsen und zwischen den Rädern der gehobenen Fahrzeuge Platz finden. Im ersten Falle müssen die ziemlich langen Querträger allerdings eine so bedeutende Höhe erhalten, dass eine Durchbrechung der in Verbindung zu setzenden Gleise nach den Linien, in welchen sich die Querträger der Bühne bewegen, nicht zu vermeiden ist; indem man letztere aber als Blechträger mit dünner Wand ausführt, kann die Unterbrechungsfuge auf ein verhältnissmässig kleines Mass (einige Centimeter) beschränkt werden.

Auf die Querträger kommen dann die Längsträger zu liegen, welche in passender Weise aus Winkeln und Blechen zusammengesetzt, so angeordnet werden, dass die Räder der Fahrzeuge nicht mit den Spurkränzen, sondern mit den kegelförmigen Reifen aufzuliegen kommen, wodurch das Hebungsmass für dieselben so weit wie nur immer möglich abgemindert wird.

In dem zweiten, oben angedeuteten Fall, bei Anordnung kleiner Laufrollen, liegt der eigentliche Bühnenkörper innerhalb des Raumes, welcher von den Fahrschienen, sowie den Achsen und Rädern der gehobenen Fahrzeuge begrenzt wird, und es stellt die Schiebebühne meist ein aus vier eisernen Wänden gebildetes Rahmenwerk vor, dessen Langseiten das Fahrzeug mit ihren unteren Kanten tragen. Die Beweglichkeit ist hierbei allerdings wegen des kleinen Durchmessers der Rollen vermindert, doch kann man zuweilen durch Frictionsrollen nachhelfen und man gewinnt dadurch den bedeutenden Vortheil, eine Unterbrechung der Hauptgleisstränge gänzlich zu vermeiden. Diese werden in der Regel ohne jede Fuge durchgeführt, dafür die Bühnengleisstränge mit entsprechenden Spurkranzlücken versehen und deren schädliche Wirkung durch mancherlei Vorkehrungen an den Laufrollen beseitigt. Indem man z. B. jeden Schienenstrang des Bühnengleises verdoppelt, statt der einzelnen Rollen je zwei dicht neben einander, jedoch um ein geringes Mass gegen einander versetzt, anordnet, erzielt man, dass, sobald die eine derselben auf die Trennungsfuge ihres Schienenstranges zu stehen kommt und in Folge dessen unwirksam wird, die andere an ihrer Stelle die Stützung der Bühne übernimmt. Eine ähnliche Wirkung kann man erzielen, wenn man statt dessen zu den eigentlichen, zwischen den Rädern der gehobenen Fahrzeuge liegenden Rollen noch andere, ausserhalb derselben und auf den gleichen Strängen wie jene laufende Rollen anordnet u. dergl. m.

Das Aufbringen der Fahrzeuge auf die Bühne geschieht gewöhnlich mit Hilfe kurzer keilförmiger Stücke, welche an der Bühne sitzen und auf die Schienen niedergeklappt oder von der Seite her eingedreht werden können, so dass dann der Wagen auf den dadurch gebotenen schiefen Ebenen

aufgeschoben oder gezogen werden kann. In manchen Fällen liegt das Bühnengleis für gewöhnlich so tief, dass die Fahrzeuge wagrecht aufgebracht werden können, worauf dann erst mittelst Schrauben oder unter Anwendung hydraulischen Druckes die erforderliche Hebung erfolgt. In Bewegung gesetzt werden die Bühnen öfters durch Windevorrichtungen, welche auf ihnen angebracht sind und von Arbeitern bedient werden, oder mit Hilfe einer kleinen, auf einem mit der Bühne gekuppelten Gestelle angeordneten Dampfmaschine, in vereinzelten Fällen auch durch Wasserdruck. Eine Feststellung in den einzelnen Gleisen ist nicht immer durchgeführt, kann aber mit den einfachsten Mitteln, ähnlich wie bei den Drehscheiben, erzielt werden.

Für Schiebebühnen giebt § 70 der Technischen Vereinbarungen folgende Bestimmung: „Schiebebühnen für Locomotiven sollen aus Schweisseisen, Flusseisen oder Stahl construirt sein. Hölzerne Schiebebühnen für Wägen sind zulässig. Bei Schiebebühnen mit versenkten Gleisen sollen die Gruben nicht über 500 *mm* tief sein."

Die Verbindung von Gleisen mittelst Schiebebühnen kann schliesslich mit wenigen Worten erledigt werden. Da mittelst Bühnen nur gerade, gleichlaufende Gleise mit einander verbunden werden können, so ist die Art ihrer Verwendung durch die vorstehende Beschreibung vollständig aufgeklärt und bedarf keiner weiteren Zusätze.

ANHANG.

ERSTER THEIL.

Unterbau.

Zu Nr. 1.

1. Gleichgewicht der Erdmassen auf Grund der Theorie eines Bruchprismas von endlichen Abmessungen. Auf wagrechtem Boden werde eine Erdmasse aufgeschüttet mit einem Querschnitt, wie er in Fig. 110 dargestellt ist. Sie wird demnach vornen durch eine Böschungsebene $A\,B$ begrenzt, welche mit der Lothrichtung den Winkel ε einschliesst und oben nach einer, unter dem Winkel α zum Loth geneigten Ebene, während sie nach rückwärts unbeschränkte Ausdehnung besitzt. Ihre Länge, senkrecht zur Querschnittsebene, werde der Einfachheit halber gleich Eins angenommen.

Wäre die vordere Böschungsebene ($A\,B$) zu steil gewählt, so würde sich erfahrungsgemäss eine, von ihrem Fuss A ausgehende und schief aufwärts verlaufende Bruchfläche $A\,C$ bilden und die darüber liegende Erdmasse ABC zum Absturz gelangen. Obgleich diese Bruchfläche nur in einem Fall als Ebene nachgewiesen ist,[1]) wenn nämlich die Erdmasse vollkommen gleichartig (homogen), dabei cohäsionslos und oben nach einer wagrechten Ebene begrenzt gedacht wird, macht man doch bei den theoretischen Entwickelungen die Voraussetzung, der Bruch erfolge im Allgemeinen nach einer Ebene ($A\,C$), welche mit dem Loth den sogenannten Bruchwinkel (β) einschliesst, und der zum Absturz gelangende Theil sei ein ebenflächiges Prisma (ABC).

Der Vorgang stellt sich unter diesen Voraussetzungen

---

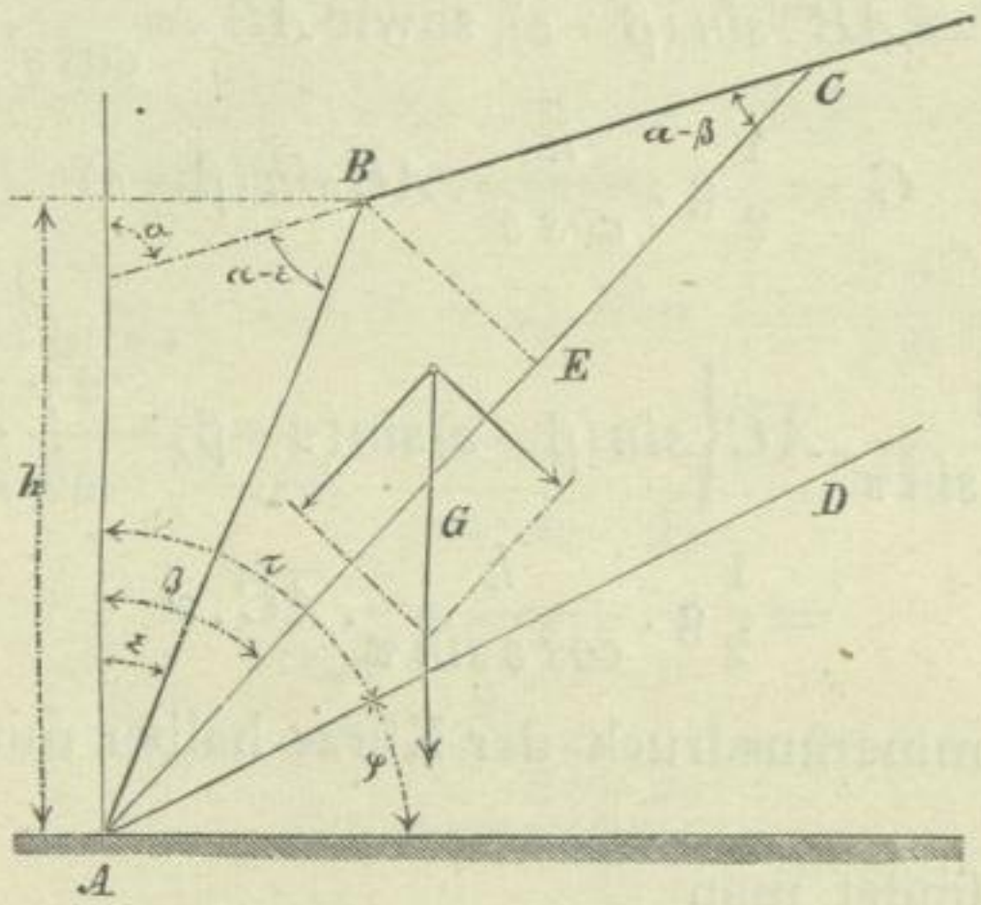
[1]) Scheffler in Crelle's Journal f. Baukunst, Bd. XXX, S. 198.

einfach in folgender Weise dar: Das Gewicht G des Prismas ABC wirkt auf Absturz, in der Richtung CA mit einem Betrage $G \cos \beta$. Dem widersetzt sich die Reibung

$$\mu \,.\, G \sin \beta = G \sin \beta \, tg \, \varphi = G \sin \beta \, cotg \, \tau$$

wobei μ den Reibungscoëfficienten, φ den Reibungswinkel und τ dessen Ergänzung zu 90 Grad bedeutet; sodann die Cohäsion der Erde nach der Fläche AC mit dem Betrage $\gamma \,.\, \overline{AC}$, wenn γ ein Erfahrungscoëfficient, beziehungsweise der Cohäsionsbetrag für die Flächeneinheit und $\overline{AC} \,.\, 1$ der Inhalt der Bruchebene.

Fig. 110.



Sind Reibung und Cohäsion zusammen gross genug, um die in der Richtung der schiefen Bruchebene abwärts treibende Kraft aufzuheben, so tritt ein Bruch nicht ein; es lautet also die Bedingung für den Gleichgewichtszustand

$$S = G \cos \beta - G \sin \beta \, cotg \, \tau - \gamma . \overline{AC} = G . \frac{\sin (\tau - \beta)}{\sin \tau} - \gamma . \overline{AC} = 0$$

Hierin steckt nun der vorerst noch unbekannte Bruchwinkel β. Derselbe bestimmt sich entweder nach der von Coulomb eingeführten Annahme, dass jenes Prisma sich löse, welches in der Richtung der Bruchebene einen besonders grossen Schub S ausübe, oder nach der Anschauung Rebhann's, dass der Bruch nach jener Ebene erwartet werden müsse,

längs welcher der ganze Betrag der vorhandenen Reibung und Cohäsion durch die Absturzwirkung aufgezehrt werde, jedesmal in derselben Weise aus der Bedingungsgleichung

$$\frac{dS}{d\beta} = o \text{ oder } \frac{d(G\cos\beta)}{d\beta} = \frac{d[G\sin\beta\,\mathrm{cotg}\,\tau + \gamma.\overline{AC}]}{d\beta}$$

nachdem vorher auch das Gewicht G als Function des Winkels β ausgedrückt worden. Heisst $\mathfrak{g}$ das Gewicht der körperlichen Einheit Erde, so gilt mit Bezug auf Fig. 110

$$G = \frac{1}{2}\mathfrak{g}.\overline{AC}.\overline{BE}$$

und $\overline{BE} = \overline{AB}.\sin(\beta - \varepsilon)$, sowie $\overline{AB} = \frac{h}{\cos\varepsilon}$, folglich

$$G = \frac{1}{2}\mathfrak{g}.\frac{h}{\cos\varepsilon}.\overline{AC}\sin(\beta - \varepsilon)$$

und hiermit

$$S = \frac{1}{2}\mathfrak{g}.\frac{h}{\cos\varepsilon\sin\tau}.\overline{AC}\left\{\sin(\beta-\varepsilon)\sin(\tau-\beta) - \frac{2\gamma}{\mathfrak{g}h}\cos\varepsilon\sin\tau\right\} =$$

$$= \frac{1}{2}\mathfrak{g}.\frac{h}{\cos\varepsilon\sin\tau}.\overline{AC}.\nu$$

wenn der Klammerausdruck der Kürze halber mit ν bezeichnet wird.

Hieraus findet man

$$\frac{dS}{d\beta} = o = \frac{d(\overline{AC})}{d\beta}.\nu + \overline{AC}.\frac{d\nu}{d\beta}$$

und mit Berücksichtigung der Thatsache, dass S, und damit auch ν der Null gleich sein muss, einfach

$$\frac{d\nu}{d\beta} = 0$$

oder

$$-\sin(\beta-\varepsilon)\cos(\tau-\beta) + \sin(\tau-\beta)\cos(\beta-\varepsilon) = \sin(\tau-\beta-\beta+\varepsilon) = 0$$

also

$$\beta = \frac{\tau+\varepsilon}{2}$$

In der Form $\beta - \varepsilon = \frac{\tau - \varepsilon}{2}$ spricht diese Gleichung einen bemerkenswerthen Satz aus:

„Die Bruchebene halbirt den Winkel zwischen der Vorderböschung (AB) und der natürlichen Böschung (AD) der Erde."

Setzt man den eben gefundenen Werth des Bruchwinkels sammt den Werthen

$$\overline{AC} = \frac{h}{\cos \varepsilon} \cdot \frac{\sin(\alpha - \varepsilon)}{\sin(\alpha - \beta)} \text{ und}$$

$$G = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \frac{h^2}{\cos^2 \varepsilon} \cdot \sin(\alpha - \varepsilon) \cdot \frac{\sin(\beta - \varepsilon)}{\sin(\alpha - \beta)}$$

in die Gleichgewichtsgleichung ein, so erhält man schliesslich unter Festhaltung der Bezeichnungen

$$m = \frac{\mathfrak{g} h^2}{2 \cos^2 \varepsilon \sin \tau} \cdot \sin(\alpha - \varepsilon) \text{ und } n = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g} h} \cdot \cos \varepsilon \sin \tau$$

$$S = m \cdot \frac{\sin(\beta - \varepsilon) \sin(\tau - \beta) - n}{\sin(\alpha - \beta)} =$$

$$= m \cdot \frac{\sin^2 \frac{\tau - \varepsilon}{2} - n}{\sin\left[\alpha - \frac{\tau + \varepsilon}{2}\right]} = 0$$

Fragt man jetzt, unter welchem Böschungswinkel ε sich eine Erdart von bekannten Gewichts-, Reibungs- und Cohäsionsverhältnissen bei gegebener Höhe standhaft erhalten kann, so ergiebt sich die Antwort durch Auflösung obiger Gleichung nach ε zu

$$tg\, \varepsilon = tg\, \tau + 2\, tg^2 \tau \left\{ \omega - \sqrt{\omega\, (\omega + cotg\, \tau)\, (1 + cotg^2 \tau)} \right.$$

wenn

$$\omega = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g} h}$$

bedeutet.

Umgekehrt findet man die Höhe h_ε, welche bei einem bestimmten Winkel ε noch zulässig wäre, zu

$$h_\varepsilon = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g}} \cdot \frac{\sin\tau \cos\varepsilon}{\sin^2 \frac{\tau - \varepsilon}{2}}$$

und insbesondere für den Böschungswinkel $\varepsilon = 0$, also für lothrechten Abstich

$$h_o = \frac{4\gamma}{\mathfrak{g}} . \cot g\, \tau/_2$$

Man nennt diese Höhen (h_ε oder h_o), unter welchen sich eine Erdart vermöge ihrer Reibung und Cohäsion standfest zu erhalten vermag, Cohäsionshöhen und benützt die Ausdrücke für dieselben zu mancherlei Zwecken, beispielsweise auch zur Bestimmung von Cohäsion und Reibung auf dem Wege des Versuchs.

Für den Fall, dass auf der oberen Begrenzungsebene $B\,C$ der Erdmasse vom vorderen Rande B an noch eine gleichmässig vertheilte Last (π für die Flächeneinheit dieser schiefen Ebene) aufgebracht ist, bleibt, wie man sich leicht überzeugen kann, die Lage der Bruchebene dieselbe wie vorher, so dass auch jetzt

$$\beta = \frac{\tau + \varepsilon}{2}$$

stattfindet. Weiter ergiebt sich in einfacher Weise, dass das Aufbringen der Last (π) gleichbedeutend ist mit Veränderung des ursprünglichen Gewichtes $\mathfrak{g}$ der Erde in den anderen Werth

$$\mathfrak{g}' = \mathfrak{g}\left(1 + \frac{2\pi}{\mathfrak{g}\,h} \cdot \frac{\cos\varepsilon}{\sin(\alpha - \varepsilon)}\right)$$

oder mit anderen Worten, dass die oben belastete Erde vom Gewichte $\mathfrak{g}$ gleichwerthig mit einer gleich hoch aufgeschütteten und in gleicher Weise begrenzten, oben jedoch nicht belasteten Masse vom Gewichte $\mathfrak{g}'$ ist.

Die Cohäsionshöhe muss in Folge der Belastung unter sonst gleichen Umständen kleiner wie früher ausfallen; in der That findet man jetzt

$$h_\varepsilon' = h_\varepsilon - \frac{2\pi}{\mathfrak{g}} \cdot \frac{\cos\varepsilon}{\sin(\alpha - \varepsilon)}$$

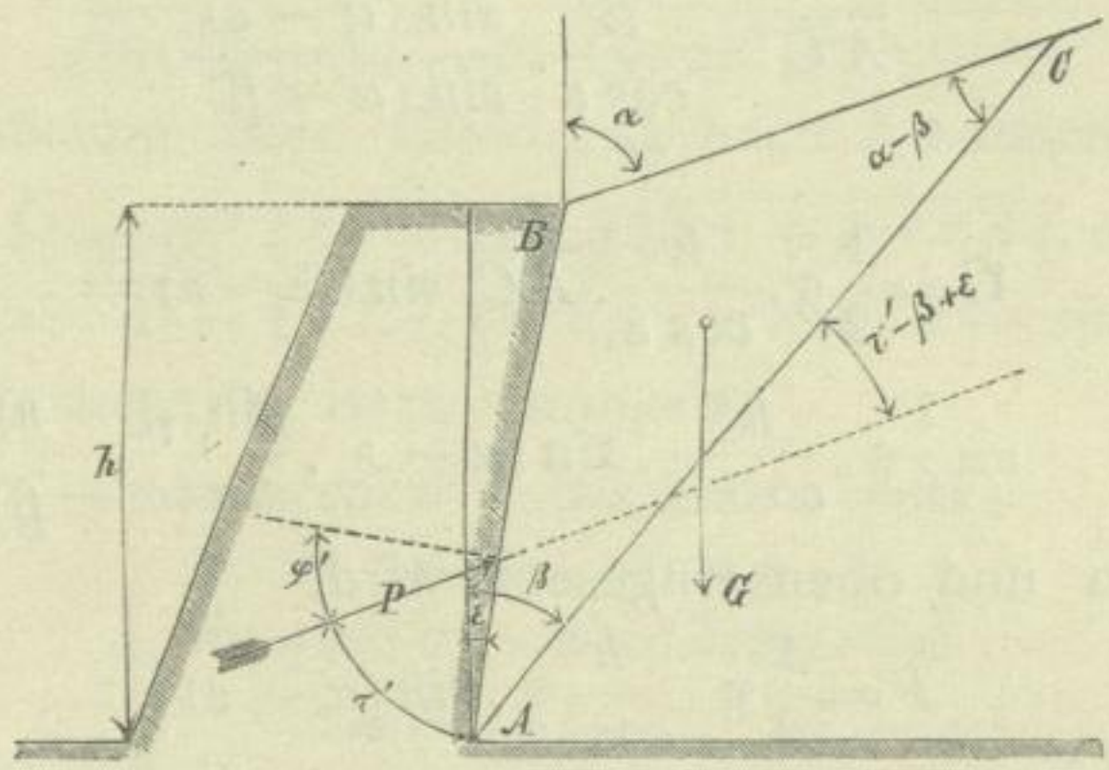
Zu Nr. 2.

2. Erddruck gegen eine Stütz- oder Futtermauer, wenn die Erde von der Mauerkrone an eben abgeböscht ist. Berücksichtigung der Reibung an der Rückseite der Mauer und der Cohäsion der gestützten Masse.

Richtung und Grösse des Erddruckes.

Ausser den früher bezeichneten Annahmen werden jetzt bezüglich der stützenden Wand noch zwei andere gemacht, dass dieselbe nämlich vollkommen sicher gegründet sei und eine ebene Rückseite AB besitze. Die Erdmasse, welche sich an die ziemlich steile Rückwand der Mauer anlehnt, könnte ohne dieselbe nicht im Gleichgewichte sein, es würde sich

Fig. 111.



vielmehr ein ebenflächiges Prisma ABC loslösen und zum Absturze gelangen. Diesem Absturze widersetzen sich ausser der Reibung in der Bruchfläche AC, so weit sie durch das Gewicht G des Bruchprismas bedingt wird, und der Cohäsion der Erdmasse längs der Bruchebene, im vorliegenden Falle noch der Widerstand der Mauer, welcher gleich dem auf sie ausgeübten Druck der Erde sein wird. Bezüglich dessen Vertheilung über die Rückfläche der Mauer ist vorerst Nichts bestimmt, nur so viel steht fest, dass er nach Fig. 111 durch eine Mittelkraft P ersetzt werden kann, welche mit der Senkrechten zur Rückfläche einen Winkel φ', oder mit dieser selbst den Winkel τ' einschliesst, welche beide der Reibung von Erde auf Mauerwerk entsprechen. Der Widerstand der Mauer

besteht hiernach in einer, gleichlaufend mit der Bruchebene, nach aufwärts geäusserten Seitenkraft von P, sowie einem Reibungsbetrage, welcher der von P, senkrecht zu $\overline{AC}$ ausgeübten Pressung entspricht und man erhält als Bedingungsgleichung für den Gleichgewichtszustand des in derselben Ebene wirkenden Kräftesystems

$$G \cos \beta = G \sin \beta \operatorname{cotg} \tau + \overline{AC} . \gamma + P \cos (\tau' - \beta + \varepsilon) + \\ + P \sin (\tau' - \beta + \varepsilon) \operatorname{cotg} \tau$$

und daher

$$P = \frac{G \sin (\tau - \beta) - \gamma . \overline{AC} . \sin \tau}{\sin (\tau + \tau' + \varepsilon - \beta)}$$

oder, wenn mit $\mathfrak{g}$ das Einheitsgewicht der Erde bezeichnet und aus der Figur

$$\overline{AC} = \frac{h}{\cos \varepsilon} . \frac{\sin (\alpha - \varepsilon)}{\sin (\alpha - \beta)}$$

und

$$G = \frac{1}{2} \mathfrak{g} . \frac{h}{\cos \varepsilon} . \overline{AC} . \sin (\beta - \varepsilon) = \\ = \frac{1}{2} \mathfrak{g} . \frac{h^2}{\cos^2 \varepsilon} . \sin (\alpha - \varepsilon) . \frac{\sin (\beta - \varepsilon)}{\sin (\alpha - \beta)}$$

entnommen und oben eingesetzt wird,

$$P = \frac{1}{2} \mathfrak{g} . \frac{h^2}{\cos^2 \varepsilon} . \sin (\alpha - \varepsilon) . \\ . \frac{\sin (\tau - \beta) \sin (\beta - \varepsilon) - \frac{2 \gamma}{\mathfrak{g} h} . \cos \varepsilon \sin \tau}{\sin (\alpha - \beta) \sin (\tau + \tau' + \varepsilon - \beta)}$$

und endlich nach Einführung der Bezeichnungen

$$\frac{1}{2} \mathfrak{g} . \frac{h^2}{\cos^2 \varepsilon} . \sin (\alpha - \varepsilon) = m_1 \text{ und } \frac{2 \gamma}{\mathfrak{g} h} . \cos \varepsilon \sin \tau = n$$

$$P = m_1 . \frac{\sin (\beta - \varepsilon) \sin (\tau - \beta) - n}{\sin (\alpha - \beta) \sin (\tau + \tau' + \varepsilon - \beta)}$$

Hierin steckt wieder der noch unbestimmte Bruchwinkel β, welcher sich, wie früher, aus der Gleichung $\frac{dP}{d\beta} = 0$ berechnet, nachdem der Ausdruck für P auf die Form

$$P = m_1 \cdot \frac{\cos(2\beta - \delta) - \cos\sigma'}{\cos\varrho - \cos(\eta - 2\beta)}$$

gebracht worden, indem man zunächst berücksichtigt, dass

$$2\sin(\beta - \varepsilon)\sin(\tau - \beta) = \cos(2\beta - \varepsilon - \tau) - \cos(\tau - \varepsilon)$$

$$2\sin(\alpha - \beta)\sin(\tau + \tau' + \varepsilon - \beta) = \cos(\alpha - \tau - \tau' - \varepsilon) - \\ - \cos(\alpha + \tau + \tau' + \varepsilon - 2\beta)$$

oder mit den Bezeichnungen

$$\tau + \varepsilon = \delta,\ \tau - \varepsilon = \sigma,\ \tau + \tau' + \varepsilon = \xi,\ \alpha + \xi = \eta,\ \alpha - \xi = \varrho$$

$$2\sin(\beta - \varepsilon)\sin(\tau - \beta) = \cos(2\beta - \delta) - \cos\sigma$$

$$2\sin(\alpha - \beta)\sin(\tau + \tau' + \varepsilon - \beta) = \cos\varrho - \cos(\eta - 2\beta)$$

stattfindet und $\cos\sigma + 2n = \cos\sigma'$ setzt.

Durch Differenziren der Gleichung für P erhält man jetzt

$$\frac{\sin(2\beta - \delta)}{\sin(2\beta - \eta)} = \frac{\cos(2\beta - \delta) - \cos\sigma'}{\cos(\eta - 2\beta) - \cos\varrho}$$

durch Auflösung dieser Gleichung nach β zunächst

$$\sin(\delta - \eta)(1 + tg^2 2\beta) = tg\, 2\beta \sqrt{1 + tg^2 2\beta}\,(\cos\eta\cos\sigma' - \\ - \cos\delta\cos\varrho) - \sqrt{1 + tg^2 2\beta}\,(\sin\eta\cos\sigma' - \sin\delta\cos\varrho),$$

nach Einführung der Bezeichnungen

$$\cos\eta\cos\sigma' - \cos\delta\cos\varrho = \omega$$

$$\sin(\delta - \eta) = \chi$$

$$\sin\eta\cos\sigma' - \sin\delta\cos\varrho = \psi$$

$$tg^2 2\beta - \frac{2\omega\psi}{\omega^2 - \chi^2} \cdot tg\, 2\beta - \frac{\chi^2 - \psi^2}{\omega^2 - \chi^2} = 0$$

und aus der Wurzel dieser Gleichung endlich

$$tg\, 2\beta = \frac{\omega\psi \pm \chi\sqrt{\omega^2 - \chi^2 + \psi^2}}{\omega^2 - \chi^2}$$

für den Bruchwinkel.[1]) Nach Einsetzen des so gefundenen Werthes für β in den Ausdruck für P ist dann der Erddruck gegen die Rückfläche der Mauer gefunden.

Mit dieser allgemeinen Behandlung sind eine ganze Reihe besonderer Fälle erledigt, von denen nur einige hier in's Auge gefasst werden sollen:

---

[1]) Siehe auch Bauernfeind, Grundriss der Vorlesungen über Erd- und Strassenbau. München 1875.

1. Fall. Es sei die Erde hinter der Stützmauer in der Höhe derselben wagrecht abgeglichen und die Reibung an der Rückseite der Mauer werde vernachlässigt, es finde also statt

$$\measuredangle \alpha = 90^0,\ \varphi' = 0 \text{ und } \tau' = 90^0.$$

Für diese besonderen Werthe ergeben sich aus den vorausgehenden allgemeinen Beziehungen die folgenden besonderen:

Zunächst gilt nun

$$\delta = \tau + \varepsilon,\ \sigma = \tau - \varepsilon,\ \xi = 90^0 + (\tau + \varepsilon),\ \eta = 180^0 + (\tau + \varepsilon) \text{ und}$$

$$\varrho = -(\tau + \varepsilon)$$

und in Folge dessen

$$\omega = -\cos(\tau + \varepsilon)[\cos(\tau + \varepsilon) + \cos\sigma']$$

$$\chi = \sin[\tau + \varepsilon - 180 - (\tau + \varepsilon)] = 0$$

$$\psi = -\sin(\tau + \varepsilon)[\cos(\tau + \varepsilon) + \cos\sigma']$$

womit sich

$$tg\, 2\beta = \frac{\psi}{\omega} = \frac{\sin(\tau + \varepsilon)}{\cos(\tau + \varepsilon)} \text{ oder } \beta = \frac{\tau + \varepsilon}{2}$$

und damit der Satz ergiebt: Bei einer mit Reibung und Cohäsion begabten, hinter einer vollkommen glatten Mauer befindlichen und in der Höhe derselben wagrecht abgeglichenen Erdmasse halbirt die Bruchebene den Winkel, welchen die Rückwand der Mauer mit der natürlichen Böschungslinie der Erde einschliesst.

Mit diesem Winkelwerthe berechnet sich sodann die Grösse des Erddruckes zu

$$\text{Max. } P = \frac{1}{2}\mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{\cos\varepsilon} \cdot \frac{\sin^2\frac{\tau - \varepsilon}{2} - \frac{2\gamma}{\mathfrak{g}h} \cdot \cos\varepsilon \sin\tau}{\cos^2\frac{\tau + \varepsilon}{2}}$$

oder, wenn man berücksichtigt, dass die Cohäsionshöhe für den Winkel ε nach Nr. 1 den Werth

$$h_\varepsilon = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g}} \cdot \frac{\cos\varepsilon \sin\tau}{\sin^2\frac{\tau - \varepsilon}{2}}$$

besitzt, auch

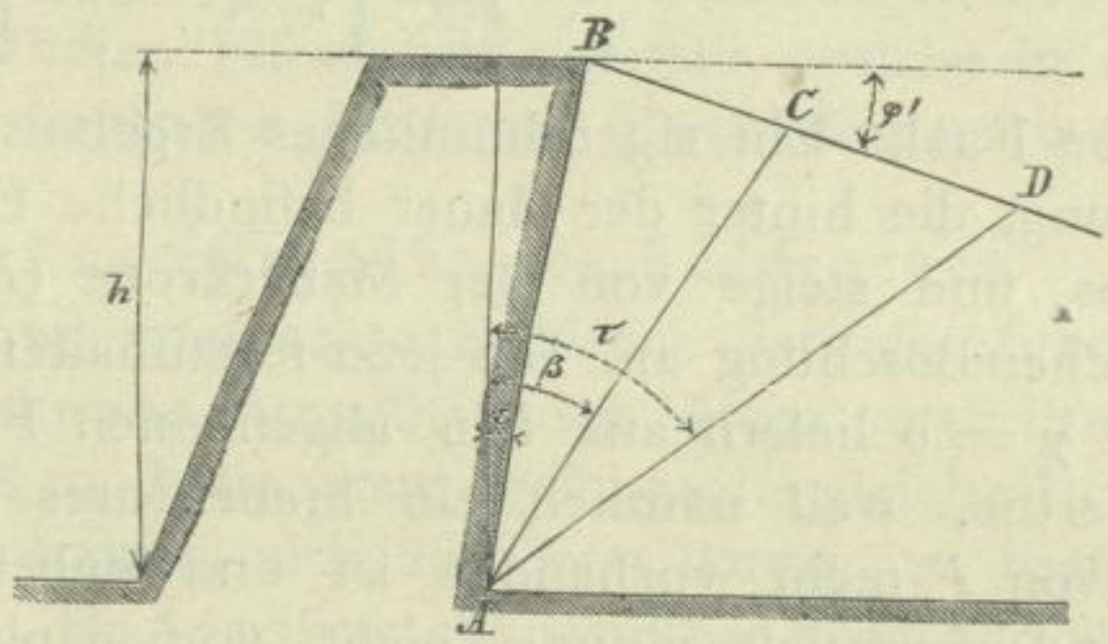
$$\text{Max. } P = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mathfrak{g}\, h^2}{\cos \varepsilon} \cdot \frac{\sin^2 \frac{\tau - \varepsilon}{2}}{\cos^2 \frac{\tau + \varepsilon}{2}} \left(1 - \frac{h_\varepsilon}{h}\right)$$

Geht man von Erddruck auf Wasserdruck über, indem man $\gamma = 0$ und $\tau = 90^0$ setzt, so kommt man auf die bekannte Formel für den hydrostatischen Druck

$$\text{Max. } P = \frac{1}{2}\, \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{\cos \varepsilon}$$

eine Probe, welche zwar keinen untrüglichen Beweis für die Richtigkeit der aufgestellten Gleichung liefert, deren Versagen jedoch die Unrichtigkeit derselben anzeigen müsste.

Fig. 112.



2. Fall. Es ist bemerkenswerth, dass man den oben gefundenen Werth des Bruchwinkels wiederum erhält, wenn man nach Fig. 112 die obere Begrenzung der Erde von der Oberkante B an nach rückwärts unter dem Reibungswinkel φ' fallend annimmt und in den allgemeinen Ausdrücken $\alpha = 90^0 + \varphi' = 180^0 - \tau'$ setzt, im Uebrigen aber alle früheren Voraussetzungen beibehält.

Man findet hiefür

$$\delta = \tau + \varepsilon,\ \sigma = \tau - \varepsilon,\ \eta = 180^0 + (\tau + \varepsilon),$$
$$\varrho = 180^0 - (\tau + 2\,\tau' + \varepsilon)$$
$$\omega = -\cos(\tau + \varepsilon)(\cos\varepsilon\ \sigma' + \cos\varrho)$$
$$\chi = o$$
$$\psi = -\sin(\tau + \varepsilon)(\cos\sigma + \cos\varrho)$$

und daher $tg\ 2\ \beta = \frac{\psi}{\omega} = tg\ (\tau + \varepsilon)$ und $\beta = \frac{\tau + \varepsilon}{2}$,

sodann als Erddruck

$$\text{Max. } P = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{cos^2 \varepsilon} \cdot sin\,(\tau' + \varepsilon) \cdot \frac{sin^2 \frac{\tau - \varepsilon}{2} - \frac{2\gamma}{\mathfrak{g} h} \cdot cos\,\varepsilon\, sin\,\tau}{sin^2 \left[\tau' + \frac{\tau + \varepsilon}{2}\right]}$$

oder wieder im Hinblick auf den Zusammenhang

$$h_\varepsilon = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g}} \cdot \frac{cos\,\varepsilon\, sin\,\tau}{sin^2 \frac{\tau - \varepsilon}{2}}$$

$$\text{Max. } P = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{cos^2 \varepsilon}\, sin\,(\tau' + \varepsilon)\, \frac{sin^2 \frac{\tau - \varepsilon}{2}}{sin^2 \left[\tau' + \frac{\tau + \varepsilon}{2}\right]} \left(1 - \frac{h}{h}\right)$$ [1]

Dritter Fall. Ein eigenthümliches Ergebniss liefert die Voraussetzung, die hinter der Mauer befindliche Erdmasse sei cohäsionslos und steige von der Mauerkrone (B) aus nach der natürlichen Böschung an. Die jetzt festzuhaltenden Werthe $\alpha = \tau$ und $\gamma = o$ liefern aus den allgemeinen Formeln unsinnige Werthe, weil nämlich ein brauchbares analytisches Maximum von P nicht vorhanden ist und daher nach den Regeln der Differentialrechnung nicht vorgegangen werden kann. Es bleibt daher nichts übrig, als auf die Grundgleichung für P zurückzugehen und durch einfache Ueberlegung zum Ziele zu gelangen.

Da mit γ der ganze Ausdruck von n verschwindet, so hat man jetzt

$$P = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{cos^2 \varepsilon} \cdot sin\,(\tau - \varepsilon) \cdot \frac{sin\,(\beta - \varepsilon)}{sin\,(\tau + \tau' + \varepsilon - \beta)}$$

und man erkennt ohneweiters, dass der Werth von P mit β wächst, also einen möglichst grossen Werth erhält, wenn β

---

[1]) Rebhann, Theorie des Erddrucks und der Futtermauern, Wien 1871.

seinen denkbar grössten Werth erreicht hat. Da nun im äussersten Falle $\beta = \tau$ gedacht werden kann, so gilt der folgende Satz:

Wenn eine cohäsionslose Erdmasse von der oberen Kante der Mauerrückwand an nach der natürlichen Böschung ansteigt, so bildet die Bruchebene den Reibungswinkel φ mit der Wagrechten, ist also gleichlaufend mit der oberen Begrenzungsebene der Erde.

Für den Druck der Erde selbst ergiebt sich dann

$$\text{Max. } P = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{cos^2 \varepsilon} \cdot \frac{sin^2 (\tau - \varepsilon)}{sin (\tau' + \varepsilon)}$$

oder

$$\text{Max. } P = \frac{1}{2} \left[\mathfrak{g} \cdot \frac{sin^2 (\tau - \varepsilon)}{sin (\tau' + \varepsilon) cos \varepsilon} \right] \cdot \frac{h^2}{cos \varepsilon}$$

wobei der Klammerausdruck das Einheitsgewicht jener gedachten tropfbaren Flüssigkeit vorstellt, welche in ihrer Wirkung der vorliegenden Erdmasse gleichkommen würde.

Angriffspunkt des Erddruckes.

Der bisher untersuchte Erddruck ist als Mittelkraft der, über die Rückwand der stützenden Mauer vertheilten Elementarpressungen zu betrachten, welche alle gleiche Richtung mit P haben. Es handelt sich also jetzt darum, zu bestimmen, an welcher Stelle der Angriffspunkt desselben gedacht werden muss. Es kann dies sehr einfach mit Hilfe des Satzes entschieden werden, dass das statische Moment der Mittelkraft für irgend einen Drehpunkt gleich der Summe der statischen Momente der Einzelkräfte für denselben Drehpunkt ist.

Nach Fig. 111 wurde der gesammte Erddruck für die Mauerhöhe h zu

$$P = m_1 \cdot \frac{cos (2\beta - \delta) - (cos \sigma + 2n)}{cos \varrho - cos (\eta - 2\beta)}$$

gefunden, wobei

$$m_1 = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{cos^2 \varepsilon} \cdot sin (\alpha - \varepsilon) \text{ und } n = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g} h} \cdot cos \varepsilon \, sin \tau$$

bedeutete und der Bruchwinkel durch die Gleichung

$$tg\ 2\beta = \frac{\omega\psi \pm \chi\sqrt{\omega^2 - \chi^2 + \psi^2}}{\omega^2 - \chi^2}$$

bestimmt war. Nach Potenzen von h geordnet, lautet diese Gleichung

$$P = \frac{\mathfrak{g}}{2} \cdot \frac{sin\,(\alpha - \varepsilon)}{cos^2\,\varepsilon} \cdot \frac{cos\,(2\beta - \delta) - cos\,\sigma}{cos\,\varrho - cos\,(\eta - 2\beta)} \cdot \mathrm{h}^2 -$$

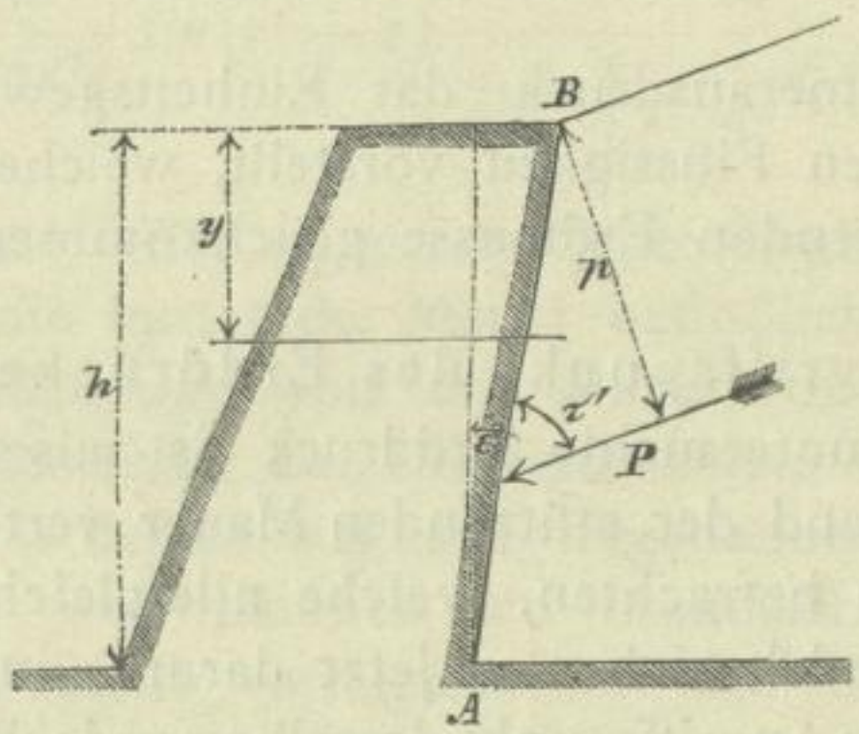
$$- \frac{2\gamma}{cos\,\varepsilon} \cdot \frac{sin\,\tau\,sin\,(\alpha - \varepsilon)}{cos\varrho - cos(\eta - 2\beta)} \cdot h$$

oder mit einfacherer Bezeichnung

$$P = \mathfrak{a}\,\mathrm{h}^2 - \omega\,h$$

Hieraus berechnet sich für Mauern von verschiedener Höhe der Erddruck, welchen sie unter sonst gleichen Um-

Fig. 113.



ständen auszuhalten haben, oder auch für eine und dieselbe Mauer die Summe der Pressungen, welche von oben ab bis zu einer bestimmten Tiefe hin sich geltend machen.

Bei der in Fig. 113 dargestellten Mauer beträgt z. B. der Erddruck in den oberen Theilen bis zu der lothrecht gemessenen Tiefe y hin im Ganzen

$$P_y = \mathfrak{a}\,y^2 - \omega\,y$$

Derselbe nimmt an Grösse zu, wenn y zunimmt, und zwar um dP_y, wenn y in $(y + dy)$ übergeht; man erhält demnach in

$$dP_y = (2\mathfrak{a}y - \omega)\,dy$$

den Druck der Erde auf einen, in der Tiefe y befindlichen Elementarstreifen der Rückwand von der Höhe dy, und da-

mit einen allgemeinen Ausdruck für die unendlich vielen Einzelpressungen, deren Mittelkraft das früher untersuchte P darstellt. Der Hebelarm einer solchen Einzelkraft für den beliebigen Drehpunkt B ist

$$p_y = \frac{y}{\cos\varepsilon} \sin\tau'$$

folglich ihr statisches Moment für diesen Punkt

$$dP_y \cdot p_y = \frac{\sin\tau'}{\cos\varepsilon}(2\mathfrak{a}y^2 - \omega y)\,dy$$

und nach dem Satz über die statischen Momente, falls p den Hebelarm der Mittelkraft bezeichnet,

$$P \cdot p = \int_{h_\varepsilon}^{h} dP_y \cdot p_y = \frac{\sin\tau'}{\cos\varepsilon}\int_{h_\varepsilon}^{h}(2\mathfrak{a}y^2 - \omega y)\,dy$$

Die Cohäsionshöhe $h_\varepsilon = \frac{2\gamma}{\mathfrak{g}} \cdot \frac{\cos\varepsilon \sin\tau}{\sin^2\frac{\tau-\varepsilon}{2}}$ muss als untere Integrationsgrenze angenommen werden, weil sich die Erde auf dieser Höhe frei trägt und folglich auch keinen Druck gegen die Mauer äussert.

Die Ausführung der Integration liefert ohneweiters mit

$$p \cdot \frac{\cos\varepsilon}{\sin\tau'} = \frac{{}^2/_3\,\mathfrak{a}(h^3 - h_\varepsilon{}^3) - {}^1/_2\,\omega(h^2 - h_\varepsilon{}^2)}{\mathfrak{a}h^2 - \omega h}$$

einen Ausdruck für den lothrecht gemessenen Abstand des Druckmittelpunktes von der Oberkante B der Mauer, in welchen nur noch die, dem wirklichen Bruchwinkel entsprechenden Werthe von $\mathfrak{a}$ und ω einzusetzen sind.

Für cohäsionslose Erde, wobei also $\gamma = 0$ und daher auch $h_\varepsilon = \omega = 0$ stattfindet, ergiebt sich hieraus allgemein

$$p \cdot \frac{\cos\varepsilon}{\sin\tau'} = \frac{2}{3}h$$

und in dem ersten, oben behandelten besonderen Fall, als $\alpha = 90^0$ und $\tau' = 90^0$ gesetzt wurde

$$\mathfrak{a} = \frac{1}{2}\frac{\mathfrak{g}}{\cos\varepsilon} \cdot \frac{\sin^2\frac{\tau-\varepsilon}{2}}{\cos^2\frac{\tau+\varepsilon}{2}}, \quad \omega = \gamma \cdot \frac{\sin\tau}{\cos^2\frac{\tau+\varepsilon}{2}}$$

und

$$p \cdot \frac{\cos\varepsilon}{\sin\tau'} = p\cos\varepsilon = \frac{2}{3}h \cdot \frac{1 - {}^1/_4\frac{h_\varepsilon^3}{h^3} - {}^3/_4\frac{h_\varepsilon}{h}}{1 - \frac{h_\varepsilon}{h}}$$

welche für $\gamma = 0$, oder $h_\varepsilon = 0$ selbstverständlich ebenfalls

$$p\cos\varepsilon = {}^2/_3\, h$$

liefert.

3. Erddruck gegen eine Mauer, falls die Erdmasse von der Mauerkrone an eben abgeböscht und in gegebener Höhe oberhalb derselben nach einer wagrechten Ebene begrenzt ist. Berücksichtigung der Reibung an der Rückseite der Mauer, Vernachlässigung der Erdcohäsion.

Richtung und Grösse des Erddrucks.

Unter Voraussetzung cohäsionsloser Erde, also für $\gamma = 0$, lässt sich dieser Fall ziemlich einfach mit Hilfe zweier allgemein erweisbarer Sätze von Rebhann [1]) behandeln. Zieht man nämlich von dem Endpunkt C der Bruchlinie AC, Fig. 114, eine Gerade CN senkrecht auf die natürliche Böschung AD und trägt an diese den Winkel $NCF = \varphi' - \varepsilon = 90 - (\tau' + \varepsilon)$ an, so lautet der erste Satz wie folgt:

Die Bruchlinie (AC) zerlegt das Flächenstück $ABECFA$ in zwei gleich grosse Theile.

Schlägt man ferner von F aus als Mittelpunkt einen Halbkreis, so dass $FG = FG' = FC$ wird, so erhält man das Dreieck FCG (oder das andere FCG'), dessen Inhalt der Grösse des Erddruckes proportional ist. Der zweite in Frage stehende Satz kann demnach die folgende Fassung erhalten:

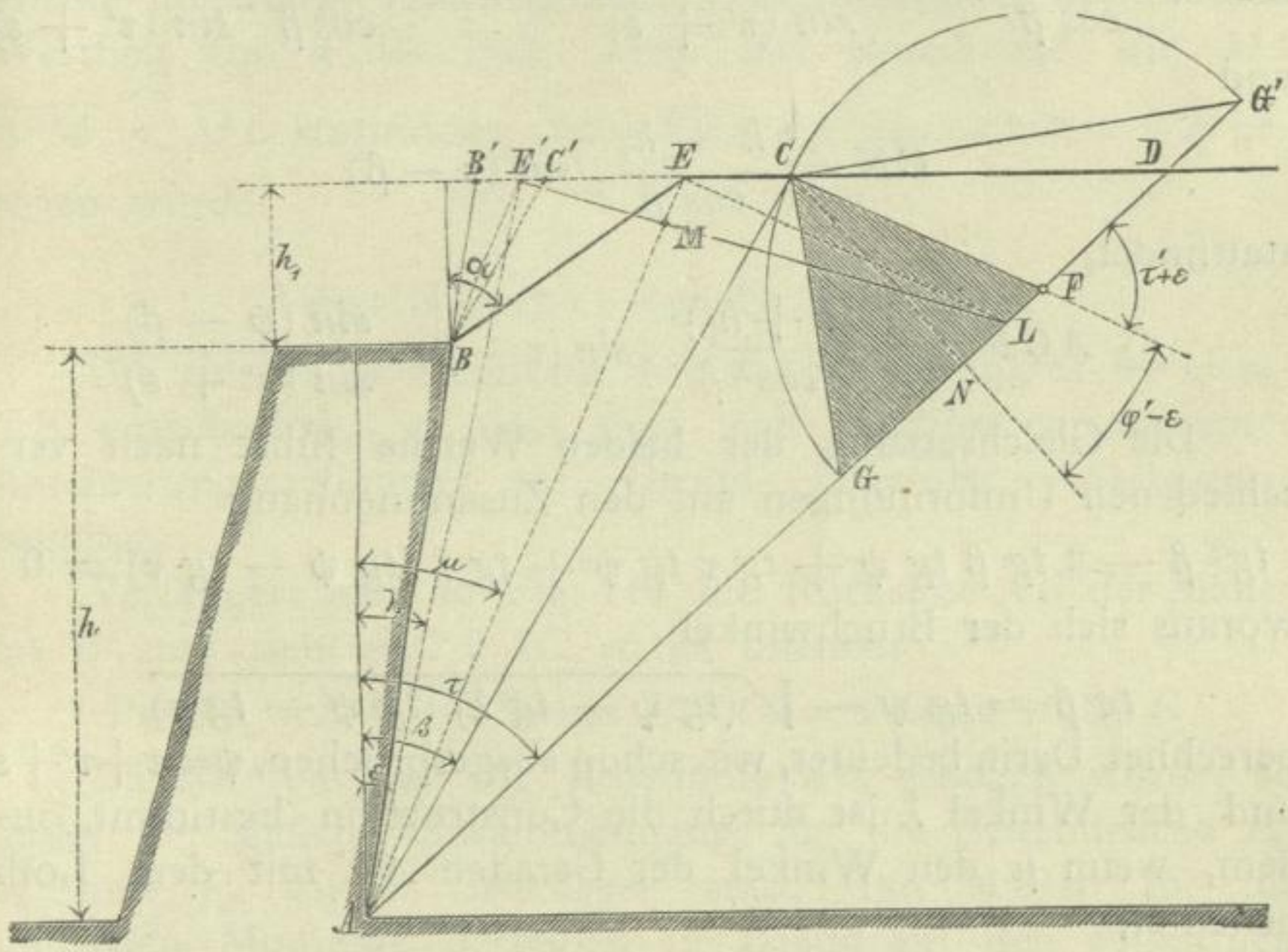
Der Druck der Erde gegen die Rückwand der Mauer ist gleich dem Gewichte eines Erdprismas, dessen Grundfläche

[1]) Theorie des Erddrucks und der Futtermauern, Wien 1871, S. 307.

das Dreieck FCG (oder FCG') und dessen Höhe gleich der Eins ist.

Bei dem vorliegenden Falle sind nun zwei Möglichkeiten aus einander zu halten, entweder schneidet nämlich die Bruchlinie, wie in Fig. 114, noch in die wagrechte Begrenzungslinie ein, oder ihr Endpunkt C kommt in die Böschungslinie BE zu liegen. Sobald das letztere zutrifft, handelt es sich einfach wieder um den unter Nr. 2 schon erörterten

Fig. 114.



Fall und es treten die dort gefundenen Gleichungen in Kraft.

Hier braucht also nur noch die andere Möglichkeit (Fig. 114) in's Auge gefasst und schliesslich angegeben zu werden, unter welchen Umständen dieselbe zu erwarten ist.

Nach dem Rebhann'schen Satz findet statt

$$\text{Viereck } ABEC = \text{Dreieck } ACF$$

oder, wenn man durch Ziehen der Linie $BE' \parallel AE$ und Verbinden der Punkte A und E' mit einander das Viereck $ABEC$ in ein gleich grosses Dreieck $AE'C$ verwandelt, auch

$$\triangle AE'C = \triangle ACF.$$

Der Inhalt des Dreiecks $AE'C$ beträgt, wenn λ der Winkel der Linie AE' mit dem Loth

$$\triangle AE'C = \frac{1}{2}\,\overline{E'C}\,.\,(h+h_1) = \frac{1}{2}\,(h+h_1)^2\,(tg\,\beta - tg\,\lambda)$$

und

$$\triangle ACF = \frac{1}{2}\,\overline{AF}\,.\,\overline{CN}$$

oder weil

$$\overline{AF} = \frac{h+h_1}{cos\,\beta}\,.\,\frac{sin\,(\tau+\tau'+\varepsilon-\beta)}{sin\,(\tau'+\varepsilon)} = \frac{h+h_1}{cos\,\beta}\,.\,\frac{sin\,(\psi-\beta)}{sin\,(\tau'+\varepsilon)}$$

und

$$\overline{CN} = \frac{h+h_1}{cos\,\beta}\,.\,sin\,(\tau-\beta)$$

stattfindet,

$$\triangle ACF = \frac{1}{2}\,\frac{(h+h_1)^2}{cos^2\,\beta}\,.\,sin\,(\tau-\beta)\,.\,\frac{sin\,(\psi-\beta)}{sin\,(\tau'+\varepsilon)}$$

Die Gleichsetzung der beiden Werthe führt nach verschiedenen Umformungen auf den Zusammenhang

$$tg^2\,\beta - 2\,tg\,\beta\,tg\,\psi + tg\,\tau\,tg\,\psi + tg\,\lambda\,(tg\,\psi - tg\,\tau) = 0$$

woraus sich der Bruchwinkel

$$tg\,\beta = tg\,\psi - \sqrt{(tg\,\psi - tg\,\lambda)\,(tg\,\psi - tg\,\tau)}$$

berechnet. Darin bedeutet, wie schon ausgesprochen, $\psi = \tau + \tau' + \varepsilon$ und der Winkel λ ist durch die Construction bestimmt, indem, wenn μ den Winkel der Geraden AE mit dem Loth bedeutet,

$$(h+h_1)\,tg\,\lambda = h\,tg\,\varepsilon + h_1\,tg\,\mu$$

und

$$(h+h_1)\,tg\,\mu = h\,tg\,\varepsilon + h_1\,tg\,\alpha$$

gilt, und in Folge dessen auch

$$tg\,\lambda = \frac{h}{h+h_1}\,.\,tg\,\varepsilon\left(1 + \frac{h_1}{h+h_1}\right) + \frac{h_1^2}{(h+h_1)^2}\,.\,tg\,\alpha$$

Für den Erddruck selbst ergiebt sich nach dem zweiten Rebhann'schen Satze

$$P = \mathfrak{g}\,.\,\triangle FCG = \frac{1}{2}\,\mathfrak{g}\,\overline{FG}\,.\,\overline{CN} = \frac{1}{2}\,\mathfrak{g}\,.\,\frac{\overline{CN}^2}{sin\,(\tau'+\varepsilon)}$$

und mit dem schon vorhin benützten Werthe von $\overline{CN}$

$$P = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{(h + h_1)^2}{cos^2 \beta} \cdot \frac{sin^2 (\tau - \beta)}{sin (\tau' + \varepsilon)}$$

Es ist schliesslich noch zu besprechen, unter welchen Umständen der Endpunkt C der Bruchlinie AC in die Horizontale zu liegen kommt, das Bruchprisma also ein vierseitiges ist. So lange die von der Mauer aufsteigende schiefe Böschung BE nicht flacher wie die natürliche Böschung ist, so lange der Winkel α nicht grösser ist als τ, fällt das Bruchprisma unbedingt vierseitig aus. Dasselbe ist auch bei anderen Werthen von α der Fall, wenn mit Bezug auf Fig. 114 $\overline{E'M} \leqq \overline{ML}$ stattfindet, falls $\overline{EL}$ gleichlaufend mit $\overline{CF}$ gezogen wurde.

Angriffspunkt des Erddruckes.

Die genaue Bestimmung dieses Angriffspunktes ist ziemlich umständlich, so dass man sich gewöhnlich mit einer Annäherungsrechnung auf Grund folgender Anschauung begnügt.

Verlängert man in Fig. 114 die Rückseite AB der Mauer bis B' und zieht $BC' \parallel AC$, so ist offenbar

Prisma $AB'C$ — Prisma $BB'C'$ = Prisma $ABC'C$

Da BC' parallel zur Bruchlinie AC gezogen wurde, so findet der gleiche Zusammenhang für die Seitendrücke P_1, P_2 und P_3 dieser Erdkörper statt, und ebenso für die statischen Momente derselben in Bezug auf den willkürlich gewählten Drehpunkt A. Heisst x der lothrechte Abstand des Angriffspunktes der Kraft P_3 von A und berücksichtigt man, dass die Druckmittelpunkte der Prismen $AB'C$ und $BB'C'$ wegen $\gamma = 0$ um ein Drittel der betreffenden Druckhöhe über dem Boden liegt, und dass die Erddrücke P_1 und P_2 nach den allgemeinen Formeln

$$P = \frac{G \, sin (\tau - \beta)}{sin (\tau + \tau' + \varepsilon - \beta)} \quad \text{und} \quad G = \frac{1}{2} \mathfrak{g} \cdot \frac{h^2}{cos \, \varepsilon} \cdot \frac{sin (\beta - \varepsilon)}{cos \, \beta}$$

dem Quadrat der Druckhöhen proportional sind, so kommt man auf die Gleichung

$$(h+h_1)^2 \cdot \frac{h+h_1}{3} - h_1^2\left(h+\frac{h_1}{3}\right) = [(h+h_1)^2 - h_1^2] \cdot x$$

woraus sich für x der Ausdruck

$$x = \frac{h}{3} + \frac{h\,h_1}{3(h+2h_1)}$$

berechnet.[1]) Dieser Werth würde den wirklichen Verhältnissen entsprechen, wenn die Begrenzungslinie BE mit BC' zusammenfiele. Ist dies, wie gewöhnlich, nicht der Fall, so ist auch x nicht zutreffend; dennoch gestattet man sich, dasselbe im Hinblick auf den jedenfalls nicht allzuhohen Genauigkeitsgrad von Erddruckberechnungen festzuhalten. Da dieser, lothrecht gemessene Abstand x des Druckmittelpunktes von der Bodenfläche jedenfalls etwas zu gross erhalten wird, so fällt auch das später bei Feststellung der Mauerstärken zu verwendende Umsturzmoment des Erddruckes ebenfalls zu gross aus, was gleichbedeutend ist mit vermehrter Vorsicht des entwerfenden Ingenieurs.

4. Graphostatische Bestimmung des Erddruckes. In der Praxis wird aus gelegentlich schon angedeuteten und später noch klarer hervortretenden Gründen auf die leicht veränderliche Cohäsion der Erde nicht gerechnet, vielmehr die Abmessungen der Mauer so angenommen, als ob es sich stets um Stützung cohäsionsloser Erden handelte. Unter dieser Voraussetzung gestaltet sich aber die rein zeichnerische Lösung der Aufgaben sehr einfach und übersichtlich, weshalb noch kurz hierauf eingegangen werden soll. Es werde dabei der in Fig. 111 dargestellte allgemeine Fall in's Auge gefasst und alle dortigen Bezeichnungen festgehalten.

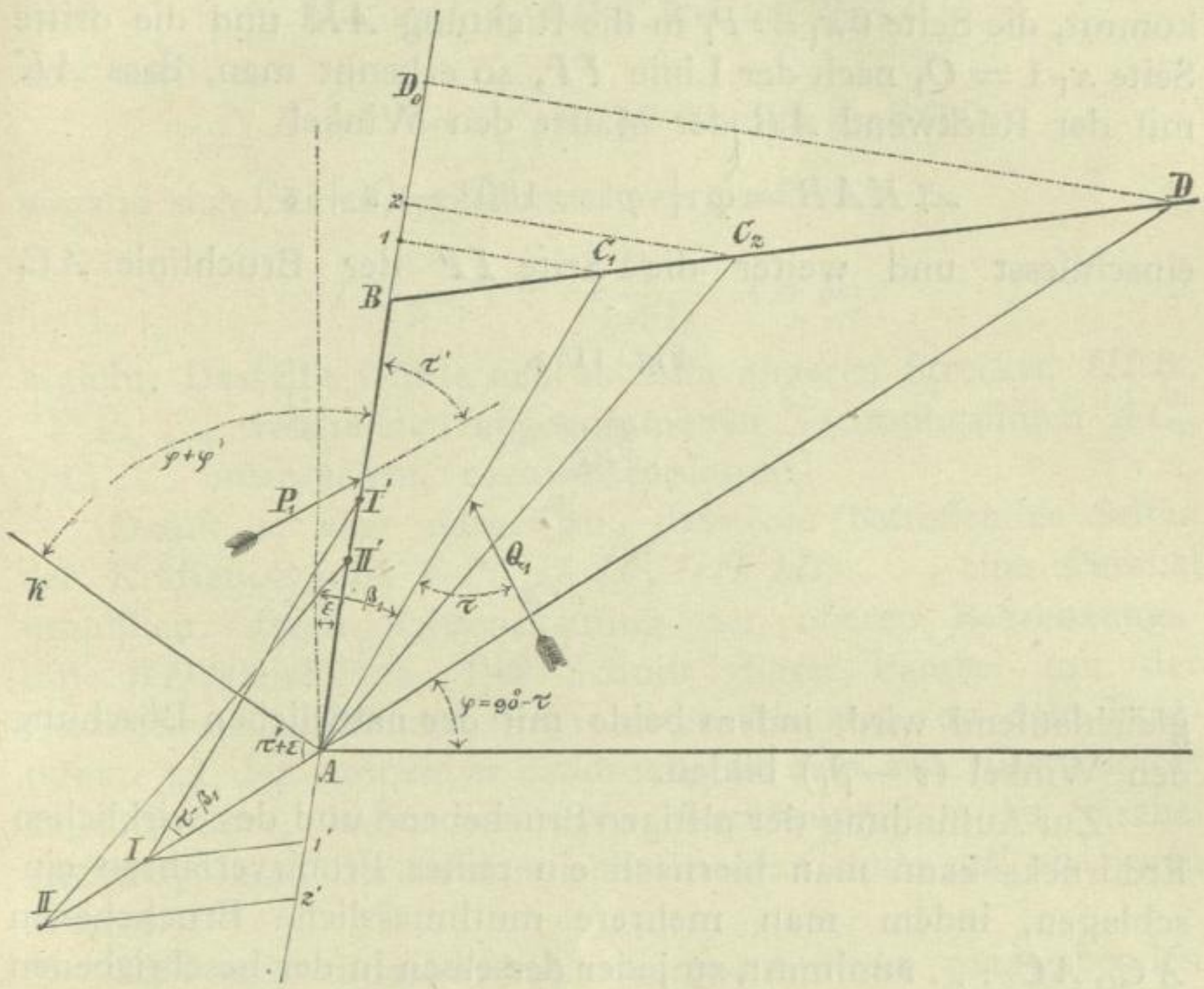
Das Bruchprisma ABC vom Gewicht G wird durch zwei auf seine Seitenflächen AB und AC wirkende Kräfte P und Q im Gleichgewichte gehalten. Die erste stellt den Widerstand dar, welcher von der Mauer geleistet wird und sich nur dem Sinne nach von dem Seitendruck P der Erde unterscheidet, und ist wegen der zwischen Erdmasse und Mauer vorhandenen Reibung unter dem Reibungswinkel φ' gegen die Senkrechte zur Rückwand AB, oder unter dem Winkel τ' zu dieser selbst geneigt. In gleicher Weise ist die Kraft Q, der Widerstand

[1]) Siehe auch Ott, Vorträge über Baumechanik, I. Theil, Prag 1870.

der unterhalb der Bruchebene befindlichen Erde, unter dem Winkel τ zu dieser Linie und unter $(\tau - \beta)$ gegen die Lothlinie zu denken.

Die Kräfte G, P und Q bilden ein ebenes System im Gleichgewichtszustande, müssen sich daher in einem Punkte schneiden und ein geschlossenes Kräftepolygon besitzen. Letzteres könnte sofort gezeichnet werden, wenn der Bruch-

Fig. 115.



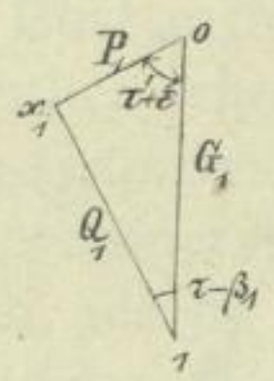
winkel bekannt wäre, weil man dann ausser den Richtungen der drei Kräfte auch noch die Grösse einer derselben kennen würde. Man brauchte nur, wenn in Fig. 115 AC_1 die Bruchlinie vorstellt, von einem beliebigen Punkt 0 (Fig. 115a) der Ebene aus das Gewicht G_1 des Bruchprismas in einem beliebig zu wählenden Massstabe aufzutragen und durch die Endpunkte 0 und 1 der, dieselbe darstellenden Strecke Linien gleichlaufend mit P_1 und Q_1, also beziehungsweise unter dem Winkel $(\tau' + \varepsilon)$ und $(\tau - \beta_1)$ zu G_1 zu ziehen; die dabei abgeschnittenen

Strecken $0x_1$ und $1x_1$ würden in dem gewählten Kräftemassstab die Kräfte P_1 und Q_1 liefern. Zweckmässig wäre es dabei, die senkrecht zu AB stehende Höhe $C_1 1$ des Dreiecks ABC_1 als Gewicht G_1 aufzutragen, da dieses der Linie $C_1 1$ direct proportional ist. Führt man die eben beschriebene Zeichnung des Kräftedreiecks nicht an beliebiger Stelle, sondern in Verbindung mit der Hauptfigur 115 aus, und zwar so, dass die Seite $01 = G_1$ desselben nach AI in die nach vornen verlängerte natürliche Böschungslinie DA zu liegen kommt, die Seite $0x_1 = P_1$ in die Richtung AK und die dritte Seite $x_1 1 = Q_1$ nach der Linie II', so erkennt man, dass AK mit der Rückwand AB der Mauer den Winkel

$$\measuredangle KAB = \varphi + \varphi' = 180^0 - (\tau + \tau')$$

einschliesst und weiter die Seite II' der Bruchlinie AC_1

Fig. 115a.



gleichlaufend wird, indem beide mit der natürlichen Böschung den Winkel $(\tau - \beta_1)$ bilden.

Zur Auffindung der giltigen Bruchebene und des wirklichen Erddrucks kann man hiernach ein reines Probirverfahren einschlagen, indem man mehrere muthmassliche Bruchebenen AC_1, AC_2 . . . annimmt, zu jeder derselben in der beschriebenen einfachen Weise den zugehörigen Abschnitt auf der Linie AK bestimmt und den grössten von diesen Abschnitten als den gewünschten Erddruck festhält. Zieht man beispielsweise eine zweite Richtung AC_2, so stellt sich das Verfahren einfach so, dass man die Höhe $C_2 2$ des Dreiecks ABC_2 von A bis II aufträgt und durch II die Linie $II\,II'$ gleichlaufend zu AC_2 zieht; der Abschnitt, welchen $II\,II'$ auf AK bildet, entspricht der dem Gewichte G_2 des Prismas ABC_2 zugehörigen Seitenkraft P_2 u. s. w.

Statt dessen kann ein Verfahren empfohlen werden, welches auf dem kürzesten Wege unmittelbar zum Ziele führt und sich in folgender Weise begründen lässt.

Zieht man nach Fig. 115 die geraden Linien $I1'$, $II2'$ gleichlaufend mit BD, so entstehen mehrere Gruppen ähnlicher Dreiecke, zunächst ist

$$\triangle I'1'I \sim ABC_1 \text{ und } \triangle II'2'II \sim ABC_2$$

sodann

$$\triangle AI1' \text{ und } \triangle AII2' \text{ ähnlich } \triangle ABD$$

und auch

$$\triangle BC_1 1 \text{ und } \triangle BC_2 2 \text{ ähnlich } \triangle BDD_0$$

woraus sich bei entsprechender Vergleichung

$$I'1' = II'2' = \frac{DD_0}{AD} . AB = e$$

ergiebt. Dasselbe würde sich für alle anderen Strecken $III'3'$, $IV'4'$ . . ., welche neu angenommenen Trennungslinien AC_3, AC_4 . . . entsprechen, nachweisen lassen.

Damit ist aber dargethan, dass die betreffenden Seiten der Kräftepolygone $I\,I'$, $II\,II'$, $III\,III'$ . . . eine Parabel umhüllen, deren Achsenrichtung der oberen Begrenzungslinie BD gleichläuft. Der Schnitt dieser Parabel mit der Geraden AK bestimmt durch seinen Abstand von dem Fusspunkte A den gesuchten Erddruck, so dass sich dieser sofort angeben lässt, indem man jene Berührungslinie der Parabel zeichnet, deren Berührungspunkt in die Gerade AK zu liegen kommt.[1])

Eine sehr einfache Bestimmungsart dieser massgebenden Linie giebt Wittmann.[2]) Verlängert man nämlich die unter dem Winkel $(\varphi + \varphi')$ zur Rückfläche AB der Mauer gerichtete Linie AK bis zu ihrem Durchschnittspunkte M mit der oberen Begrenzungslinie DB (Fig. 116) und sucht die mittlere Proportionale zwischen MB und MD, indem man

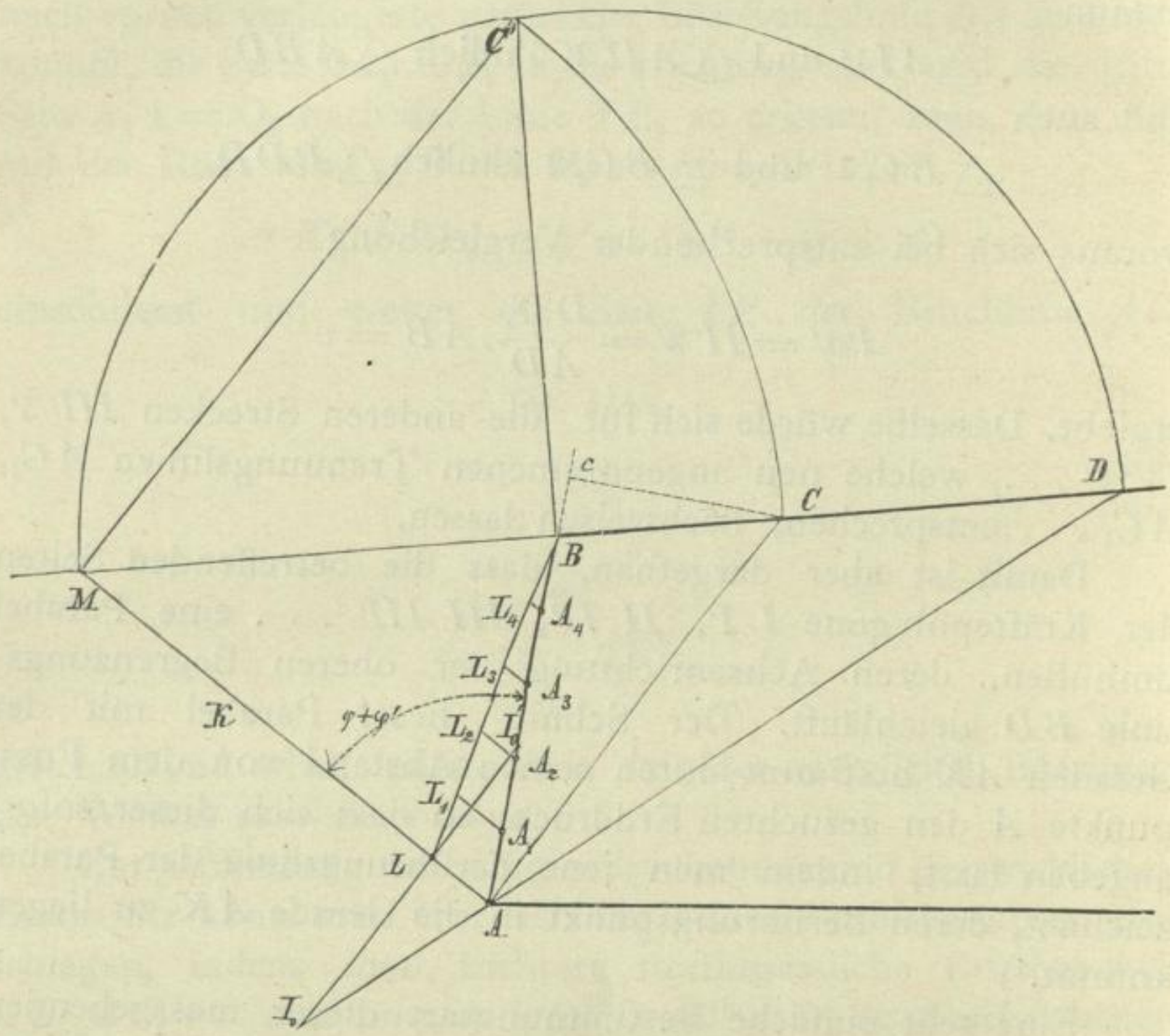
---

[1]) Siehe auch Culmann, Graphische Statik.

[2]) Beitrag zur Theorie des Erddruckes etc. von Dr. W. Wittmann, Zeitschr. des bayer. Arch. und Ing.-Ver. 1877. Separatabdruck bei Th. Ackermann in München.

über MD den Halbkreis $MC'D$ zeichnet, $BC' \perp MD$ zieht und $MC = MC'$ macht, wonach $\overline{MC}^2 = \overline{MB} \,.\, \overline{MD}$ wird, so erhält man durch die Strecke MC', wenn man sie nach MC legt, die Bruchlinie AC bezeichnet, mit welcher der betreffende Abschnitt auf AM in der früher dargelegten Weise gefunden wird. Man braucht also nur die Höhe Cc der

Fig. 116.



Grundfläche ABC des Bruchprismas in $A\,I_0$ abzutragen und die Gerade $I_0\,I_0'$ gleichlaufend mit AC zu zeichnen, um in dem Abschnitte AL auf AK den wirklichen Erddruck

$$\text{Max. } P = \overline{AL} \,.\, \frac{\overline{AB}}{2} \,.\, \mathfrak{g}$$

zu erhalten.

Es erübrigt jetzt noch, das rein zeichnerische Verfahren zur Auffindung des Angriffspunktes des Erddruckes wenigstens

anzudeuten. (Im Falle der Fig. 115 wäre dasselbe allerdings nicht mehr erforderlich, nachdem schon früher erwiesen worden, dass bei cohäsionsloser Erde der Druckmittelpunkt in $^1/_3$ der Mauerhöhe, von unten an gerechnet, angenommen werden müsse.)

Man wird zu dem Zwecke die Rückwand AB der Mauer nach Fig. 116 in eine Anzahl mässig grosser Theile AA_1, A_1A_2, A_2A_3 . . . zerlegen und für die verschiedenen Höhen BA, BA_1, BA_2 . . . den Erddruck bestimmen. Hierzu genügt es allein, den Abschnitt AL für die Wandhöhe BA (lothrecht gemessen gleich h) zu zeichnen und den Punkt L mit B durch eine Gerade zu verbinden, die hierdurch gegebenen Abschnitte A_1L_1, A_2L_2 . . . stellen nämlich, wie leicht erweisbar, die betreffenden Erddrucke vor, so dass also

für die Höhe A_1B der Erddruck $P_1 = \overline{A_1L_1} \cdot \frac{\overline{A_1B}}{2} \cdot \mathfrak{g}$

„ „ „ A_2B „ „ $P_2 = \overline{A_2L_2} \cdot \frac{A_2B}{2} \cdot \mathfrak{g}$

u. s. f.

Bei der weiteren Durchführung ist nur zu beachten, dass diese Drucke nicht auf einerlei Grundlinie bezogen sind und man deshalb die erforderliche Verwandlung zuerst vornehmen muss. Dann aber liefert der Unterschied von je zweien derselben den Druck auf einen Wandstreifen in der zugehörigen Tiefe, z. B. $(P_1 - P_2)$ den Erddruck gegen das Wandelement A_1A_2 u. s. f.

Denkt man sich sodann diese, einander gleich laufenden Drucke alle in halber Höhe des ihnen zugehörigen Wandelementes wirkend, was zulässig ist, so lange nur die Höhe der Wandelemente nicht zu bedeutend angenommen wurde, so lässt sich mit Hilfe der Kräftegerade und eines Seilpolygons der Angriffspunkt des Erddruckes in einfacher Weise finden.

5. Stärke der Stütz- und Futtermauern. Die vorausgehenden Untersuchungen haben sich auf die Bestimmung des unter gewissen Umständen eintretenden Erddruckes gegen die Rückwand der stützenden Wände bezogen, es handelt sich nun weiter darum, die Stärke dieser Wände festzustellen; eine

schwierige Aufgabe, bei der es vor Allem darauf ankommt, die ungünstigsten Umstände zu ermitteln, unter welchen das Bauwerk aushalten muss mit Rücksicht auf die verschiedenen Beziehungen, unter welchen sich dessen Widerstandsfähigkeit äussert. Von der Besprechung der ersterwähnten ungünstigen Umstände soll zunächst noch abgesehen und der hierbei auftretende grösstmögliche Erddruck P_0 als bekannt vorausgesetzt werden.

Derselbe nimmt die Mauer auf verschiedene Weise in Anspruch, indem er dieselbe

1. im Ganzen oder auch theilweise umzuwerfen,
2. auf der untersten oder auch längs einer höher gelegenen Fugenfläche zu verschieben sucht, indem er bei nicht entsprechender Anordnung der Mauer im Inneren derselben
3. Zugspannungen, welche in Steinconstructionen nicht vorkommen sollen,
4. Pressungen, welche die Festigkeit des verwendeten Steinmaterials überschreiten, hervorruft.

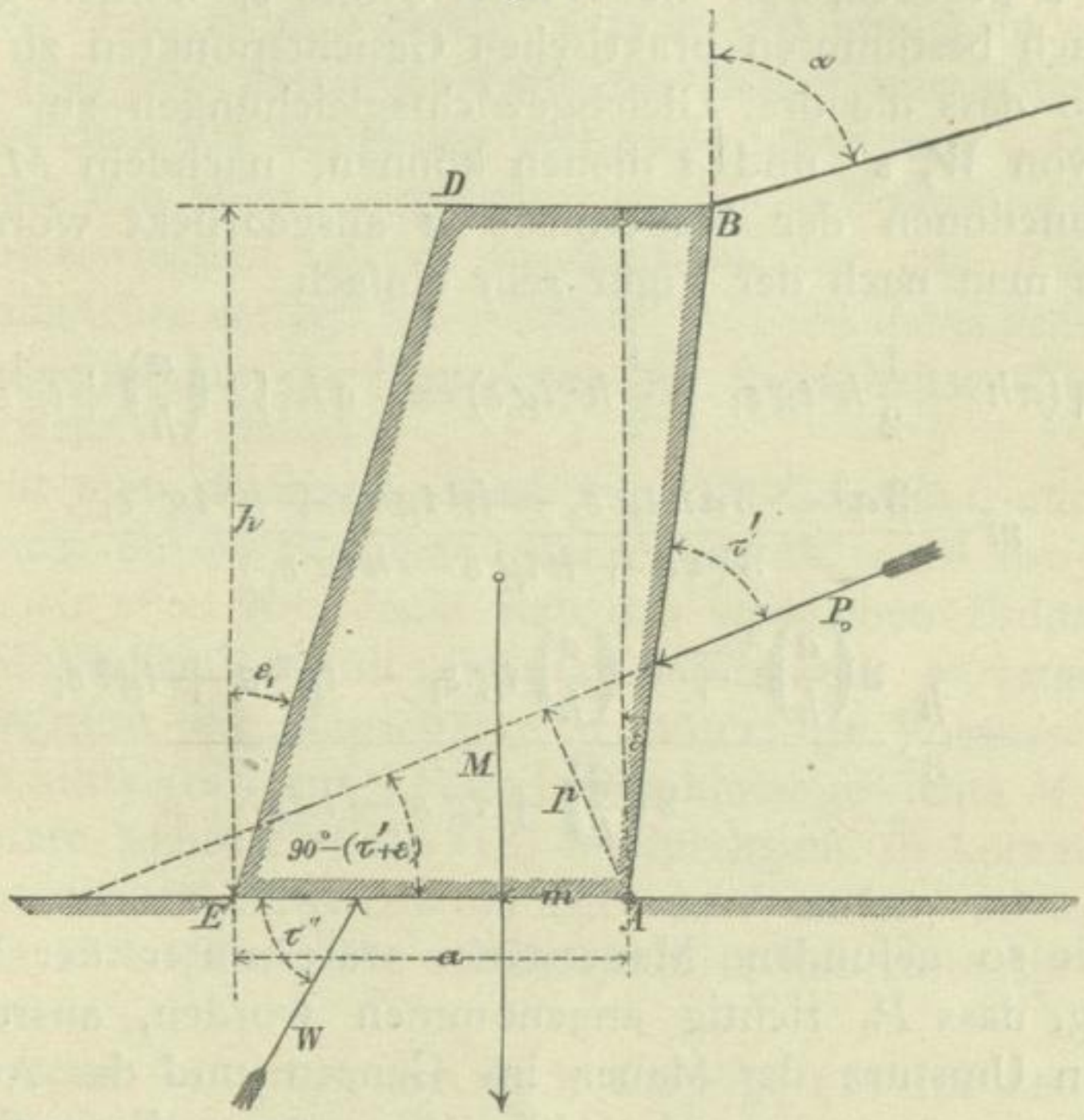
Der öfters eingehaltene Gang der Untersuchung ist nun der, dass man die Stärke der Mauer, deren Form im Allgemeinen feststeht, nach der unter 1 angegebenen Bedingung bestimmt, nämlich so, dass die Mauer nicht im Ganzen umgeworfen werden kann, und dann zusieht, ob durch die so gefundenen Werthe auch den übrigen Bedingungen entsprochen wird.

Sei also mit Bezug auf Fig. 117, wie bisher, ε der Winkel zwischen der Mauerrückwand und dem Loth, ε_1 derjenige der Vorderböschung mit der Lothrichtung. Der Winkel der Lagerfugen mit der Wagrechten, welcher in Wirklichkeit zwischen o und ε_1 liegt, werde erlaubter Weise gleich Null angenommen. h sei die lothrechte Höhe der Mauer und a deren wagrechte untere Dicke AE. Denkt man sich an Stelle des Mauerfundamentes eine Widerstandskraft W gesetzt, welche unter einem, noch unbekannten Winkel τ'' gegen die wagrechte Fugenrichtung geneigt ist, so gestaltet sich die Rechnung sehr einfach, indem sich der Umsturzwirkung von P_0 das Mauergewicht M und der Fundamentwiderstand W entgegensetzen.

Grösse, Richtung und Angriffspunkt der beiden ersten Kräfte sind als gegeben anzusehen, von der dritten Kraft W ist nur der Angriffspunkt insoferne als bekannt anzunehmen, als nach der dritten Bedingung Zugspannungen nicht auftreten sollen und daher W an der äusseren Grenze des mittleren Dritttheiles der Fugenfläche AE gedacht werden muss.

Der Gleichgewichtszustand der fraglichen Kräfte verlangt nun, dass die Summe ihrer Projectionen auf zwei, senkrecht

Fig. 117.



zu einander stehende Richtungen, und ebenso die Summe ihrer statischen Momente für einen beliebig zu wählenden Drehpunkt ihrer Ebene verschwinde. Wählt man als Projectionsachsen die Fugenrichtung AE und das Loth, so hat man zunächst:

$$P_o \cos[90^0 - (\tau' + \varepsilon)] - W \cos \tau'' = 0$$
$$P_o \sin[90^0 - (\tau' + \varepsilon)] + M - W \sin \tau'' = 0$$

oder für die gewöhnlich vorkommenden Werthe von τ' und ε

$$P_o \sin(\tau' + \varepsilon) - W \cos \tau'' = 0 \quad . \; . \; . \; (1$$
$$P_o \cos(\tau' + \varepsilon) + M - W \sin \tau'' = 0 \; . \; (2$$

und hierzu kommt für den beliebig zu wählenden Drehpunkt A als dritte Gleichung

$$P_o \cdot p + M \cdot m - W \sin \tau'' \cdot \frac{2}{3} a = 0 \quad . \; . \; . \; (3$$

wenn mit p und m die Hebelarme beziehungsweise von P_o und M bezeichnet werden.

P_o und p sind, wie schon wiederholt gesagt, als bekannt zu denken, ausserdem sind in einem vorgelegten Falle auch h und τ' gegeben, und die Winkel ε und ε_1 werden gewöhnlich nach bestimmten praktischen Gesichtspunkten zu wählen sein, so dass die drei Gleichgewichtsgleichungen zur Berechnung von W, τ'' und a dienen können, nachdem M und m als Functionen der Mauerdicke a ausgedrückt worden, für welche man nach der Figur sehr einfach

$$M = \mathfrak{q}\left(ah - \frac{1}{2} h^2 tg\,\varepsilon_1 + \frac{1}{2} h^2 tg\,\varepsilon\right) = \frac{1}{2} \mathfrak{q}\, h^2 \left[2\left(\frac{a}{h}\right) + tg\,\varepsilon - tg\,\varepsilon_1\right]$$

$$m = \frac{3a^2 - 3ah\,tg\,\varepsilon_1 - h^2 tg^2 \varepsilon + h^2 tg^2 \varepsilon_1}{3\,(2a + h\,tg\,\varepsilon - h\,tg\,\varepsilon_1)} =$$

$$= \frac{h}{3} \cdot \frac{3\left(\frac{a}{h}\right)^2 + 3\left(\frac{a}{h}\right) tg\,\varepsilon_1 - tg^2 \varepsilon + tg^2 \varepsilon_1}{2\left(\frac{a}{h}\right) + tg\,\varepsilon - tg\,\varepsilon_1}$$

erhält.

Die so gefundene Mauerstärke wäre unter der Voraussetzung, dass P_o richtig angenommen worden, ausreichend, um den Umsturz der Mauer im Ganzen und das Auftreten von Zugspannungen in der Höhe der unteren Fugenfläche zu verhüten; sie würde aber, wie man sich leicht überzeugen kann, unter gewöhnlichen Verhältnissen auch den übrigen, oben zusammengestellten Bedingungen entsprechen. Auf keinen Fall brauchte man zu fürchten, dass ein Umsturz oder eine Verschiebung in den oberen Theilen zu Stande käme, und es genügte etwa noch zuzusehen, ob der Winkel τ'' nicht kleiner als das Complement des Reibungswinkels des Steinmaterials wäre, weil dann selbst ohne Mörtel ein Gleiten der Steine auf einander nicht eintreten könnte.

Schwierig bleibt nun freilich die richtige Bestimmung von P_o, bei der man jedenfalls auf die Cohäsion nicht rechnen darf ($\gamma = 0$), für das Einheitsgewicht $\mathfrak{g}$ der Erde den grössten, je zu erwartenden Werth setzen und die schwersten Verkehrslasten, falls es sich um Stützmauern zur Seite einer Strasse oder Eisenbahn handelt, annehmen muss. Unumgänglich dabei wäre die Rücksichtnahme auf gute, unter ähnlichen Verhältnissen ausgeführte Bauwerke, welche sich schon längere Zeit hindurch bewährt haben.

Wie man sieht, handelt es sich, wie immer in solchen Fällen, um eine passende Wahl des Sicherheitscoëfficienten, durch welchen die Rechnung erst anwendbar wird. Da nun gerade bei den Stütz- und Futtermauern die Erfahrung besonders schwerwiegend ist, so empfiehlt es sich, die Rechnung selbst möglichst einfach zu gestalten und alle dabei gemachten Vernachlässigungen bei Annahme des Sicherheitscoëfficienten in Rücksicht zu ziehen.

Sieht man demnach, ausser von der Cohäsion, auch von der Reibung an der Rückwand der Mauer ab, setzt also neben $\gamma = 0$ auch $\tau' = 90^0$, denkt sich den wirklichen Erddruck P durch Multiplication mit einem Coëfficienten $\varkappa$ vergrössert und bestimmt die Mauerstärke a unter der Voraussetzung, dass die Mittelkraft aus $\varkappa P$ und dem Mauergewichte M durch die vordere Kante E (Fig. 118) hindurchgeht, so kommt man auch auf diesem Wege zu brauchbaren Werthen von a, wenn man nur $\varkappa$ mit Rücksicht auf ausgeführte Mauern entsprechend annimmt.

Zunächst hat man also nach der Fig. 118 für den Drehpunkt E die Momentengleichung

$$\varkappa P \,.\, p = M\,(a - m)$$

und hieraus für $\frac{a}{h} = x$, weil $p = r + a \sin \varepsilon$, sodann

$$M = \mathfrak{q}\left(a h + \frac{1}{2} h^2 \, tg \, \varepsilon - \frac{1}{2} h^2 \, tg \, \varepsilon_1\right)$$

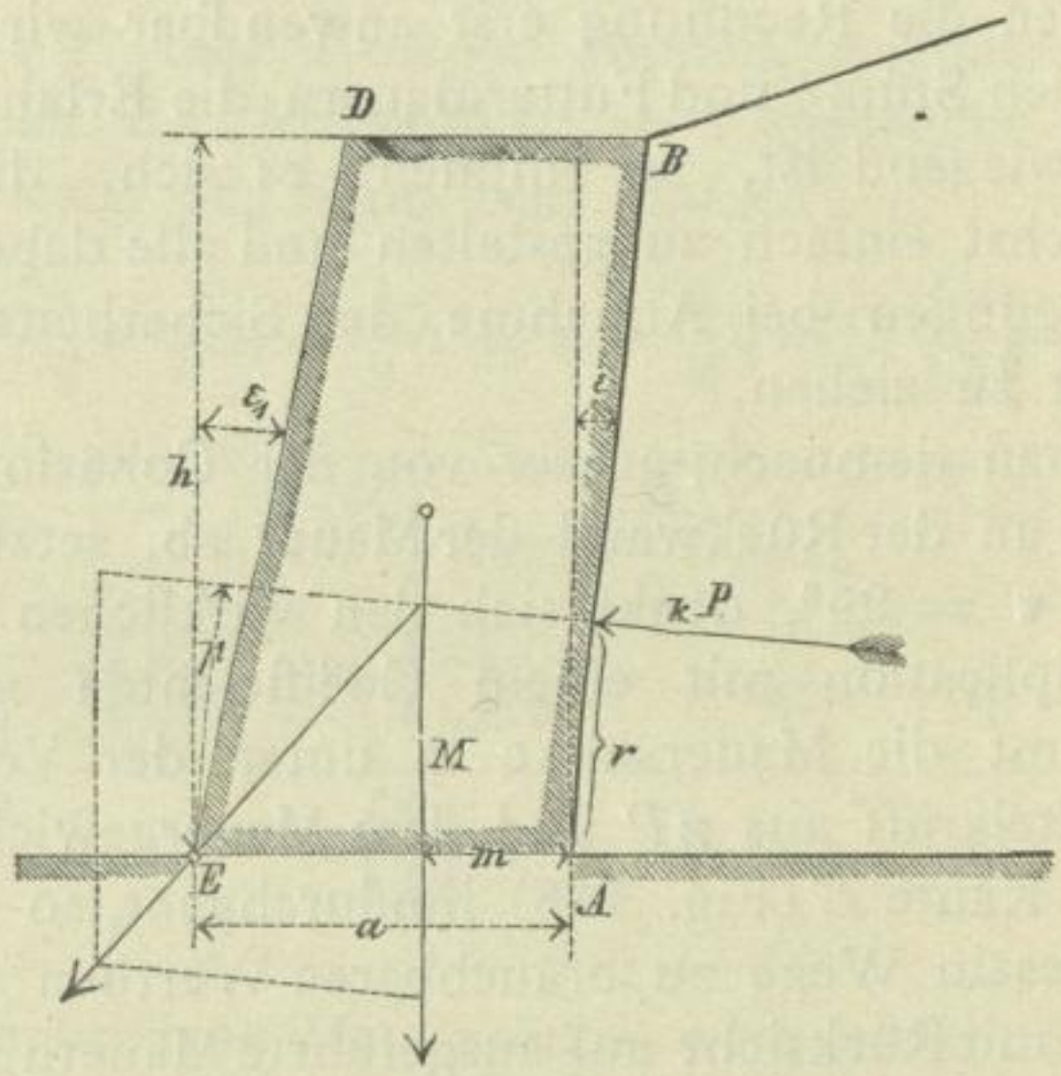
und $$(a - m) = \frac{3 a^2 + 3 a h \, tg \, \varepsilon + h^2 tg^2 \varepsilon - h^2 \, tg^2 \varepsilon_1}{3\,(2 a + h \, tg \, \varepsilon - h \, tg \, \varepsilon_1)}$$

stattfindet,

$$\varkappa P\left(\frac{r}{h}+x\sin\varepsilon\right)=\frac{1}{6}\mathfrak{q}h^2(3x^2+3x\,tg\,\varepsilon+tg^2\varepsilon-tg^2\varepsilon_1)$$

woraus x berechnet werden kann. Ausser den hier vorkommenden Grössen $\mathfrak{q}$, h, ε und ε_1, welche entweder gegeben sind oder angenommen werden, ist nach den früheren Entwickelungen der Werth von P zu entnehmen, r ist gleich dem dritten Theile der schiefen Wandhöhe AB und der Coëfficient $\varkappa$ wird nach Rebhann aus Gleichungen bestimmt, welche in Metermass umgesetzt, wie folgt lauten:

Fig. 118.



a) für Stützmauern bei gewöhnlichen Landstrassen

$$\varkappa=\frac{1}{9}\left(13+\frac{10}{h}\right)$$

für Stützmauern bei Eisenbahnen

$$\varkappa=\frac{1}{9}\left(17+\frac{20}{h}\right)$$

b) für Wandmauern $\varkappa=1{\cdot}25$.

Es ist im Vorausgehenden wiederholt gesagt worden, dass die Werthe von ε und ε_1 nach praktischen Gesichtspunkten zu wählen sind. Eine Erläuterung hierzu ist im ersten Theil „Unterbau" Nr. 2 zu finden.

Sehr empfehlenswerth ist es, für eine zu entwerfende Mauer die „Drucklinie", d. i. die Verbindungslinie aller Punkte zu zeichnen, in welchen die verschiedenen Lagerfugen von den Mittelkräften aus den betreffenden Erddrücken und den zugehörigen Mauergewichten getroffen werden, weil dieselbe ein deutliches Bild von den Spannungsverhältnissen in allen Theilen der Mauer giebt. Näher hierauf einzugehen, fehlt jedoch der Raum.

ZWEITER THEIL.

A. Oberbau.

Zu Nr. 5.

6. Ableitung des Winkler'schen Momentenwerthes Max. $\mathfrak{M} = 0{\cdot}189\ Pl$. Ein continuirlicher Träger, von welchem Fig. 119 einen Theil darstellt, sei gewichtslos und ruhe auf unendlich vielen, gleich hoch gelegenen, festen Stützpunkten, deren gegenseitige Abstände durchaus gleich l sind. Das Angriffsmoment für irgend eine Stelle, d. h. die Summe der statischen Momente aller links davon befindlichen äusseren Kräfte (Auflagerreactionen und Lasten) in Bezug auf einen Drehpunkt an dieser Stelle werde allgemein mit $\mathfrak{M}$ bezeichnet und die an den Auflagerstellen vorhandenen Momente, die Auflager- oder Stützenmomente, insbesondere mit $\mathfrak{M}$ und der betreffenden Stützennummer als Zeiger, so dass beispielsweise $\mathfrak{M}_\sigma$ das Angriffsmoment für die Stütze Nr. σ bedeutet.

Ruht auf diesem Träger eine einzige Last P zwischen den beiden Stützpunkten Nr. σ und $(\sigma + 1)$ im Abstande p von der ersteren, so ruft sie Auflagermomente von bestimmter Grösse hervor, welche nach dem Clapeyron'schen Verfahren gefunden werden können, und für welche sich allgemein folgende Sätze nachweisen lassen:

1. Die Auflagermomente des belasteten Feldes ($\mathfrak{M}_\sigma$ und $\mathfrak{M}_{\sigma+1}$) sind negativ, die übrigen Auflagermomente wechseln in ihren Vorzeichen regelmässig ab.

2. Von dem belasteten Feld aus nach beiden Seiten hin nimmt der absolute Werth der Auflagermomente beständig ab, und zwar erreicht jedes folgende Moment nicht mehr die Hälfte des ihm vorhergehenden.

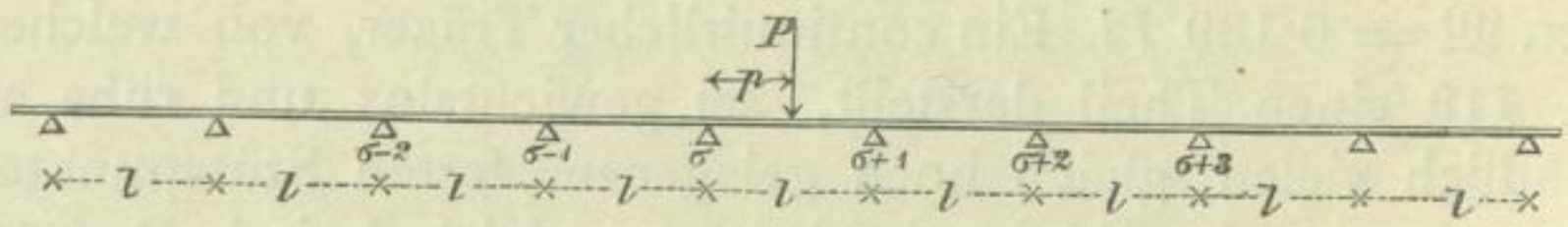
3. Bei unendlich vielen Stützpunkten ist das Verhältniss zweier auf einander folgender Stützenmomente ein unveränderliches, nämlich $\frac{1}{\xi} = \frac{1}{2+\sqrt{3}}$.

Mit Hilfe derselben findet man ohne grosse Schwierigkeit für die Auflagermomente des belasteten Feldes

$$\mathfrak{M}_\sigma = -\frac{Pp(l-p)}{2l^2}(l+p-p\sqrt{3})$$

$$\mathfrak{M}_{\sigma+1} = -\frac{Pp(l-p)}{2l^2}[l(2-\sqrt{3})+p(\sqrt{3}-1)]$$

Fig. 119.



und sodann die übrigen Auflagermomente, insbesondere

$$\mathfrak{M}_{\sigma-1} = -\frac{1}{\xi}\mathfrak{M}_\sigma \text{ und } \mathfrak{M}_{\sigma+2} = -\frac{1}{\xi}\mathfrak{M}_{\sigma+1}$$

Der Werth von $\mathfrak{M}_\sigma$ und $\mathfrak{M}_{\sigma+1}$ ändert sich mit der Lage der Last, und letzteres nimmt für $p = p_0 = 0{\cdot}61957\,l$ seinen grössten Werth

$$\mathfrak{M}_{\sigma+1} = -0{\cdot}08503\,Pl$$

an, während man für $p = \frac{l}{2}$

$$\mathfrak{M}_\sigma = \mathfrak{M}_{\sigma+1} = -0{\cdot}07925\,Pl$$

erhält. Ebenso findet man als Moment im Angriffspunkte der Last

$$\mathfrak{M}_p = +\frac{Pp(l-p)}{2l^3}[l^2+2p(l-p)(\sqrt{3}-1)]$$

welches für $p = \frac{l}{2}$ den besonders grossen Werth

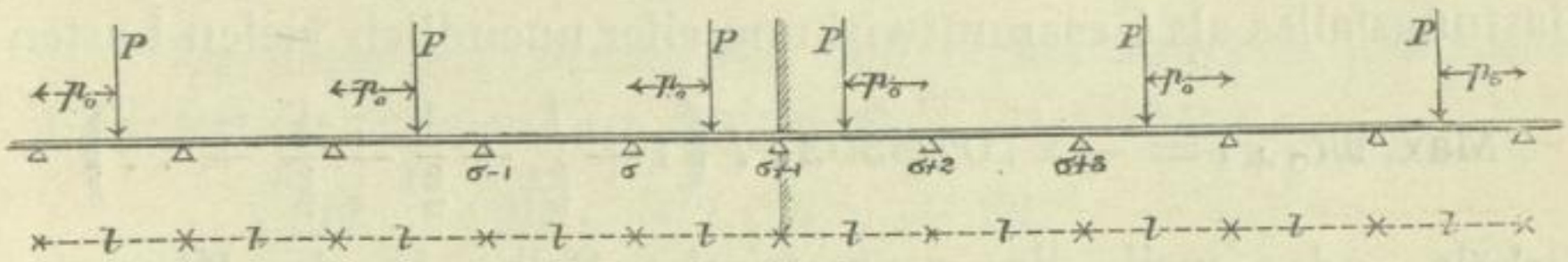
$$\mathfrak{M}_{\frac{l}{2}} = +0{\cdot}17075\,Pl$$

erreicht. In der Mitte irgend eines unbelasteten Feldes endlich entsteht ein Angriffsmoment, gleich dem arithmetischen Mittel aus den beiden ihm zugehörigen Stützenmomenten, z. B. in der Mitte des Feldes $(\sigma - 2)$ . . . $(\sigma - 1)$

$$\mathfrak{M}_{\frac{l}{2}} = \frac{1}{2}(\mathfrak{M}_{\sigma-2} + \mathfrak{M}_{\sigma-1})$$

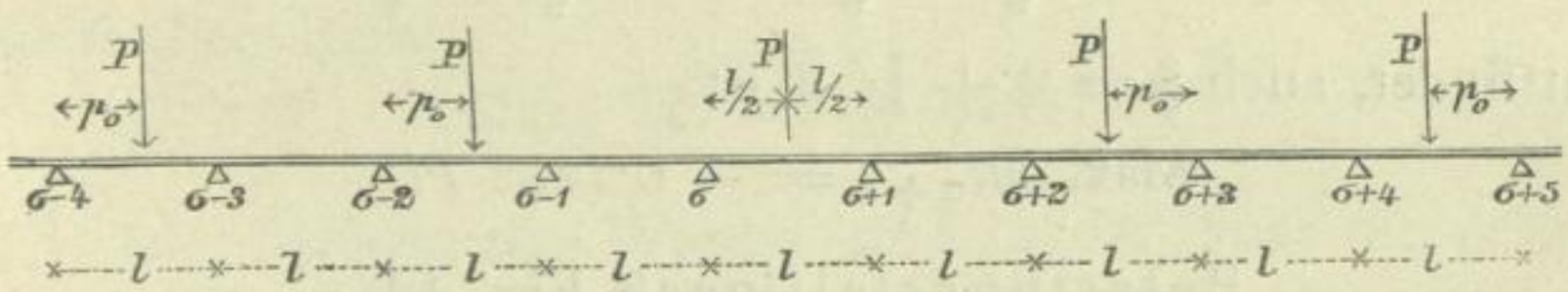
Wirft man jetzt die Frage auf, wie gross das Angriffsmoment an dem vorliegenden Träger werden kann, wenn beliebig viele, gleich grosse Lasten (P) in der denkbar ungünstigsten

Fig. 120.



Zusammenstellung auf demselben ruhend gedacht werden, unter der einzigen Beschränkung, dass auf der Strecke

Fig. 121.



zwischen zwei benachbarten Stützpunkten nicht mehr als eine Last vorhanden sein darf, so kann man zunächst festhalten, dass dieses grösstmögliche Moment entweder an einer Stütze oder an dem Angriffspunkte einer Last zu erwarten ist. Im ersten Falle ist, wie leicht zu erkennen, die in Fig. 120 dargestellte Lastenanordnung die ungünstigste, und bei der Belastung nach Fig. 121 erhält man offenbar ein besonders grosses Angriffsmoment zwischen zwei Auflagerpunkten.

In beiden Fällen kann die Gesammtwirkung aller Lasten mit Hilfe der oben zusammengestellten Formeln leicht berechnet werden:

Belastung nach Fig. 120.

Jede der beiden, neben der Stütze Nr. $(\sigma + 1)$ ruhenden Lasten liefert für sich ein Stützenmoment

$$\mathfrak{M}'_{\sigma+1} = -\ 0{\cdot}08503\ Pl,$$

die zwischen den Stützen Nr. $(\sigma - 2)$ und $(\sigma - 1)$ befindliche Last für sich

$$\mathfrak{M}''_{\sigma+1} = -\ \frac{1}{\xi^2} \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl$$

die nächste Last links

$$\mathfrak{M}'''_{\sigma+1} = -\ \frac{1}{\xi^4} \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl \text{ u. s. w.}$$

so dass man wegen der symmetrischen Anordnung des Belastungsfalles als Gesammtwirkung aller unendlich vielen Lasten

$$\text{Max. } \mathfrak{M}_{\sigma+1} = -\ 2 \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl \left(1 + \frac{1}{\xi^2} + \frac{1}{\xi^4} + \frac{1}{\xi^6} + \,..\right)$$

erhält, oder, weil die geometrische Reihe in der Klammer unendlich viele Glieder besitzt, $\frac{1}{\xi^2} < 1$ und in Folge dessen

$$1 + \frac{1}{\xi^2} + \frac{1}{\xi^4} + \,.. = \frac{\xi^2}{\xi^2 - 1}$$

stattfindet, auch $\xi = 2 + \sqrt{3}$ ist

$$\text{Max. } \mathfrak{M}_{\sigma+1} = -\ 0{\cdot}1832\ Pl.$$

Belastungsfall nach Fig. 121.

Aehnlich stellt sich die Rechnung für den anderen Belastungsfall.

Die in der Feldmitte angebrachte Last liefert allein für sich in diesem Querschnitte das Moment

$$\mathfrak{M}'_{\frac{l}{2}} = +\ 0{\cdot}17075\ Pl,$$

die nächste, links ruhende Last die Momentenwerthe

$$\mathfrak{M}''_{\sigma} = +\ \frac{1}{\xi} \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl$$

und

$$\mathfrak{M}''_{\sigma+1} = -\ \frac{1}{\xi^2} \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl,$$

folglich im betrachteten Querschnitte den Werth

$$\mathfrak{M}''_{\frac{l}{2}} = \frac{1}{2\,\xi}\left(1 - \frac{1}{\xi}\right) 0{\cdot}08503\ Pl.$$

In gleicher Weise erzeugt die zwischen $(\sigma - 4)$ und $(\sigma - 3)$ angebrachte Last die Momente

$$\mathfrak{M}'''_{\sigma} = + \frac{1}{\xi^3} \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl$$

und $$\mathfrak{M}'''_{\sigma+1} = - \frac{1}{\xi^4} \,.\, 0{\cdot}08503\ Pl,$$

daher $$\mathfrak{M}'''_{\frac{l}{2}} = \frac{1}{2\,\xi^3}\left(1 - \frac{1}{\xi}\right) 0{\cdot}08503\ Pl \text{ u. s. w.}$$

Da dieselben Beträge von den rechts angebrachten Lasten beigesteuert werden, so ergiebt sich im Ganzen

$$\mathfrak{M}_{\frac{l}{2}} = \mathfrak{M}'_{\frac{l}{2}} + 2\,(\mathfrak{M}''_{\frac{l}{2}} + \mathfrak{M}'''_{\frac{l}{2}} + \ldots) =$$

$$= 0{\cdot}17075\ Pl + \frac{1}{\xi}\left(1 - \frac{1}{\xi}\right) 0{\cdot}08503\ Pl\left(1 + \frac{1}{\xi^2} + \frac{1}{\xi^4} + \ldots\right)$$

und für $\xi = 2 + \sqrt{3}$, sowie den Summenwerth der geometrischen Reihe

$$\text{Max. } \mathfrak{M}_{\frac{l}{2}} = + 0{\cdot}1887\ Pl$$

Die berechneten Werthe sind in der That die grössten, an einem Auflagerpunkt oder in der Mitte eines Feldes zu erzielenden Angriffsmomente, weil jede neu hinzukommende Last, die nur in einem der bisher freigelassenen Felder ihren Platz finden könnte, unbedingt zur Verkleinerung der gefundenen Werthe beitragen müsste. Beispielsweise würde eine in Fig. 121 zwischen den Stützen Nr. $(\sigma - 3)$ und $(\sigma - 2)$ aufgestellte Last ein negatives $\mathfrak{M}_{\sigma}$ und ein positives $\mathfrak{M}_{\sigma+1}$ erzeugen, jenes zugleich grösser wie dieses, so dass die halbe Summe beider negativ ausfallen würde.

Das unter den bekannten Voraussetzungen unbedingt grösstmögliche Moment ist folglich in der Feldmitte zu erwarten und es beträgt

$$\text{Max. } \mathfrak{M} = 0{\cdot}189\ Pl.$$

7. Bestimmung des Trägheitsmomentes Θ_0 und der Grössen m und n für einen Schienenquerschnitt. Da die Nullachse (neutrale Achse) durch den Schwerpunkt der Querschnittsfläche geht, so bedeuten m und n (Fig. 122) die Abstände dieses Punktes von der Unterfläche des Fusses, beziehungsweise von der Oberfläche des Schienenkopfes, und da $m = \frac{\mathfrak{S}}{F}$ gilt, wenn $\mathfrak{S}$ das statische Moment der Querschnittsfläche, auf die untere Fusslinie bezogen, und F der Inhalt dieser Fläche ist, so handelt es sich darum, anzugeben, auf welche Weise am besten F, $\mathfrak{S}$ und Θ_0 für einen Schienenquerschnitt gefunden werden kann, wenn dessen Umfangslinie unzweideutig bestimmt ist.

Fig. 122.

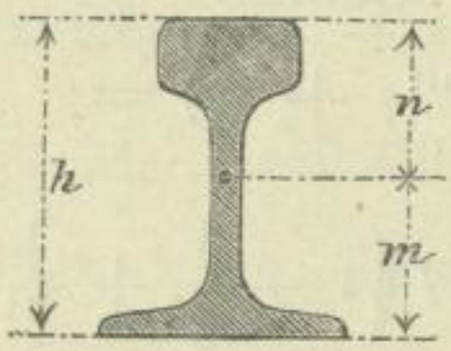
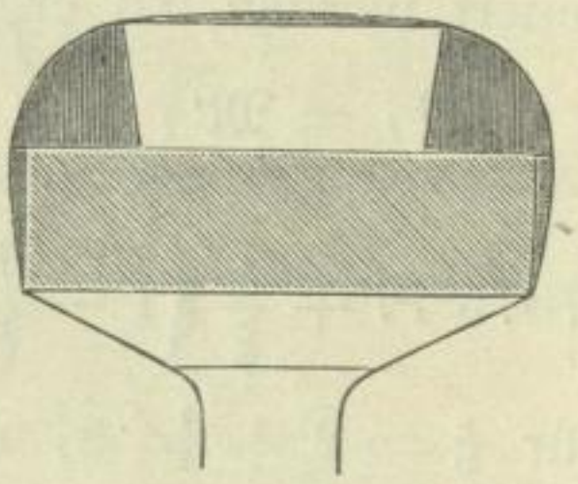


Fig. 123.



Es sind mehrere Verfahrungsweisen im Gebrauch. Die einfachste besteht darin, die zu behandelnde Figur etwa in wirklicher Grösse zu zeichnen und ihre Umfangslinie mit dem Fahrstift eines Momentenplanimeters von Amsler zu durchlaufen. Drei Ablesungen an eben so vielen Laufrollen ergeben die gewünschten Grössen unmittelbar oder mit Hilfe einfacher mathematischer Beziehungen, die vom Lieferanten für jedes Instrument besonders angegeben werden. [1])

Nach einem anderen, besonders früher öfters benützten Verfahren zerlegt man die zu untersuchende Fläche nach Fig. 123 in lauter Theile von mathematisch genau bestimmter

---

[1]) Amsler, Ueber die mechanische Bestimmung des Flächeninhaltes, statischen Moments und Trägheitsmoments ebener Figuren. Schaffhausen 1856. Sodann unter Anderem: Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1870, S. 25.

Form, wie Kreis- und Parabelabschnitte, Kreisausschnitte, Trapeze, Rechtecke u. a., deren Inhalt und verschiedene Momente, letztere alle auf die Schienenbasis als Achse bezogen, aus bekannten mathematischen Ausdrücken mit beliebiger Genauigkeit berechnet werden können. Die Summe dieser Einzelgrössen liefert für den Schienenquerschnitt den Flächeninhalt F, das statische Moment $\mathfrak{S}$ für die Fussunterfläche und das Trägheitsmoment Θ, vorerst ebenfalls auf die Fusslinie bezogen, woraus dann nach einem bekannten Satz der Mechanik

$$\Theta_0 = \Theta - F \,.\, m^2 = \Theta - \frac{\mathfrak{S}^2}{F}$$

folgt, während $m = \frac{\mathfrak{S}}{F}$ und $n = h - m$ ist.

Das eben beschriebene Verfahren lässt sich zweckentsprechend vereinfachen, wenn man die Genauigkeit nicht weiter

Fig. 124.

treibt, als es in den hier einschlägigen Fällen erforderlich ist. Der Ausdruck für das Trägheitsmoment irgend eines Flächenstückes in Bezug auf eine, ausserhalb desselben gelegene Achse setzt sich aus zwei Theilen zusammen. Ist nämlich nach Fig. 124 Θ das gewünschte Trägheitsmoment der Figur für die Achse XX und Θ_0 das Trägheitsmoment derselben Figur für eine, durch ihren Schwerpunkt im Abstande a, gleichlaufend mit jener gezogene Achse, so findet statt

$$\Theta = \Theta_0 + F \,.\, a^2$$

Das Θ_0 ist nun bei mehreren der Flächenstücke, in welche der ganze Schienenquerschnitt zerlegt wurde, dem Gliede Fa^2 gegenüber so klein, dass man es vernachlässigen und einfach

$$\Theta = F \,.\, a^2 = \frac{\mathfrak{S}^2}{F}$$

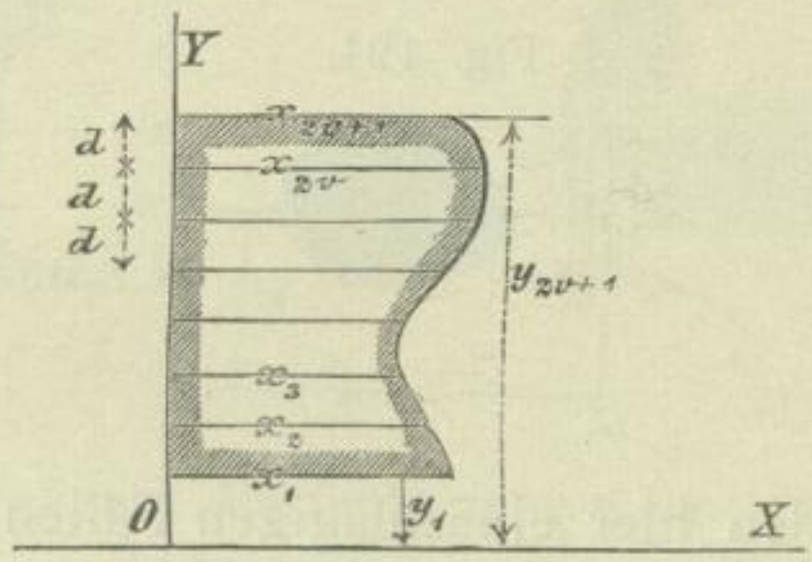
setzen kann.

Ist dies bei anderen Theilfiguren nicht mehr zulässig, so genügt es wenigstens

$$\Theta_0 = \frac{1}{12} F \cdot h^2$$

anzunehmen, eine Gleichung, welche nur für das Rechteck streng richtig ist, deren allgemeinere Verwendung in mehreren Fällen jedoch unbedenklich ist. Dasselbe gilt für die Annahme, der Schwerpunkt jener Trapeze, deren Parallelseiten mit dem Schienenfuss gleichlaufen, liege in halber Höhe derselben. Ja, es ist auch noch zulässig, die kleinen Ausrundungskreise in den Ecken des Profils, welche die Berechnung wesentlich erschweren, ganz wegzulassen und die Breiten- und Höhenmasse der Einzelfiguren, wie auch die Abstände ihrer Schwerpunkte

Fig. 125.



von dem Schienenfuss, in Centimeter ausgedrückt, nur auf drei Decimalen festzustellen.[1])

Wieder ein anderes Verfahren zur Untersuchung der Schienenquerschnitte gründet sich auf die Simpson'sche Regel. Handelt es sich nämlich um ein Flächenstück, welches nach Fig. 125 durch die Y-Achse, durch Parallele zur X-Achse, im Uebrigen aber ganz willkürlich begrenzt ist, und zerlegt man dasselbe durch Gerade, gleichlaufend mit X in eine gerade Anzahl Schichten von gleicher Höhe, so findet man den Flächeninhalt, ihr statisches Moment und Trägheitsmoment für die X-Achse aus den Gleichungen

---

[1]) Wochenblatt für Baukunde 1885, Nr. 83, S. 414: Genauigkeit bei der Untersuchung von Schienenprofilen.

$$F = \frac{d}{3}\left[x_1 + x_{2\nu+1} + 4 . \sum_{2}^{2\nu} x + 2 . \sum_{3}^{2\nu-1} x\right]$$

$$\mathfrak{S} = \frac{d}{3}\left[x_1 y_1 + x_{2\nu+1} \cdot y_{2\nu+1} + 4 . \sum_{2}^{2\nu} xy + 2 . \sum_{3}^{2\nu-1} xy\right]$$

$$\Theta = \frac{d}{3}\left[x_1 y_1^2 + x_{2\nu+1} \cdot y_{2\nu+1}^2 + 4 . \sum_{2}^{2\nu} xy^2 + 2 . \sum_{3}^{2\nu-1} xy^2\right]$$

um so genauer, je kleiner d, das heisst je niedriger die Schichten gewählt werden. Ueber die Anwendung dieser Regel zur Untersuchung des Schienenquerschnittes ist nur noch zu sagen, dass man zweckmässigerweise das an der Kopfoberfläche entstehende flache Segment abtrennt und für sich berechnet, sodann Kopf, Steg und Fuss, jeden für sich, nach den vorstehenden Gleichungen behandelt, da im Kopf und Fuss der schärferen Krümmungen wegen niedrigere Schichten gewählt werden müssen als in dem langgestreckten Steg.

Will man die in Rede stehende Aufgabe durch reine Zeichnung lösen, so empfiehlt sich besonders das zuerst von Mohr angegebene Verfahren:

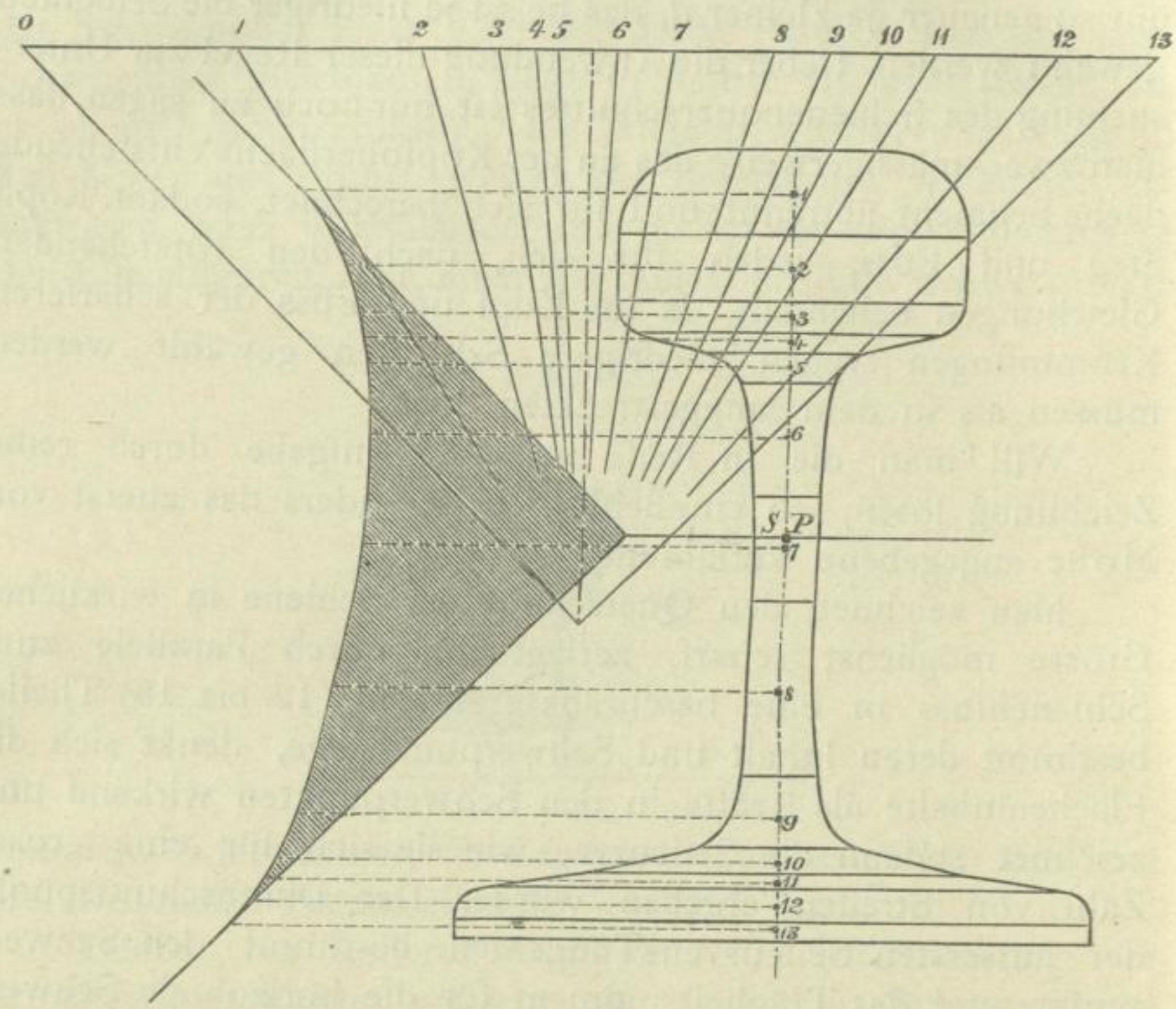
Man zeichnet den Querschnitt der Schiene in wirklicher Grösse möglichst scharf, zerlegt ihn durch Parallele zum Schienenfuss in eine beschränkte Anzahl (12 bis 15) Theile, bestimmt deren Inhalt und Schwerpunktslage, denkt sich die Flächeninhalte als Kräfte in den Schwerpunkten wirkend und zeichnet sodann die Seilcurve, wie sie sich für eine grosse Zahl von Streifen ergeben würde. Der Durchschnittspunkt der äussersten Seilcurven-Tangenten bestimmt den Schwerpunkt, und das Trägheitsmoment für die horizontale Schwerpunktsachse ist gleich dem Product aus dem doppelten Polabstand und dem Inhalt der Fläche, welche von den äussersten Berührenden der Seilcurve und dieser selbst eingeschlossen ist und mit Hilfe eines Planimeters berechnet wird.

In Fig. 126 ist dieses Verfahren durchgeführt, wobei der Polabstand gleich der halben Höhe der Kräftegeraden angenommen ist, so dass der doppelte Abstand den Inhalt des Schienenquerschnittes darstellt.

8. Die Clapeyron'schen Gleichungen bei elastisch verdrückbaren Stützpunkten. Für zwei auf einander fol-

gende Felder eines continuirlichen Trägers, welche die Längen $l_{\rho-1}$ und l_ρ haben, auf drei festen, um $c_{\rho-1}$, c_ρ und $c_{\rho+1}$ unter der Wagrechten gelegenen Stützpunkten aufruhen und durch die beiden Lasten P und Q belastet sind, gilt mit Bezug auf Fig. 127 die allgemeine Gleichung

Fig. 126.



$$\mathfrak{M}_{\rho-1} \cdot l_{\rho-1} + 2\,\mathfrak{M}_\rho\,(l_{\rho-1} + l_\rho) + \mathfrak{M}_{\rho+1} \cdot l_\rho =$$

$$= 6\,\varepsilon\,\Theta_0 \left[\frac{c_{\rho+1} - c_\rho}{l_\rho} + \frac{c_{\rho-1} - c_\rho}{l_{\rho-1}}\right] -$$

$$- \frac{1}{l_{\rho-1}} \cdot Pp(l_{\rho-1} - p)(l_{\rho-1} + p) - \frac{1}{l_\rho} Qq\,(l_\rho - q)(2\,l_\rho - q) \ldots (1$$

worin $\mathfrak{M}_{\rho-1}$, $\mathfrak{M}_\rho$, $\mathfrak{M}_{\rho+1}$ die Angriffsmomente der äusseren Kräfte für die Stützpunkte (Auflager- oder Stützenmomente), ε den Elasticitätsmodul des Trägermaterials und Θ_0 das Träg-

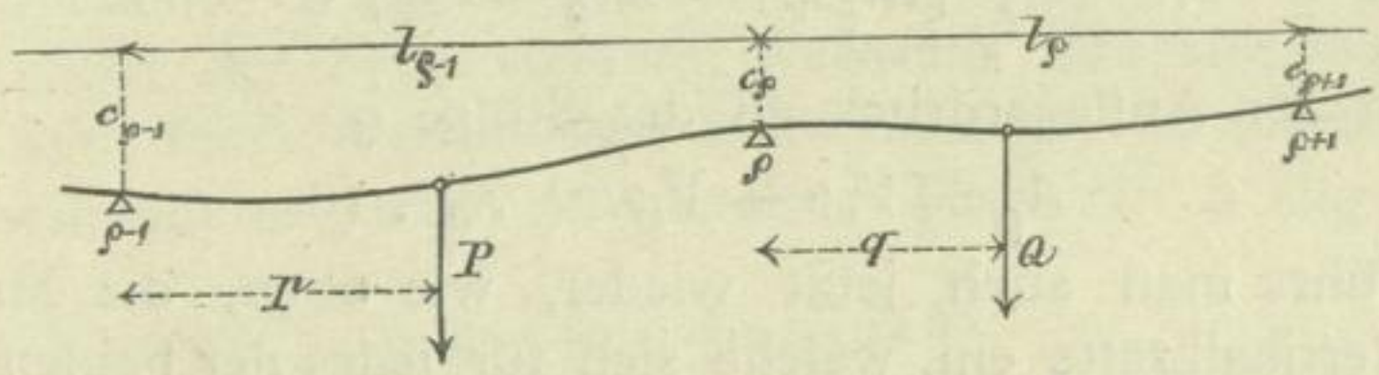
heitsmoment des Balkenquerschnittes für die, durch seinen Schwerpunkt senkrecht zur lothrechten Kraftebene gehenden Nullachse vorstellt. (Bresse, Cours de Mécanique appliquée, III Part., Paris 1865, pag. 12. Weyrauch, Allgemeine Theorie und Berechnung der continuirlichen und einfachen Träger, Leipzig 1873.)

Führt man in diese Gleichung die Auflagermomente, welche sich für jedes der beiden Trägerstücke bei der oben vorausgesetzten Belastung, jedoch unter der besonderen Voraussetzung ergeben, dass dieselben an ihren beiden Enden horizontal eingeklemmt sind, mit

$(\mathfrak{M})_o{}^{\rho-1}$ und $(\mathfrak{M})_l{}^{\rho-1}$, beziehungsweise $(\mathfrak{M})_o{}^{\rho}$ und $(\mathfrak{M})_l$

ein, nachdem allgemein für eine Strecke l_μ zwischen den Stützen $(\mu-1)$ und μ für wagrechte Einklemmung der Enden

Fig. 127.



$$(\mathfrak{M})_o{}^{\mu} = -\frac{Pp\,(l_\mu - p)^2}{l_\mu{}^2} \text{ und } (\mathfrak{M})_l{}^{\mu} = -\frac{Pp^2\,(l_\mu - p)}{l_\mu{}^2} \quad \ldots (2$$

gilt, so erhält man die ursprüngliche Gleichung in folgender anderen Form:

$$\mathfrak{M}_{\rho-1} \cdot l_{\rho-1} + 2\,\mathfrak{M}_\rho\,(l_{\rho-1} + l_\rho) + \mathfrak{M}_{\rho+1} \cdot l_\rho =$$

$$= 6\,\varepsilon\,\Theta_o \left[\frac{c_{\rho+1} - c_\rho}{l_\rho} + \frac{c_{\rho-1} - c_\rho}{l_{\rho-1}}\right] + l_{\rho-1}\,(\mathfrak{M})_o{}^{\rho-1} +$$

$$+ 2\,l_{\rho-1}\,(\mathfrak{M})_l{}^{\rho-1} + 2\,l_\rho\,(\mathfrak{M})_o{}^{\rho} + l_\rho\,(\mathfrak{M})_l{}^{\rho} \quad \ldots (3$$

aus welcher für einen, auf $(\nu + 1)$ festgegebenen Stützen ruhenden, mit seinen beiden Enden frei aufliegenden Träger eine Reihe von $(\nu - 1)$ Gleichungen zur Bestimmung von $(\nu + 1 - 2)$ unbekannten Stützenmomenten abgeleitet wird, indem man dem Zeiger ρ fortlaufend die Werthe von 2 bis ν beilegt. Sind diese Stützenmomente gefunden, so kann man auch Angriffsmoment und Vertikalkraft (Vertikale Schubkraft)

für jede Stelle, sowie die verschiedenen Auflagerdrucke angeben. Es ist nämlich das Angriffsmoment an beliebiger Stelle zwischen der Stütze Nr. ϱ und dem Angriffspunkt C der Last Q

$$\mathfrak{M}_x = \mathfrak{M}_\varrho \left(1 - \frac{x}{l_\varrho}\right) + \mathfrak{M}_{\varrho+1} \cdot \frac{x}{l_\varrho} + \frac{x}{l_\varrho} \cdot Q(l_\varrho - q) \quad . \quad . \quad . \quad (4$$

und für jeden Querschnitt rechts von C

$$\mathfrak{M}_x' = \mathfrak{M}_\varrho \left(1 - \frac{x}{l_\varrho}\right) + \mathfrak{M}_{\varrho+1} \cdot \frac{x}{l_\varrho} + \frac{x}{l_\varrho} \cdot Q(l_o - q) - \\ - Q(x - q) \quad . \quad . \quad . \quad (5$$

sodann die Vertikalkraft zwischen Stütze ϱ und dem Angriffspunkte C

$$V_o{}^\varrho = \frac{1}{l_\varrho} [\mathfrak{M}_{\varrho+1} - \mathfrak{M}_\varrho + Q(l_\varrho - q)] \quad . \quad . \quad . \quad (6$$

und zwischen C und $(\varrho + 1)$

$$V_l{}^\varrho = \frac{1}{l_\varrho} [\mathfrak{M}_{\varrho+1} - \mathfrak{M}_\varrho - Qq] \quad . \quad . \quad . \quad (7$$

endlich der Auflagerdruck an der Stütze ϱ

$$A_\varrho = V_o{}^\varrho - V_l{}^{\varrho-1} \quad . \quad . \quad . \quad (8$$

Führt man auch jetzt wieder, wie oben, die Momente und Vertikalkräfte ein, welche sich für jedes der beiden Felder $l_{\varrho-1}$ und l_ϱ bei wagrechter Einklemmung ihrer Enden an den Einklemmungsstellen ergeben, also neben $(\mathfrak{M})_o{}^{\varrho-1}$, $(\mathfrak{M})_l{}^{\varrho-1}$.. auch die Vertikalkraft an der rechtseitigen Einklemmungsstelle des Feldes $l_{\varrho-1}$

$$(V)_l{}^{\varrho-1} = -\frac{1}{l^3_{\varrho-1}} Pp^2 (3\, l_{\varrho-1} - 2p) \quad . \quad . \quad . \quad (9$$

und die Vertikalkraft an der linksseitigen Einklemmungsstelle des Feldes l_o

$$(V)_o{}^\varrho = + \frac{1}{l_\varrho{}^3} Q(l_\varrho - q)^2 (l_\varrho + 2q) \quad . \quad . \quad . \quad (10$$

so erhält man für die Gleichung (8) die folgende andere

$$A_\varrho = \frac{1}{l_\varrho} (\mathfrak{M}_{\varrho+1} - \mathfrak{M}_\varrho) - \frac{1}{l_{\varrho-1}} (\mathfrak{M}_\varrho - \mathfrak{M}_{\varrho-1}) + (V)_o{}^\varrho - (V)_l{}^{\varrho-1} - \\ - \frac{1}{l_\varrho} [(\mathfrak{M})_l{}^\varrho - (\mathfrak{M})_o{}^\varrho] + \frac{1}{l_{\varrho-1}} [(\mathfrak{M})_l{}^{\varrho-1} - (\mathfrak{M})_o{}^{\varrho-1}] \quad . \quad . \quad . \quad (11$$

Haben die beiden Felder gleiche Länge $l_{\rho-1} = l_\rho = l$, so vereinfachen sich sämmtliche Gleichungen. Man hat statt der Gleichung (3) die folgende

$$\mathfrak{M}_{\rho-1} + 4\mathfrak{M}_\rho + \mathfrak{M}_{\rho+1} = \frac{6\varepsilon\,\Theta_o}{l^2}(c_{\rho-1} - 2c_\rho + c_{\rho+1}) + \mathfrak{N}'_{\rho-1} + \mathfrak{N}_\rho \;..\; (3a$$

nachdem noch die allgemeinen Bezeichnungen

$$2(\mathfrak{M})_o^\mu + (\mathfrak{M})_l^\mu = \mathfrak{N}_\mu \quad \text{und} \quad (\mathfrak{M})_o^\mu + 2(\mathfrak{M})_l^\mu = \mathfrak{N}'_\mu \;..\; (12$$

eingesetzt worden sind, und weiter mit den Bezeichnungen

$$(V)_o^\rho - (V)_l^{\rho-1} = D_\rho \;..\; (13$$

$$[(\mathfrak{M})_l^\rho - (\mathfrak{M})_o^\rho] - [(\mathfrak{M})_l^{\rho-1} - (\mathfrak{M})_o^{\rho-1}] = \mathfrak{D}_\rho \;..\; (14$$

$$A_\rho = \frac{1}{l}[\mathfrak{M}_{\rho-1} - 2\mathfrak{M}_\rho + \mathfrak{M}_{\rho+1}] + D_\rho - \frac{1}{l}\mathfrak{D}_\rho \;..\; (11a$$

Bisher wurde vorausgesetzt, die Stützpunkte, wenn auch in verschiedener Höhenlage, seien unveränderlich gegeben. Ist dies nicht der Fall, sondern wechseln ihre Höhenunterschiede mit dem Werthe der Stützendrucke, so muss nach den Auseinandersetzungen im zweiten Theil Nr. 5 allgemein

$$-c_\mu = \frac{1}{f} \cdot A_\mu \;..\; (15$$

gesetzt werden, wobei $\frac{1}{f}$ einen Erfahrungscoëfficient, A_μ aber den durch Gleichung 11 oder 11a bestimmten Auflagerdruck bezeichnet.

Hiermit erhält man, wenn durchaus gleiche Feldweiten l vorausgesetzt werden, die Grundgleichung

$$\beta\,\mathfrak{M}_{\rho-1} + \gamma\,\mathfrak{M}_\rho + \beta\,\mathfrak{M}_{\rho+1} + \alpha\,\mathfrak{M}_{\rho-2} + \alpha\,\mathfrak{M}_{\rho+2} = \mathfrak{R}_{\rho-1} \;..\; (16$$

in welcher

$$\alpha = \frac{6\varepsilon\,\Theta_o}{f\,l^3} \;..\; (17$$

$$\beta = 1 - 4\alpha, \qquad \gamma = 4 + 6\alpha \;..\; (18$$

$$\mathfrak{R}_{\rho-1} = -\alpha[l(D_{\rho-1} - 2D_\rho + D_{\rho+1}) - (\mathfrak{D}_{\rho-1} - 2\mathfrak{D}_\rho + \mathfrak{D}_{\rho+1})] + \\ + \mathfrak{N}'_{\rho-1} + \mathfrak{N}_\rho \;..\; (19$$

bedeuten, aus welcher sich dann wieder für alle Werthe von ρ zwischen 2 und ν die Gleichungen

$$\left.\begin{array}{l}\gamma\mathfrak{M}_2+\beta\mathfrak{M}_3 \qquad\qquad +\alpha\mathfrak{M}_4=\mathfrak{R}_1\\ \beta\mathfrak{M}_2+\gamma\mathfrak{M}_3+\beta\mathfrak{M}_4 \qquad\qquad +\alpha\mathfrak{M}_5=\mathfrak{R}_2\\ \beta\mathfrak{M}_3+\gamma\mathfrak{M}_4+\beta\mathfrak{M}_5+\alpha\mathfrak{M}_2+\alpha\mathfrak{M}_6=\mathfrak{R}_3\\ \beta\mathfrak{M}_4+\gamma\mathfrak{M}_5+\beta\mathfrak{M}_6+\alpha\mathfrak{M}_3+\alpha\mathfrak{M}_7=\mathfrak{R}_4\end{array}\right\} \quad \ldots (20$$

. . . . . .

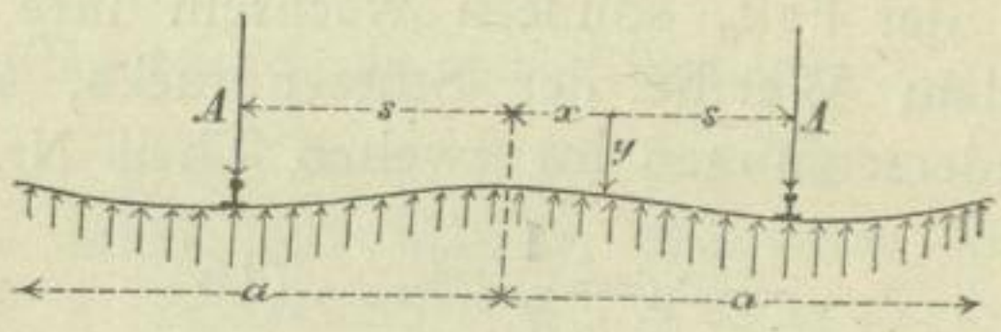
ergeben, welche die $(\nu - 1)$ unbekannten Stützenmomente liefern sollen. [1])

Zu Nr. 8.

9. Druck der Querschwellen auf die Bettung. Wären die Schwellen vollkommen starr, so würde sich eine gleichmässige Vertheilung des Druckes über den Bettungskörper ergeben, für die Flächeneinheit

$$\pi = \frac{2A}{F} \quad \ldots . (1$$

Fig. 128.



wenn $2A$ die auf eine Schwelle treffende Last und F den Inhalt ihrer Grundfläche bedeutet.

Da diese Starrheit nicht vorhanden ist, die Schwellen vielmehr unter der Belastung eine Formänderung, wie die Fig. 128 zeigt, erleiden, so kommt auch die gleichmässige Vertheilung des Druckes nicht zu Stande, sondern derselbe wird am stärksten lothrecht unter den Schienensträngen und nimmt von da nach beiden Seiten hin allmählich ab. Zur Zeit ist es noch üblich, den an irgend einer Stelle herrschenden Druck unter der Voraussetzung zu berechnen, derselbe sei der, ebenda erfolgenden Eindrückung der Schwellen in die elastisch gedachte Unterlage proportional. Winkler hat diese

---

[1]) Siehe noch: Zur Frage der Betriebssicherheit der Eisenbahngleise etc. im Organ f. d. F. d. E. 1883, sowie Separatabdruck, Wiesbaden 1883.

Annahme zuerst bei Entwickelung seiner Theorie des Langschwellenoberbaues gemacht. Eine Uebertragung derselben Annahme auf Querschwellen vom Abtheilungsbaumeister Müller in Andernach wurde durch die Broschüre „Der Langschwellenoberbau der Rheinischen Eisenbahn etc.", Berlin 1880, von Louis Hoffmann bekannt, eine andere Bearbeitung derselben Art findet sich in dem Werkchen „Der eiserne Oberbau", Berlin 1881, von Lehwald und Riese. Die eine Arbeit setzt die Eindrückung der Schwellen in Beziehung zu dem, auf die Flächeneinheit treffenden Druck, wie Winkler in seinen „Vorträgen über Eisenbahnbau" 1. Heft, oder im „Handbuch für Spec. Eisenbahntechnik" I. Band gethan hatte, die andere dagegen behält die ursprüngliche Winkler'sche Annahme bei (Lehre von der Elasticität und Festigkeit), wonach statt dessen der Druck für die Längeneinheit eingeführt wird.

Die Müller'sche Entwickelung geht von der Gleichung

$$-\varepsilon\,\Theta_0 \frac{d^4 y}{dx^4} = \pi \,.\, b \ldots (2$$

aus, worin ε den Elasticitätsmodul des Schwellenholzes, Θ_0 das Trägheitsmoment des Schwellenquerschnittes für seine wagrechte Schwerpunktsachse und b die untere Breite der Schwelle bedeutet, während π, der an beliebiger Stelle vorhandene Druck auf die Flächeneinheit, durch den Zusammenhang

$$\pi = \mathfrak{c} \,.\, y \ldots (3$$

bestimmt ist; y die Grösse der Eindrückung der Schwelle in die Bettung, $\mathfrak{c}$ die sogenannte Bettungsconstante.

Das Integral der obigen Differentialgleichung ist der gesuchte Ausdruck für die Einpressung der belasteten Schwelle an beliebiger Stelle, nämlich

$$y = 2M(+N)\,\mathfrak{Cos}\,kx \,.\, \cos kx + 2i\,(M - N)\,\mathfrak{Sin}\,kx \,.\, \sin kx \ldots (4$$

oder

$$y = (M+N)(e^{kx} + e^{-kx})\cos kx + i(M-N)(e^{kx} - e^{-kx})\sin kx \quad (4$$

Darin ist

$$k = \sqrt[4]{\frac{\mathfrak{c} \,.\, b}{4\,\varepsilon\,\Theta_0}} \ldots (5$$

und unter der Voraussetzung, dass die Schwelle auf ihre ganze Länge gleichmässig unterstopft ist,

$$6) \quad \ldots \quad M + N = \frac{2kA}{cb} \cdot$$

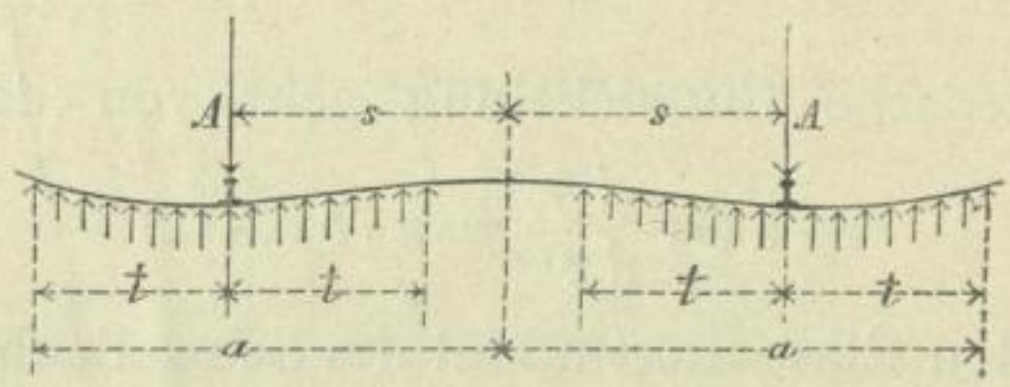
$$\cdot \frac{\cos ka(e^{ka} + e^{-ka}) - k(a-s)[\cos ka(e^{ka} - e^{-ka}) - \sin ka(e^{ka} + e^{-ka})]}{e^{2ka} - e^{-2ka} + 2\sin 2ka}$$

$$7) \quad \ldots \quad i\,(M - N) = \frac{2kA}{cb} \cdot$$

$$\cdot \frac{\sin ka(e^{ka} - e^{-ka}) - k(a-s)[\cos ka(e^{ka} - e^{-ka}) + \sin ka(e^{ka} + e^{-ka})]}{e^{2ka} - e^{-2ka} + 2\sin 2ka}$$

Nachdem so die Einsenkung y für beliebige Werthe von x gefunden ist, ergiebt sich für den besonderen Werth $x = s$

Fig. 129.



$$\text{Max.}\, y = (M+N)(e^{ks} + e^{-ks})\cos ks + i(M-N)(e^{ks} - e^{-ks})\sin ks \quad (8$$

und schliesslich der grösste Druck für die Flächeneinheit zu

$$\text{Max.}\ \pi = c\,.\,\text{Max}\ y \quad . \quad . \quad . \quad (9$$

Wäre die Schwelle in ihrem mittleren Theile nicht unterstopft, wie es namentlich bei eisernen Schwellen stets der Fall ist, und könnte deshalb angenommen werden, dass sich die Last A beiderseits nur auf die Länge $2t = 2(a-s)$ (Fig. 129) vertheilt, so bliebe die Entwickelung im Ganzen dieselbe, nur die Constanten $(M+N)$ und $i\,(M-N)$ würden jetzt der neuen Druckvertheilung entsprechend andere Werthe annehmen und man käme schliesslich auf den Ausdruck

$$10) \quad \ldots \quad \text{Max.}\, y = \frac{2kA}{cb} \cdot$$

$$\cdot \frac{(e^{kt} + e^{-kt})\cos kt - kt\,[(e^{kt} - e^{-kt})\cos kt - (e^{kt} + e^{-kt})\sin kt]}{(e^{2kt} - e^{-2kt}) + 2\sin 2kt}$$

und

$$\text{Max.}\ \pi = c\,.\,\text{Max.}\, y \quad . \quad . \quad . \quad (11$$

In der Entwickelung von Lehwald und Riese treten an Stelle der Gleichungen 2, 3 und 5 wegen der Voraussetzung, die Eindrückung der Schwellen an beliebiger Stelle sei dem dort vorhandenen Druck für die Längeneinheit (p) proportional, folgende andere:

$$-\varepsilon\,\Theta_0 \frac{d^4 y}{d\,x^4} = p \quad . \; . \; . \; (2a$$

$$p = \gamma \cdot y \quad . \; . \; . \; (3a$$

$$k = \sqrt[4]{\frac{\gamma}{4\,\varepsilon\,\Theta_0}} \quad . \; . \; . \; (5a$$

worin γ wieder eine Bettungsconstante vorstellt, welche von der früheren (c) verschieden ist.

Indem in dieser Entwickelung auch festgehalten wird, dass sich die Achse der verbogenen Schwelle aus mehreren Curvenzweigen zusammensetzt, gestaltet sich die Constantenbestimmung für die integrirte Gleichung sehr umständlich, vereinfacht sich aber wieder für den Fall, dass die Schwelle, wie in Fig. 129, nur an den Enden je auf die Länge $2t$ unterkrampt sei. Hierfür erhält man nach mancherlei Umformungen

$$\text{Max.}\,y = \frac{k\,A}{2\gamma} \cdot \frac{e^{2kt} + e^{-2kt} + 2\cos 2\,kt + 4}{e^{2kt} - e^{-2kt} + 2\sin 2kt} \quad . \; . \; . \; (10a$$

und

$$\text{Max.}\,\pi = \frac{\gamma}{b} \,.\, \text{Max.}\,y \quad . \; . \; . \; (11a$$

Nun noch einige Bemerkungen über die Bettungsconstante. v. Weber giebt in seinem bekannten Werke (Die Stabilität des Gefüges der Eisenbahngleise) auf S. 162 die folgenden, von ihm an befahrenen Gleisen beobachteten Eindrückungsmasse, wonach sich also die Schwellen unter einem Achsendruck von 12 Tonnen mindestens 0·05 und höchstens 0·6 *cm* in die Bettung eindrückten. Bei einer Länge der Schwelle von 250 *cm* und einer unteren Breite derselben von 21·4 *cm*, also einem Druck auf die Flächeneinheit von beiläufig

$$\pi = \frac{12000}{250\,.\,21{\cdot}4} = 2{\cdot}24\ kg/qcm$$

Tabelle XV.

Zusammendrückung der Schwellen beim Befahren durch Maschinen von 12 *T* Achsendruck.

Beschaffenheit der Schwellen	Alter derselben in Jahren	Breite derselben	Senkung der Schwellen	Senkung der Schienen	Zusammendrückung der Schwellen
		mm	*mm*	*mm*	*mm*
1. Kiefernschwelle	4	230	1·0	4·5	3·5
2. „	4	230	1·0	2·0	1·0
3. „ Stossschwelle	4	300	1·0	3·0	2·0
4. „ „	4	200	1·0	4·5	3·5
5. „ „	4	200	2·5	5·5	3·0
6. „ „	4	200	3·0	6 5	3·5
7. „ „	4	230	2·0	4·5	2·5
8. „ „	4	200	2·5	5·0	2·5
9. „ „	4	230	0·5	5·0	4·5
10. „ „	4	250	1·0	4·5	3·5
11. „ „	4	200	0·5	5·0	4·5
12. „ „	4	200	0·5	5·0	4·5
13. „ „	4	250	1·5	4 5	3·0
14. „ „	6	200	0·5	6·0	5·5
15. „ „	6	190	1·5	6·5	5·0
16. „ „	6	190	3·3	6·8	3·3
17. „ „	6	190	3·0	5·0	2·0
18. „ „	6	190	1·5	8·5	7·0
19. „ „	6	190	3·5	9·0	5·5
20. „ „	6	190	3·5	7·5	4·0
21. „ Kienholz, sehr fest	6	230	6·5	7·5	1·0
22. „ „ „	6	230	6·0	7·5	1·5
23. „ „ „	6	210	5·5	6·5	1·0
24. „ „ „	6	210	6·0	7·3	1·3

berechnen sich nach Gleichung 3 die äussersten Werthe

$$c = \frac{2{\cdot}24}{0{\cdot}05} = \text{rund } 45 \text{ und } c = \frac{2{\cdot}24}{0{\cdot}6} = 3{\cdot}7 = \text{rund } 4$$

welche Winkler zuerst eingeführt hat. Statt dieser Grenzwerthe gelten bei Festhaltung des Druckes p nach Gleichung 3 a

$$\gamma = \frac{1}{0{\cdot}05} \cdot \frac{12000}{250} = 960, \text{ beziehungsweise } \gamma = \frac{1}{0{\cdot}6} \cdot \frac{12000}{250} = 80.$$

Bei allgemeinen Rechnungen findet man jetzt öfters den Werth $c = 12{\cdot}5$ oder 14 festgehalten.

Was schliesslich den Werth von A, d. i. des grössten am continuirlichen Träger vorkommenden Auflagerdruckes betrifft, so hängt derselbe hauptsächlich von der Steifigkeit der Schienen und der Verdrückbarkeit der Unterlagen ab. Bei den jetzt üblichen Schienenstärken und einem Durchschnittszustand der Bettung und Holzschwellen berechnet sich unter Voraussetzung vollkommener Unterstopfung der Unterlagen ein Werth von A, welcher den grössten Raddruck der Locomotive noch nicht erreicht. Nimmt man dagegen eine Schwelle schlecht unterstopft an, so findet man einen grössten Auflagerdruck ungefähr gleich einem vollen Raddruck, so dass man im Allgemeinen die Belastung $2A$ gleich dem grössten, auf einer Bahnlinie vorkommenden Locomotivenachsendruck annehmen kann. (Siehe deshalb Organ f. d. F. d. E. 1886: Ueber die Leistungsfähigkeit des Oberbaues mit breitfüssigen Schienen und hölzernen Querschwellen.)

Zu Nr. 18.

10. Einzelne Achse mit kegelförmigen Rädern im gekrümmten Bahngleis. In der geraden Strecke werden die Schienenköpfe von den kegelförmigen Radreifen nach Kreisen berührt, deren Halbmesser beiderseits gleich r ist. Denkt man sich dasselbe Räderpaar in ein gekrümmtes Gleis mit normaler Spurweite gestellt und dabei in der Richtung des Pfeiles (Fig. 130) um einen Betrag x verschoben, so ergiebt sich einerseits eine Vergrösserung, andererseits eine Verkleinerung des berührenden Kreises und es wird ein Schleifen eines der Räder oder auch beider Räder vollständig vermieden, wenn stattfindet:

$$(r + x\,tg\,\alpha) : (r - x\,tg\,\alpha) = (r_o + s) : (r_o - s)$$

wobei r den im geraden Gleise bei richtiger Stellung der Achse in Betracht kommenden Laufkreishalbmesser der Räder, α den Winkel, welcher die Kegelform der Radreifen bestimmt, r_o den Achsenhalbmesser des Gleises und s die halbe Spurweite bedeutet.

Aus der obigen Proportion berechnet sich die erforderliche Verschiebung zu

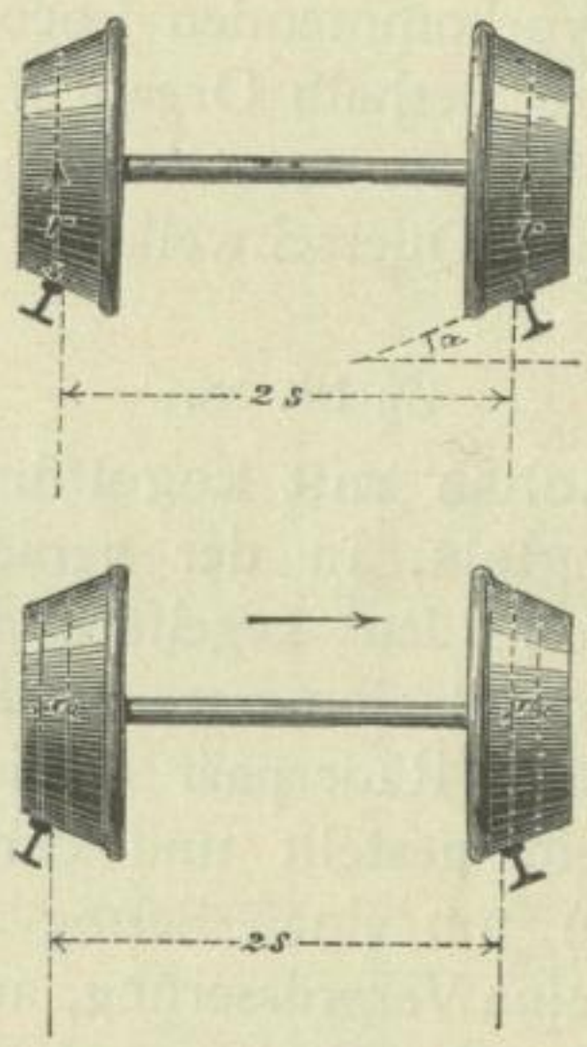
$$x = \frac{rs}{r_o \, tg \, \alpha}$$

Die Frage, um wie viel der eine Schienenstrang verschoben werden müsste, falls der andere in seiner Lage verbliebe, und auch der Halbmesser r des Berührungskreises bei letzterem unverändert bliebe, würde sich auf Grund desselben Gedankenganges wie oben aus der Proportion

$$r : (r - x' \, tg \, \alpha) = (r_o + s) : (r_o - s)$$

zu

Fig. 130.



$$x' = \frac{2 \, rs}{(r_o + s) \, tg \, \alpha}$$

beantworten.

Für $r = 0{\cdot}5 \, m$, $2s = 1{\cdot}435 \, m$, $r_o = 500 \, m$, $tg \, \alpha = \frac{1}{20}$ würde sich beispielsweise $x = 0{\cdot}014 \, m$ und $x' = 0{\cdot}029 \, m$ berechnen.

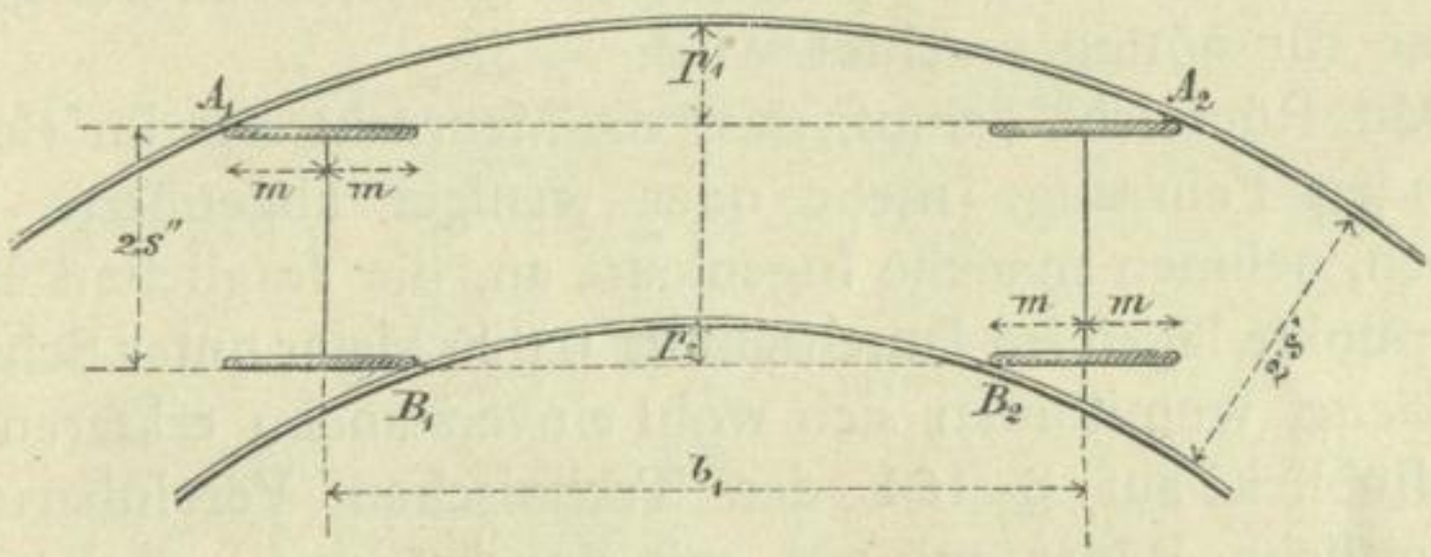
11. Bestimmung der Spurerweiterung für gekrümmte Gleise. Denkt man sich einen vierräderigen Wagen so in das gekrümmte Gleis eingestellt, dass die Spurkränze seiner vier Räder die Schienenköpfe berühren, und dann einen Horizontal-

schnitt in der Höhe der Berührungspunkte ausgeführt, so erhält man die Fig. 131. Eine solche Stellung kann als Grenzstellung bezeichnet werden, insoferne sie die Grenze für das Spurmass bezeichnet, bei welchem das fragliche Fahrzeug eben noch, wenn auch mit starker Reibung, durch das Gleis sich bewegen könnte. Ist b_1 die Länge des Wagens zwischen den Achsen, $2s'$ die Spurweite des gekrümmten Gleises, $2m$ die Länge des Horizontalschnittes durch die Spurkränze der Räder, endlich r_o der Halbmesser der gekrümmten Gleisachse, so hat man zunächst

$$\overline{A_1 A_2} = b_1 + 2m \text{ und } \overline{B_1 B_2} = b_1 - 2m$$

sodann für den zur Sehne $A_1 A_2$ gehörigen Pfeil p_1 mit ausreichender Genauigkeit

Fig. 131.



$$p_1 = \frac{\left(\frac{b_1}{2} + m\right)^2}{2(r_o + s')} \text{ oder auch } p_1 = \frac{\left(\frac{b_1}{2} + m\right)^2}{2r_o}$$

und für den Pfeil, welcher der Sehne $B_1 B_2$ zugehört,

$$p_2 = \frac{\left(\frac{b_1}{2} - m\right)^2}{2(r_o - s')} = \frac{\left(\frac{b_1}{2} - m\right)^2}{2r_o}$$

folglich, wenn der senkrechte Abstand der beiden, je zwei Berührungspunkte verbindenden geraden Linien $A_1 A_2$ und $B_1 B_2$ mit $2s''$ bezeichnet wird,

$$2s' = 2s'' + (p_1 - p_2)$$

und mit Berücksichtigung der für p_1 und p_2 gefundenen Werthe auch

$$2s' = 2s'' + \frac{\left(\frac{b_1}{2} + m\right)^2 - \left(\frac{b_1}{2} - m\right)^2}{2r_o} = 2s'' + \frac{2b_1 m}{2r_o}$$

Würden weder die Radreifen, noch die Schienenköpfe eine Abnützung und in Folge dessen beständig Formänderungen erleiden, bestünden auch sonst keine Formverschiedenheiten bei den im Gebrauche befindlichen Rädern, so könnten die zur Berührung gelangenden Punkte der Spurkränze, damit die Grössen m und $2s''$ und schliesslich das Spurmass $2s'$ für das gekrümmte Gleis ermittelt werden, wobei eine Bewegung des Fahrzeugs eben noch möglich wäre. Dies kann nun allerdings nicht geschehen, weil die erwähnten Voraussetzungen nicht zutreffen; es hätte das Ergebniss aber auch nur einen theoretischen Werth, weil die Räder unbedingt Spielraum haben müssen, noch mehr als schon in der geraden Strecke für nöthig erachtet wird.

Mit Rücksicht darauf, dass die Mehrzahl der im Betriebe stehenden Fahrzeuge mehr oder weniger abgenützte Räder besitzen, nehmen manche Ingenieure an, die fraglichen Berührungspunkte lägen im Durchschnitt 0·025 Meter unter Schienenoberfläche, womit man sich wohl einverstanden erklären kann im Hinblick auf § 164 der Technischen Vereinbarungen: „Sämmtliche Räder müssen mit Spurkränzen versehen sein. Die Höhe derselben darf, von der Oberkante der Schienen gemessen, bei mittlerer Stellung der Räder nicht weniger als 25 *mm* und auch im Zustande der grössten Abnützung nicht mehr als 35 *mm* betragen."

Mit diesem Werthe für die Tiefenlage der Berührungspunkte unter Schienenoberfläche, welcher allgemein mit t bezeichnet werden soll, und mit dem Halbmesser r des mittleren Laufkreises der Räder ergiebt sich weiter mit hinreichender Genauigkeit

$$t = \frac{m^2}{2r} \text{ und } m = \sqrt{2rt}$$

Indem man endlich den Abstand $2s''$ der Berührungspunkte zweier, derselben Achse zugehörigen Räder, welcher jedenfalls kleiner als die normale Spurweite ist, durch diese selbst er-

setzt, führt man einen, erfahrungsgemäss genügenden Spielraum für die Räder ein. Die Spurweite in den gekrümmten Strecken berechnet sich also hiernach zu

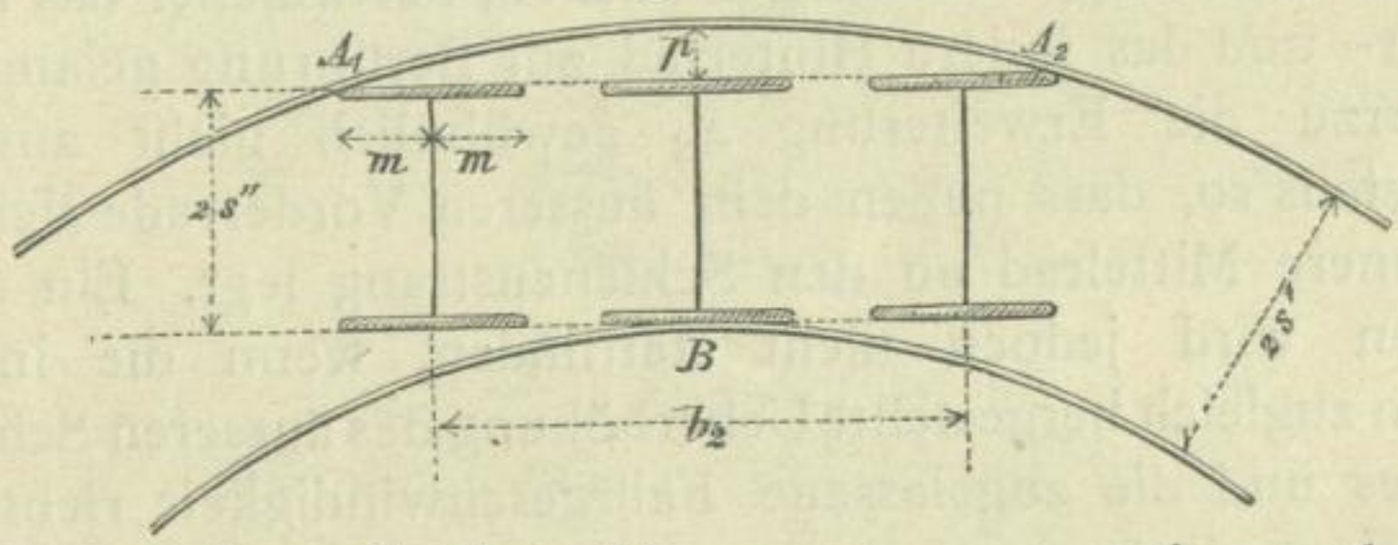
$$2s' = 2s + \frac{b_1 m}{r_o}$$

folglich das erforderliche Mass der Erweiterung zu

$$x_1 = \frac{b_1 m}{r_o}$$

Dieselbe Gleichung gilt für sechsräderige Fahrzeuge, deren Mittelachse in ihrer Richtung verschieblich ist und sich vermöge dieser Einrichtung nach Bedürfniss einstellen kann, nur bedeutet dann b_1 den gegenseitigen Abstand der ersten und dritten Achse. Ist dagegen die Mittelachse, wie öfters bei Locomotiven, nicht verschieblich angeordnet, so berechnet

Fig. 132.



sich unter den gleichen Voraussetzungen wie vorher ein wesentlich grösserer Werth für die Spurerweiterung. Hält man nämlich die in Fig. 132 dargestellte Lage des Fahrzeugs im Gleis fest, bei welcher eben noch eine Bewegung möglich und folglich das engste Spurmass denkbar wäre, so findet man mit Beibehaltung der früheren Bezeichnungen als Spurweite

$$2s' = 2s'' + p$$

oder, weil

$$p = \frac{\left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2}{2(r_o + s')} = \frac{\left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2}{2r_o}$$

gesetzt werden kann

$$2s' = 2s'' + \frac{\left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2}{2r_o}$$

Man kann auch hier wieder annehmen, dass man durch Vertauschung des Masses $2s''$ mit dem grösseren $2s$ einen genügenden Spielraum für die Spurkränze, und daher als brauchbare Spurerweiterung für das gekrümmte Gleis den Werth

$$x_2 = \frac{\left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2}{2r_o}$$

erhält, wofür man auch

$$x_2 = r_o - \sqrt{r_o^2 - \left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2}$$

nehmen kann.

Wird die berechnete Erweiterung der Spur zur Ausführung gebracht, so nimmt das Fahrzeug allerdings nicht die der Rechnung zu Grunde gelegte Grenzstellung ein, sondern es wird eine Lage zu erlangen suchen, bei welcher das äussere Vorder- und das innere Hinterrad zur Berührung gelangt, und da hierzu die Erweiterung x_2 gewöhnlich nicht ausreicht, wenigstens so, dass neben dem äusseren Vorderrade sich noch das innere Mittelrad an den Schienenstrang legt. Ein starkes Streifen wird jedoch nicht stattfinden, wenn die in allen Curven zugleich hergestellte Ueberhöhung des äusseren Schienenstranges und die zugelassene Fahrgeschwindigkeit richtig bemessen wurden.

Achträderige Wagen, welche auch noch in Benützung sind, brauchen nicht in Betracht gezogen zu werden, da bei ihnen immer je vier Räder an einem Drehschemel vereinigt sind, so dass sie in Bezug auf Spurerweiterung als gekuppelte Paare zweiachsiger Wägen angesehen werden können; massgebend für die, in gekrümmten Gleisstrecken auszuführende Spurerweiterung bleiben also die sechsräderigen Fahrzeuge mit unverschieblicher Mittelachse und die Gleichung

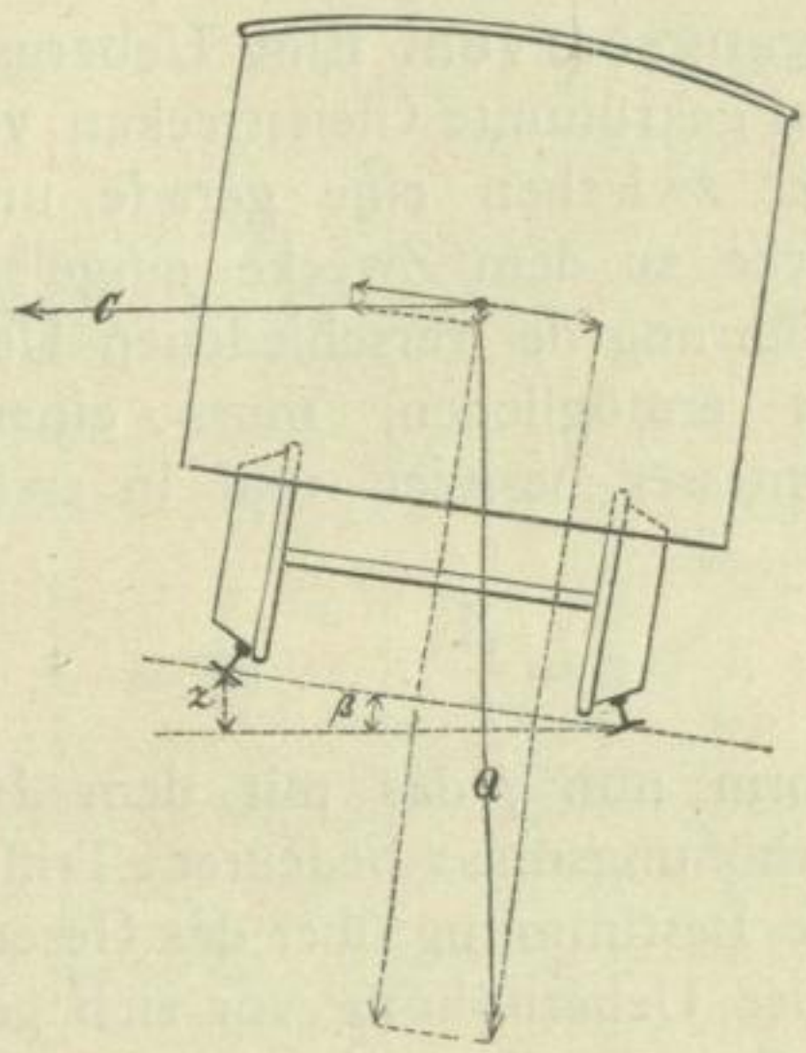
$$x = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2}{r_o}$$

in welcher $m = \sqrt{2rt}$ und die jeweiligen Werthe von r, t, m und b_2 die Constante $\frac{1}{2}\left(\frac{b_2}{2} + m\right)^2$ bestimmen.

Zu Nr. 19.

12. Bestimmung der Ueberhöhung des äusseren Schienenstranges in gekrümmten Gleisen. Wird ein Höhenunterschied z der beiden Schienenstränge angenommen und damit das Fahrzeug auf eine Kegelfläche gestellt, deren Erzeugende mit der Wagrechten den Winkel β bilden, so entsteht, gleichlaufend mit denselben, eine nach innen wirkende Seitenkraft des Wagengewichtes Q, welche sich der betreffenden Componente der nach aussen wirkenden Centrifugalkraft (C) entgegenstellt. Sieht man von der Reibung der Rad-

Fig. 133.



kränze auf den Schienenköpfen ab, welche hauptsächlich durch das Gewicht Q und zu einem kleinen Betrage auch durch die Centrifugalkraft erzeugt wird, und ebenfalls zuerst durch C aufgehoben werden müsste, ehe eine Entgleisung eintreten kann, nimmt man endlich auch als Halbmesser der kreisförmigen Bahn, welche der Schwerpunkt beschreibt, den Halbmesser r_0 der Gleisachse an, so hat man die einfache Gleichgewichtsgleichung

$$C \cos \beta = Q \sin \beta$$

oder, weil bei einer Fahrgeschwindigkeit von v Meter in der Secunde, und für die Beschleunigung der Schwere $g = 9{\cdot}81\ m$ für dieselbe Zeiteinheit die Centrifugalkraft den Werth

$$C = \frac{Q v^2}{g r_o}$$

hat und $z = 2s \,.\, sin\beta = 2s \,.\, tg\beta$ gilt, auch

$$\frac{v^2}{g r_o} = \frac{z}{2s}$$

woraus als Mass der Ueberhöhung

$$z = \frac{\frac{1}{g} \,.\, 2s \,.\, v^2}{r_o}$$

folgt.

Zu Nr. 20.

13. Uebergangscurven. Eine Uebergangscurve, welche zwischen je zwei gekrümmte Gleisstrecken von verschiedenem Halbmesser, oder zwischen eine gerade und darauffolgende gekrümmte Strecke zu dem Zwecke eingelegt wird, eine allmähliche Ueberführung der verschiedenen Ueberhöhungsmasse in einander zu ermöglichen, muss einen veränderlichen Krümmungshalbmesser besitzen und in erster Linie der Bedingung

$$z = \frac{A}{r} \quad . \; . \; . \; (1$$

entsprechen, worin nun z das mit dem Halbmesser r veränderliche Ueberhöhungsmass bedeutet. Trifft man ausserdem noch irgend eine Bestimmung über das Gesetz, nach welchem die Aenderung der Ueberhöhung vor sich gehen soll, so ist die gewünschte Curve vollständig gegeben. Der Einfachheit halber wird in dieser Beziehung gewöhnlich angenommen, die Aenderung der Ueberhöhung erfolge proportional der Bogenlänge, es gelte also auch die Gleichung

$$z = \alpha \,.\, b \quad . \; . \; . \; (2$$

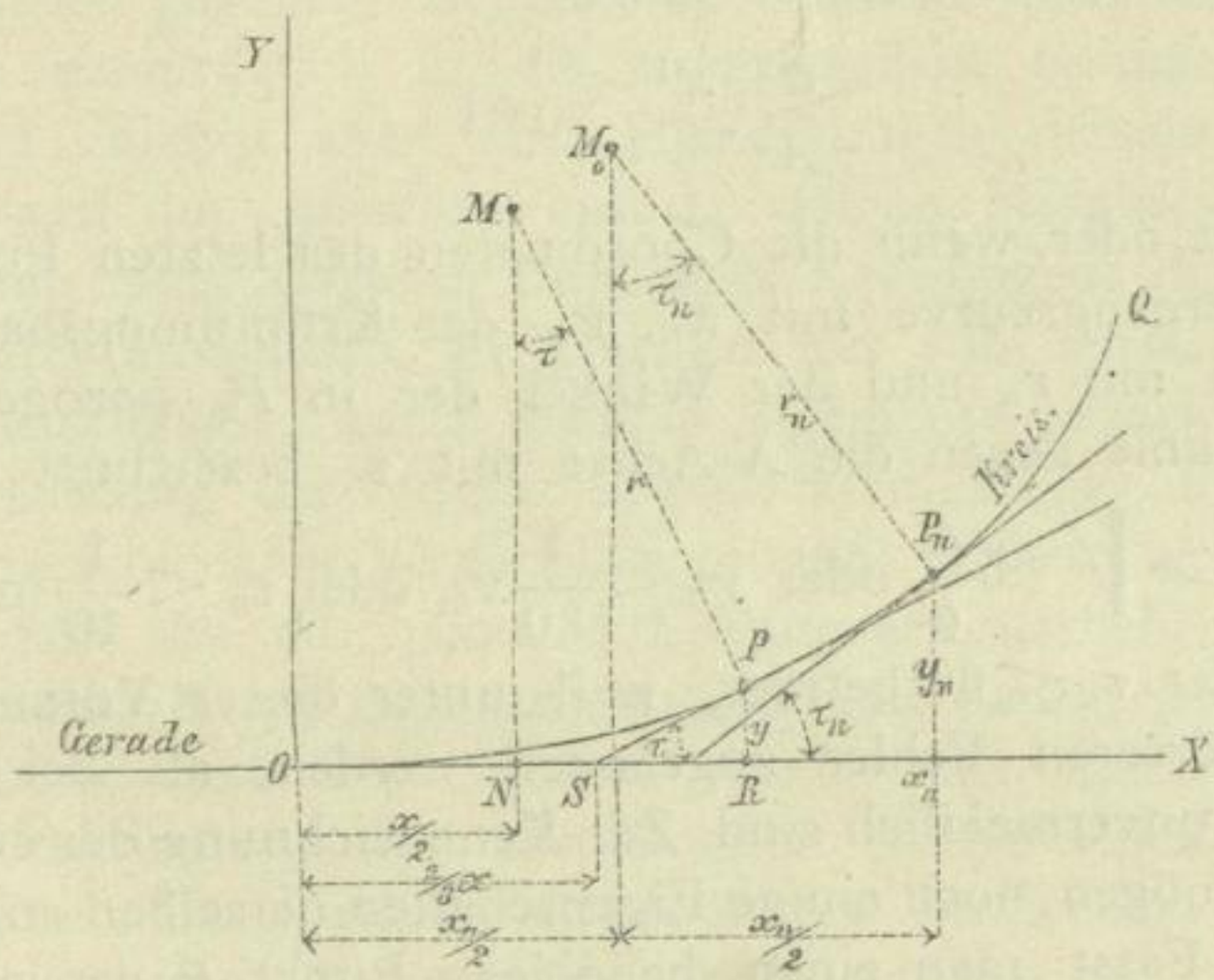
worin b die Länge der Curve, im Bogen gemessen, und α eine Constante bedeutet. Die durch die beiden Gleichungen 1 und 2 bestimmte Uebergangscurve, bezogen auf ein rechtwinkeliges Achsensystem YOX, ist in Fig. 134 durch die Linie OP dargestellt, welche insbesondere zur Verbindung einer mit der X-Achse zusammenfallenden Geraden und eines Kreisbogens $P_n Q$ vom Halbmesser r_n dienen soll. Die Aufstellung

ihrer Gleichung gestaltet sich einfach, wenn man sich gestattet, die vom Ursprung O aus gezählte Bogenlänge b mit der Abscisse x zu vertauschen und für den Krümmungshalbmesser statt des genauen Werthes

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

den Näherungswerth

Fig. 134.



$$r = \frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

zu setzen, was innerhalb der, bei der Ausführung einzuhaltenden Genauigkeit in der That zulässig ist und später noch besonders erläutert werden soll. Für diese Annahmen erhält man als einfache Differentialgleichung der gesuchten Curve

$$\frac{1}{r} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{\alpha}{A} \cdot x$$

aus welcher durch Integration und Benützung der Thatsache, dass x und $\frac{dy}{dx}$ gleichzeitig verschwinden, zunächst

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x^2}{2}$$

folgt, sodann durch wiederholte Integration, und weil auch die zweite Integrationsconstante der Null gleich ist,

$$y = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x^3}{6}$$

Die hiermit bestimmte cubische Parabel lässt sich demnach als Uebergangscurve zweckmässig verwerthen, so lange Bogen und Abscissenlänge ohne zu grossen Fehler mit einander vertauscht werden können. Dies ist aber, wie man sich überzeugen kann, der Fall, so lange

$$\frac{\alpha^2}{A^2} \cdot \frac{x^4}{4} \leqq 0{\cdot}01$$

stattfindet oder, wenn die Coordinaten des letzten Punktes P_n der Uebergangscurve mit x_n, y_n, der Krümmungshalbmesser desselben mit r_n und der Winkel der in P_n gezogenen Berührungslinie gegen die X-Achse mit τ_n bezeichnet wird, so lange $r_n \geqq \sqrt{5\frac{A}{\alpha}}$, oder $y_n \leqq \frac{1}{30} x_n$, oder $\tau_n \leqq \frac{1}{10}$ im Bogenmass, oder $\tau_n \leqq 6^0$ beträgt, weil unter dieser Voraussetzung keine grösseren Fehler zugelassen werden, als bei der Absteckung unvermeidlich sind. Zur Kennzeichnung der cubischen Parabel mögen noch einige Eigenschaften derselben angedeutet werden: Fasst man einen beliebigen Punkt P derselben mit den Coordinaten x, y in's Auge und legt die Berührende in diesem Punkte, welche mit der X-Achse den Winkel τ bildet, so erhält man für die Subtangente

$$\overline{SR} = y \,.\, cotg\, \tau = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{2}{x^2} = \frac{x}{3}$$

folglich $\overline{OS} = \frac{2}{3} x$.

Fällt man sodann vom Krümmungsmittelpunkt M des Punktes P eine Senkrechte auf die X-Achse, so findet statt

$$\overline{NR} = r \,.\, tg\, \tau = \frac{A}{\alpha} \,.\, x \,.\, \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x^2}{2} = \frac{x}{2}$$

so dass insbesondere die vom Mittelpunkt des Anschlusskreises $P_n Q$ auf die X-Achse gezogene Senkrechte die Gesammtlänge x_n der Uebergangscurve halbirt.

Nach diesen allgemeinen Auseinandersetzungen erübrigt es, einige Fälle der Anwendung zu besprechen, welche, wie auch die vorstehende Entwickelung, einer Veröffentlichung von Helmert entnommen sind. [1])

Die bei Herstellung des Unterbaues benützte Bahnachse setzt sich nur aus sich berührenden Kreisbögen und geraden Strecken zusammen, indem die Uebergangscurven erst nach Fertigstellung der Erdarbeiten, beim Verlegen des Gleises in Rücksicht gezogen werden. Es kommt also darauf an, dieselben nachträglich in die ursprüngliche Bahnachse einzuschalten; hierzu aber sind Abänderungen derselben nothwendig, weil die cubische Parabel, welche beispielsweise zur Verbindung einer Geraden und eines Kreisbogens dient, sich, von ersterer ausgehend, an letzteren nur von aussen her berührend anschliessen kann. Manche Ingenieure vermeiden zwar die Abänderung der zuerst abgesteckten Achse durch Zulassung verschiedener Vernachlässigungen; es lässt sich jedoch zeigen, dass die zur genauen Lösung erforderlichen Aenderungen in der Regel ganz geringfügig und ohne Schwierigkeit durchführbar sind. Sie bestehen darin, dass man entweder den Halbmesser r_o des ursprünglich vorhandenen Kreises unter Beibehaltung seines Mittelpunktes ein wenig verkürzt, oder statt dessen die anschliessende Gerade etwas verschiebt, so dass die Berührung zwischen beiden aufgehoben wird.

Veränderung der ursprünglichen Bahnachse durch Verkürzung des Halbmessers.

In Fig. 135 sei ein Stück der Bahnachse, bestehend aus den beiden geraden Linien AN, $A_1 N_1$ und dem sie berührenden Kreisbogen NN_1 vom Halbmesser r_o dargestellt. Da dieser tangentiale Anschluss nach den früheren Angaben die genaue Ausführung der Uebergangscurve von der Geraden zum Kreisbogen unmöglich macht, werde an Stelle des letzteren ein anderer Kreisbogen

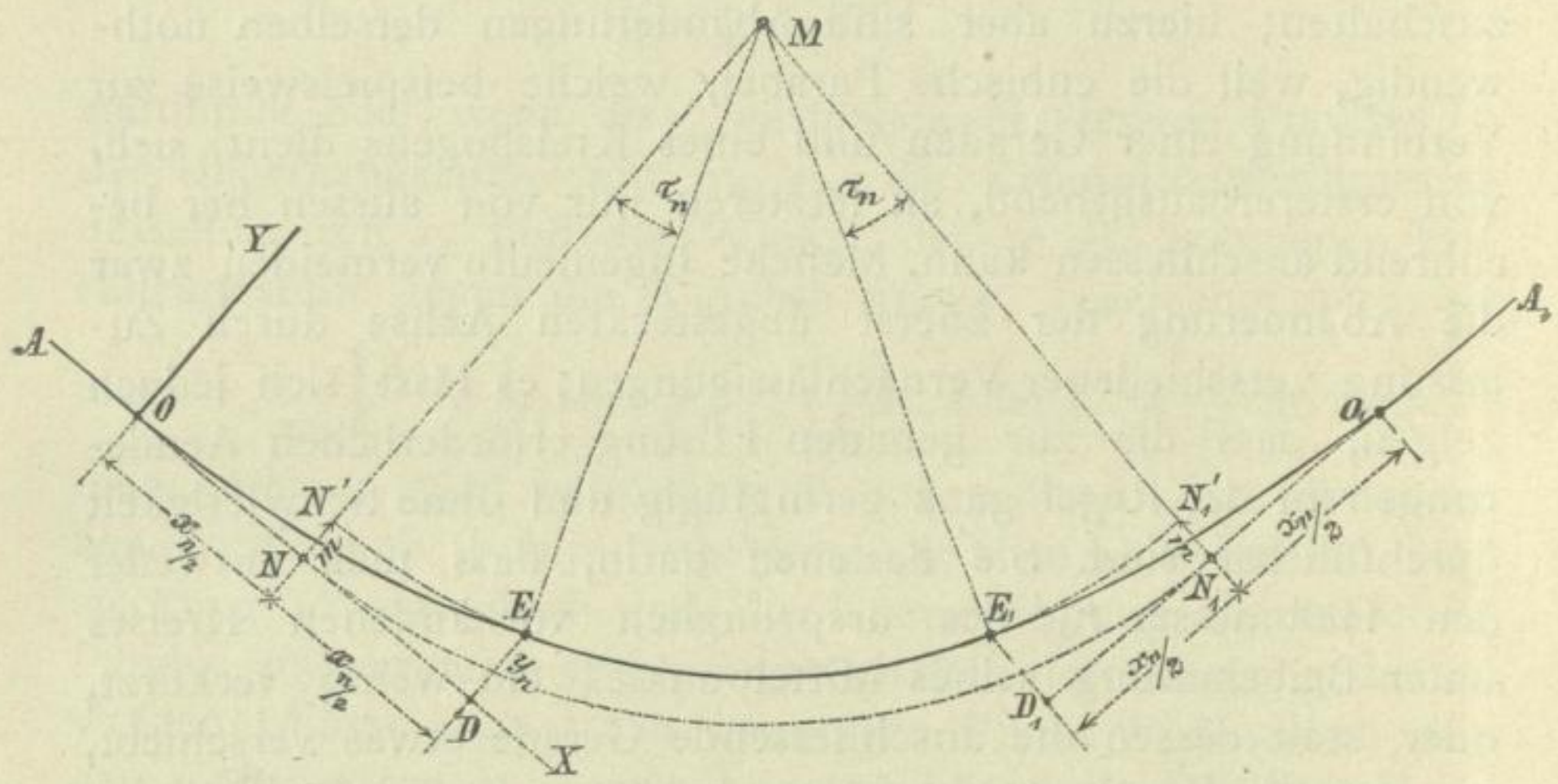
[1]) Helmert, Die Uebergangscurven für Eisenbahngleise, Aachen 1872.

$N'N'_1$ gesetzt, welcher ebenfalls aus dem Mittelpunkt M, jedoch mit dem, um die Strecke m verkürzten Halbmesser $MN' = MN'_1$ beschrieben ist. Nun kann die cubische Parabel zwischen O und E, beziehungsweise O_1 und E_1 eingelegt werden.

Ist x_n die Länge derselben, in der Geraden AN als Abscissenachse gemessen, so gilt für den Endpunkt E als Punkt derselben Parabel

$$y_n = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x_n^3}{6}$$

Fig. 135.



sodann, wenn der Halbmesser des neuen Bogens $N'N'_1$ wegen der Kleinheit von m, mit r_o in Rechnung gesetzt wird, auch

$$\frac{1}{r_o} = \frac{\alpha}{A} \cdot x_n$$

weiter, da E auch ein Punkt des Kreisbogens $N'N'_1$, in welchem sich dieser und die Uebergangscurve berühren,

$$y_n = r_o + m - r_o \cos \tau_n$$

und endlich

$$\tau_n = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x_n^2}{2}$$

In diesen vier Gleichungen kommen sechs Grössen: r_o, der als eine Constante aufzufassende Quotient $\frac{A}{\alpha}$, m, x_n, y_n und τ_n vor, von welchen zwei angenommen werden können, worauf dann alle übrigen unzweideutig bestimmt sind. In der Regel ist r_o von vorneherein gegeben und auch $\frac{A}{\alpha}$ nach besonderen Gesichtspunkten feststehend; alsdann berechnet sich die Länge der Uebergangscurve $x_n = \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{1}{r_o}$, weiter die Grösse der Verkürzung $m = \frac{1}{24} \cdot \frac{\alpha}{A} \cdot x_n^3$, sowie $y_n = 4\,m$ und $\tau_n = \frac{\alpha}{A} \cdot \frac{x_n^2}{2}$, und die oben, unter verschiedener Form angegebene Bedingung hinreichender Annäherung lässt sich jetzt auch in der Form $r_o \geqq 600 \,.\, m$ ausdrücken. Das Eintragen der Parabel ist nach ihrer Eigenschaft, dass $ON = ND$, beziehungsweise $O_1 N_1 = N_1 D_1$ stattfindet, leicht durchzuführen, auch erkennt man, dass die ganze Lösung nur dann praktisch brauchbar ist, wenn das übrig bleibende Bogenstück EE_1 nicht zu klein ausfällt.

Veränderung der ursprünglichen Bahnachse durch Verschiebung einer geraden Strecke.

In manchen Fällen lässt sich die erforderliche Aenderung der vorgegebenen Bahnlinie zweckmässiger durch Verschiebung, beziehungsweise Verdrehung einer geraden Strecke erzielen. Handelt es sich z. B. nach Fig. 136 um zwei Kreisbögen AB, $B_1 A_1$ von entgegengesetzter Wendung, welche durch eine sie berührende Gerade BB_1 verbunden sind, so empfiehlt es sich, die ersteren unverändert beizubehalten und die Gerade um einen kleinen Winkel ω in die neue Lage DD_1 zu bringen. Hierdurch wird die Berührung der Kreise mit der zwischenliegenden Geraden aufgehoben, dieselben gehen an dieser in den Abständen $NN' = m$ und $N_1 N_1' = m_1$, welche in den, von den Mittelpunkten M und M_1 gezogenen Senkrechten MN und $M_1 N_1$ zu messen sind, vorüber, und die beiden von der Geraden ausgehenden Parabeln können sich jetzt den Bögen von der Aussenseite her anschliessen.

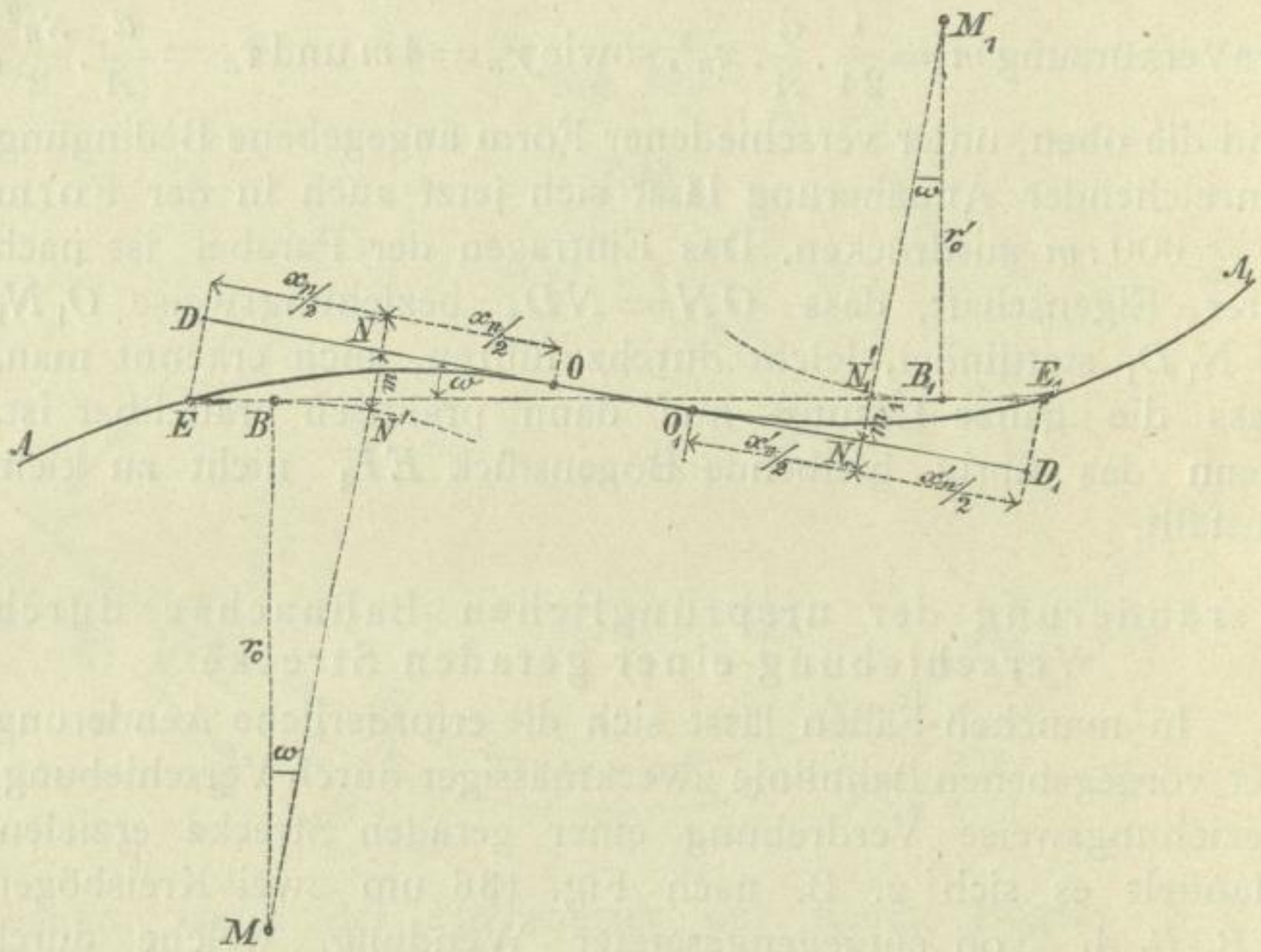
Heisst r_o der Halbmesser des ersten, r'_o des zweiten Kreises, so gilt nach den allgemeinen Entwickelungen zunächst

$$x_n = \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{1}{r_o}, \quad m = \frac{1}{24} \cdot \frac{\alpha}{A} \cdot x_n^3$$

sodann

$$x_n' = \frac{A}{\alpha} \cdot \frac{1}{r_o'}, \quad m_1 = \frac{1}{24} \cdot \frac{\alpha}{A} \cdot x'^3_n$$

Fig. 136.



und für den Verschiebungswinkel ω ergiebt sich ein Ausdruck durch Gleichsetzung der Projectionen der Linienzüge MBB_1M_1 und MNN_1M_1 auf die Richtung senkrecht zu der neuen Geraden NN_1; zuerst, wenn die Länge BB_1 mit t bezeichnet wird

$$(r_o + r'_o) \cos\omega + t \sin\omega = (r_o + r'_o) + (m + m_1)$$

und mit Benützung des Näherungswerthes

$$\cos\omega = 1 - \frac{\omega^2}{2} = 1 - \frac{1}{2} \sin^2\omega$$

welcher sich jedenfalls auch innerhalb der für die Gleichung der Uebergangscurve giltigen Genauigkeitsgrenze hält

$$\sin^2\omega - \frac{2t}{r_o + r'_o} \cdot \sin\omega + \frac{2(m + m_1)}{r_o + r'_o} = o$$

Von den beiden Wurzeln dieser Gleichung ist, weil gleichzeitig mit m und m_1 auch ω verschwinden muss, nur die folgende

$$\sin\omega = \frac{1}{r_o + r'_o}\left[t - \sqrt{t^2 - 2(m + m_1)(r_o + r'_o)}\right]$$

zu gebrauchen, welche durch Anwendung des binomischen Lehrsatzes und mit einigen unbedenklichen Vernachlässigungen auf die bequemere Form

$$\sin\omega = \frac{m + m_1}{t}\left[1 + \frac{m + m_1}{t} \cdot \frac{r_o + r'_o}{2t}\right]$$

gebracht werden kann. Hieraus berechnet sich ω, nachdem m und m_1 für die gegebenen Grössen r_o, r'_o, t, A und α aus den bekannten Gleichungen gefunden worden sind. Auch in diesem Falle ist eine entsprechende Lösung nur bei ausreichender Länge der geraden Strecke BB_1 möglich, wenn also $t > \frac{x_n + x_n'}{2}$ stattfindet.

Zahlenbeispiele hierzu sind im zweiten Theil Nr. 20 gegeben, und bezüglich anderer Fälle der Anwendung von cubischen Parabeln als Vermittlungscurven, insbesondere solcher, welche Ausnahmen von den im Vorstehenden entwickelten Regeln verlangen, muss auf die schon angeführte Schrift von Helmert verwiesen werden.

Zu Nr. 21 bis 24.

14. Berechnung des Langschwellenoberbaues. Ein seiner ganzen Länge nach im Bettungskörper ruhender Schienenstrang werde durch eine Reihe gleich grosser und im gleichen Abstande (l) von einander befindlichen Lasten (P) in Anspruch genommen. Er erleidet hierdurch Formänderungen, wie sie in Fig. 137 zur Anschauung gebracht sind, und, indem er sich in die Bettung eindrückt, werden in derselben, genau den ausgeübten Drücken entsprechend, Wider-

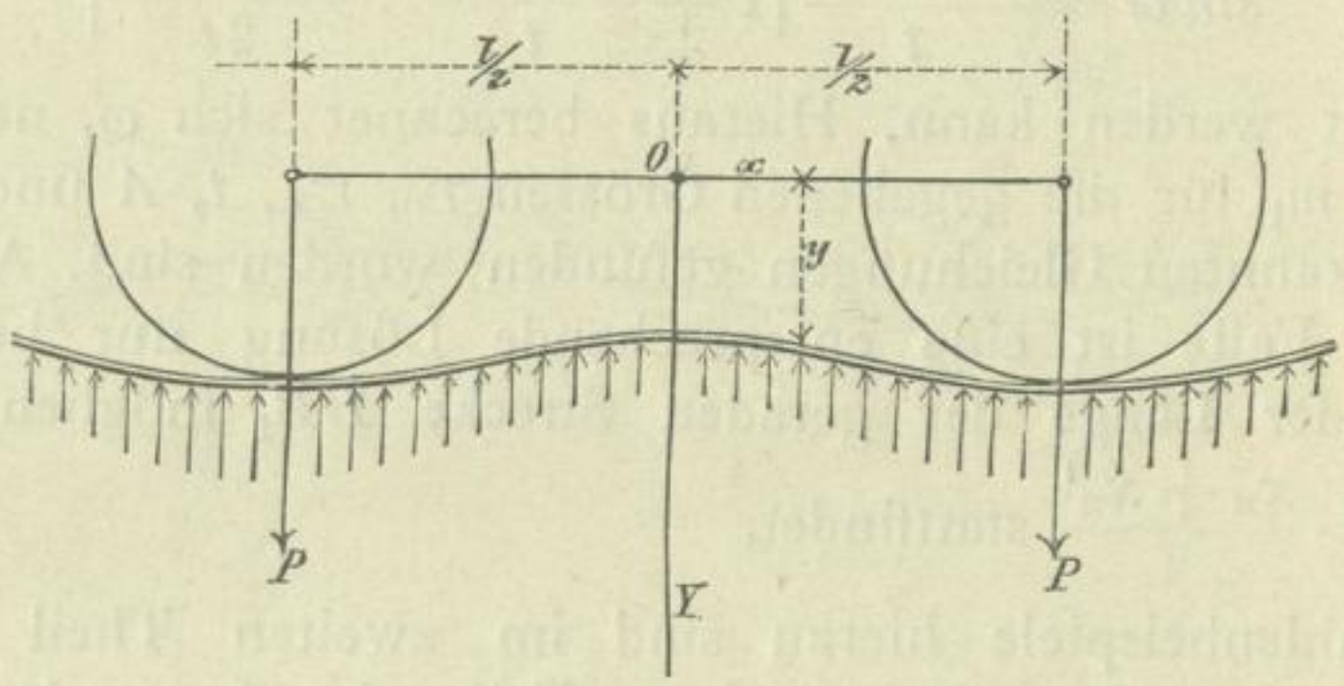
standskräfte hervorgerufen. Dieselben werden am stärksten gerade unterhalb der Lasten sein und von da aus nach beiden Seiten hin (in der Figur bis zur Y-Achse) allmählich abnehmen.

Nimmt man nach dem Vorgange Winkler's[1]) an, die Grösse der Eindrückung an jeder Stelle sei dem daselbst herrschenden Drucke auf die Flächeneinheit (π) proportional, es finde also statt

$$\pi = \mathfrak{c} \cdot y$$

wobei $\mathfrak{c}$ die von früher bekannte Bettungsconstante und y die Ordinate nach Fig. 137 vorstellt, und denkt man sich, nachdem Gleichgewicht eingetreten, den Schienenstrang umgekehrt

Fig. 137.



auf einer grossen Anzahl, in Abständen l befindlicher Stützpunkte aufliegend und durch vertheilte Lasten nach dem angenommenen Gesetz belastet, so kann man von der Differentialgleichung der Biegungslinie

$$\varepsilon\, \Theta . \frac{d^4 y}{d x^4} = - \mathfrak{c}\, b\, y$$

ausgehen, indem man unter der Voraussetzung, dass der Strang im Querschnitt eintheilig sei, mit ε den Elasticitätsmodul des Strangmaterials, Θ dessen Trägheitsmoment für seine horizontale Schwerpunktsachse und mit b die untere Breite, nach welcher er in der Bettung ruht, bezeichnet. Das

---

[1]) „Lehre von der Elasticität und Festigkeit" und „Vorträge über Eisenbahnbau, I. Heft".

Integral dieser Gleichung bestimmt die Biegungscurve, womit dann für eine beliebige Stelle

$$\text{das Angriffsmoment } \mathfrak{M} = \varepsilon\, \Theta \,.\, \frac{d^2 y}{d x^2}$$

$$\text{und der Druck } \pi = \mathfrak{c} \,.\, y$$

und folglich auch das grösste am Schienenstrang auftretende Angriffsmoment Max. $\mathfrak{M}$ und der grösste von demselben auf die Bettung ausgeübte Druck Max. π für $x = \frac{l}{2}$ gefunden ist.

Die ziemlich umständlichen Ausdrücke für die genannten Grössen vereinfacht Winkler durch entsprechende Vernachlässigungen und gelangt schliesslich auf folgende Werthe:

$$\text{Max. } \mathfrak{M} = \frac{P}{4} \cdot \sqrt[4]{\frac{4\,\varepsilon\,\Theta}{\mathfrak{c}\, b}} \text{ und Max. } \pi = \frac{P}{2b} \cdot \sqrt[4]{\frac{\mathfrak{c}\, b}{4\,\varepsilon\,\Theta}}$$

welche ihre Giltigkeit behalten, so lange der Ausdruck

$$k \,.\, \frac{l}{2} = \frac{l}{2} \cdot \sqrt[4]{\frac{\mathfrak{c} \,.\, b}{4\,\varepsilon\,\Theta}}$$

Werthe zwischen 1 und 2·356 zeigt. Weiter hat man dann für die grösste vorhandene Längsspannung

$$\alpha = \frac{m \,.\, \text{Max } \mathfrak{M}}{\Theta}$$

wenn für m der Abstand der äussersten Fasern von der Schwerpunktsachse gesetzt wird.

Besteht der Schienenstrang aus mehreren Theilen, so stellt in den vorstehenden Formeln Θ die Summe der Trägheitsmomente der einzelnen Theile, auf die zugehörigen Schwerpunktsachsen bezogen, und m den grössten bei denselben auftretenden Abstand einer äussersten Faser von ihrer neutralen Achse vor.

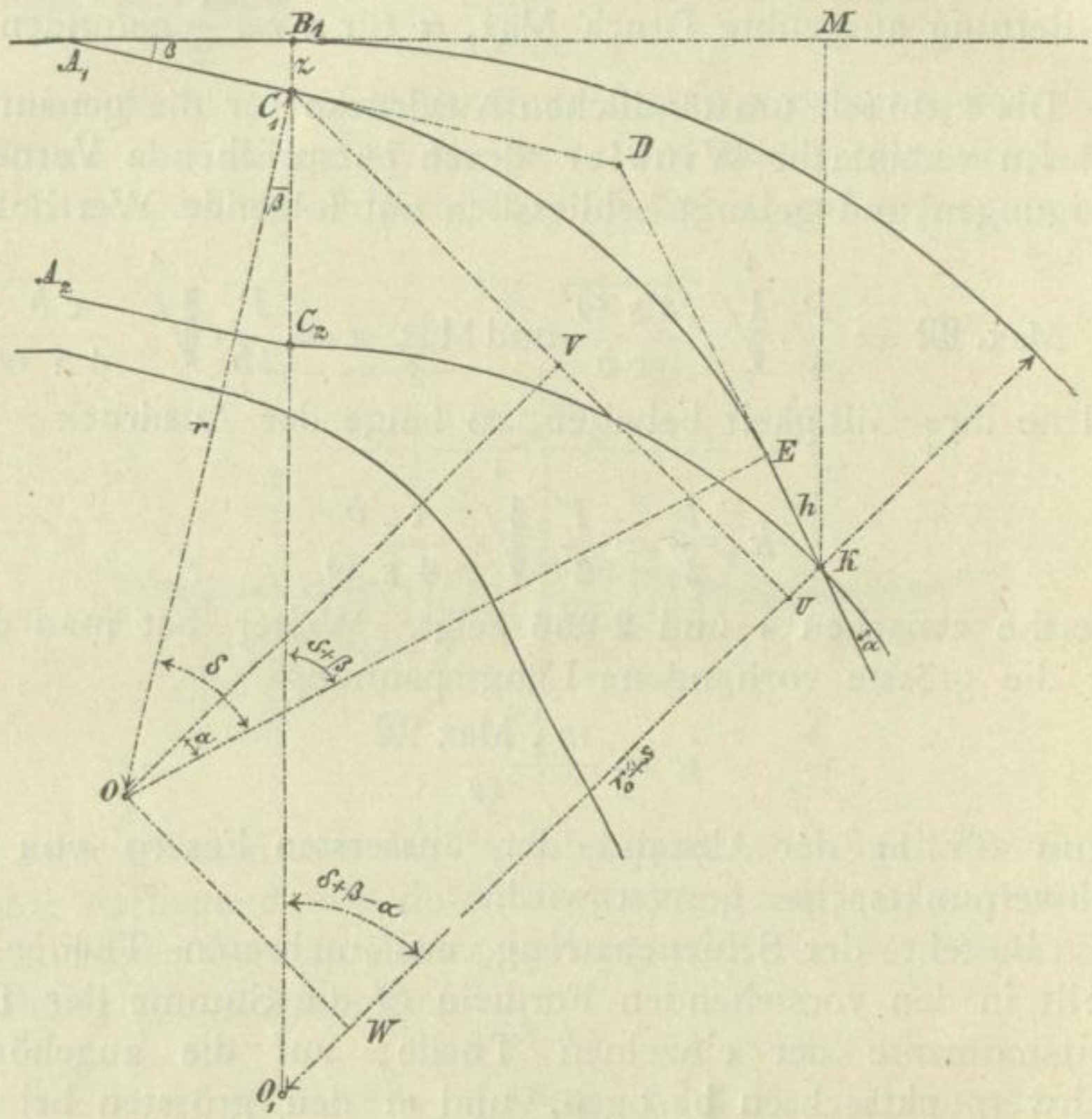
B. Gleisverbindung.

Zu Nr. 33 und 36.

15. Allgemeine Behandlung der gewöhnlichen, einfachen Ausweichungen. (Nach Nell und Kauffmann, Lehre von den Eisenbahncurven etc., Stuttgart 1861.) Auf der Innen-

seite eines gekrümmten Hauptgleises mit dem Achsenhalbmesser r'_o soll, wie in Fig. 138 angedeutet, in welcher die Gleisstränge durch die inneren Schienenkopfkanten (Fahrlinien) dargestellt sind, eine Abzweigung mittelst einer einfachen Ausweichung hergestellt werden. Da in gekrümmten, wie geraden Gleisen immer derselbe Wechsel zur Anwendung kommen

Fig. 138.



soll, muss hier zunächst ein gerades Stück, mindestens von der Länge des Wechsels, in das sonst kreisförmige Hauptgleis eingeschaltet werden. $A_1 B_1$ sei der Haupttheil dieses geraden Stückes in der Fahrkante des äusseren Hauptgleisstranges. An dieses schliesst sich unter dem Winkel β die gerad gedachte Zungenschiene $A_1 C_1$ an,[1]) hieran berührend der Weichen-

[1]) Handelt es sich um gekrümmte Zungen, so ist nach Fig. 88 statt β der $\measuredangle\ \omega$ zu setzen.

bogen $C_1 E$ mit dem Halbmesser r und dem Mittelpunktswinkel δ, und an diesen endlich von E aus, wiederum berührend, die Kreuzungsgerade $EK = h$. Damit ist der mathematische Kreuzungspunkt K erreicht, welcher den Scheitel des Kreuzungswinkels α bildet. Obgleich beide Schenkel desselben gerade sind, kann man doch ohne merklichen Fehler zur Vereinfachung annehmen, K sei ein Punkt des Kreises vom Halbmesser $(r'_o - s)$ und die Linie $O_1 K$ falle mit einem Halbmesser des Hauptgleises zusammen.

Einen mathematischen Zusammenhang zwischen den hier auftretenden, schon genannten Grössen und der Strecke $B_1 C_1 = z$ (Fig. 138) erhält man in einfacher Weise, wenn man die Hilfslinie $C_1 U \perp O_1 K$ und $OV \parallel O_1 K$ zieht, nämlich

$$O_1 U - OV = O_1 W \text{ und } C_1 U - C_1 V = OW$$

oder mit Berücksichtigung der angenommenen Bezeichnungen, und weil insbesondere, wie leicht zu erkennen

$$\measuredangle B_1 O_1 K = \delta + \beta - \alpha \text{ und } \measuredangle VOE = \alpha$$

stattfindet,

$$(r'_o + s - z) \cos(\delta + \beta - \alpha) - r \cos(\delta - \alpha) = (r'_o + s) - 2s + h \sin\alpha - r \cos\alpha$$

$$(r'_o + s - z) \sin(\delta + \beta - \alpha) - r \sin(\delta - \alpha) = r \sin\alpha + h \cos\alpha.$$

Wegen der Zusammensetzung dieser beiden Gleichungen kommt man durch Addition ihrer Quadrate auf eine neue Gleichung, welche bezüglich r vom ersten Grad ist und den $\measuredangle \delta$ nicht mehr enthält. Dieselbe, nach r aufgelöst, liefert

$$r = \frac{(r'_o + s)\, m - n}{(r'_o + s)\, p + q}$$

worin m, n, p und q die folgenden Ausdrücke ersetzen:

$$m = 2s - z - h \sin\alpha$$

$$n = 2s^2 - 2s \,.\, h \sin\alpha + \frac{h^2}{2} - \frac{z^2}{2}$$

$$p = \cos\beta - \cos\alpha = 2 \sin\frac{\alpha+\beta}{2} \sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$q = 2s \cos\alpha - z \cos\beta.$$

Mit dem so bestimmten Werthe von r ergiebt sich dann nach entsprechenden Umformungen

$$tg\,\frac{\delta}{2} = \frac{(r'_o + s)\,p + q}{(r'_o + s)\,u + v}$$

wobei p und q dieselben Werthe wie oben haben, dagegen

$$u = sin\,\alpha + sin\,\beta = 2\,sin\,\frac{\alpha+\beta}{2}\,cos\,\frac{\alpha-\beta}{2}$$

$$v = h - 2\,s\,sin\,\alpha - z\,sin\,\beta.$$

Von den in den Ausdrücken für r und δ vorkommenden Grössen ist die Spurweite $2\,s$, sowie z und β als unbedingt gegeben zu betrachten, desgleichen der Winkel α, insoferne es sich nur um die Wahl aus einigen wenigen, von vorneherein feststehenden Werthen handelt, und in den meisten Fällen wird auch die Form des Hauptgleises durch seinen Halbmesser r'_o als bekannt anzusehen sein. Es erscheinen also r und $tg\,\delta/_2$ als Functionen von h und es ist darauf hinzuweisen, dass, sobald ein Werth für h angenommen wird, beide Grössen und damit die ganze Weichenanlage unzweideutig bestimmt ist.

Man hätte in diesem Falle für die beiden, in der vorstehenden Figur eingetragenen Grössen $B_1\,M = x$ und $K\,M = y$ die folgenden Werthe

$$x = r\,[sin\,(\delta + \beta) - sin\,\beta] + h\,cos\,(\delta + \beta)$$
$$y = z + r\,[cos\,\beta - cos\,(\delta + \beta)] + h\,sin\,(\delta + \beta)$$

welche für die Absteckung auf dem Felde von Bedeutung sein können. Findet die Abzweigung nach der entgegengesetzten Seite hin statt, so dass also die Mittelpunkte O_1 und O des Haupt- und Weichengleises nicht mehr auf einer und derselben Seite liegen, und verfolgt man auch wieder jenen Strang des abzweigenden Gleises, welcher den mathematischen Kreuzungspunkt K enthält, so kommt man auf demselben Wege wie vorher, wenn auch wieder r den Halbmesser der Fahrkante des äusseren Weichenbogens und δ den Mittelpunktswinkel desselben vorstellt und alle übrigen Grössen die frühere Bedeutung beibehalten, zu den Gleichungen

$$r = \frac{(r_o' - s)\,m + n}{(r_o' - s)\,p - q}$$

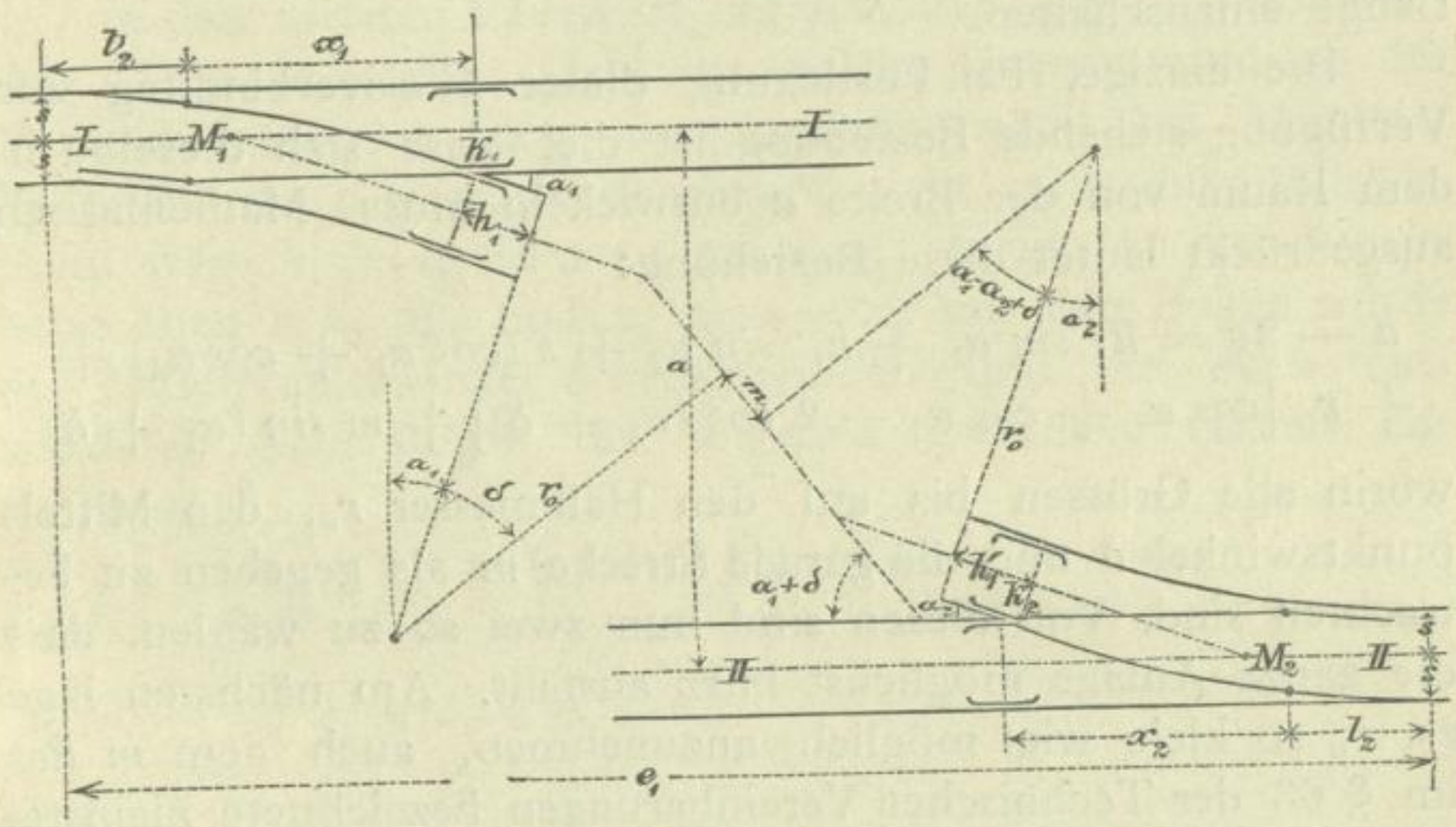
$$tg\,\frac{\delta}{2} = \frac{(r_o' - s)\,p - q}{(r_o' - s)\,u - v}$$

während die Ausdrücke für x und y unverändert bleiben.

Aus jedem dieser allgemeinen Fälle kann auf den besonderen Fall der gewöhnlichen einfachen Weiche im geraden Hauptgleise übergegangen werden, indem man $r_o' = \infty$ setzt. Uebereinstimmend erhält man hiefür

$$r = \frac{m}{p} = \frac{2s - z - h \sin\alpha}{2 \sin\frac{\alpha + \beta}{2} \sin\frac{\alpha - \beta}{2}}$$

Fig. 139.



und $tg\,\frac{\delta}{2} = \frac{p}{u} = tg\,\frac{(\alpha - \beta)}{2}$, also $\delta = (\alpha - \beta)$

sodann $x = r\,(\sin\alpha - \sin\beta) + h \cos\alpha$

$y = z + r\,(\cos\beta - \cos\alpha) + h \sin\alpha = 2\,s$

Zu Nr. 40.

16. Verbindung zweier gerader gleichlaufender Gleise mittelst gewöhnlicher einfacher Ausweichungen. Es sollen zwei gerade, im Achsenabstande a gleichlaufende Bahnhofsgleise I—I und II—II nach Fig. 139 durch zwei gewöhnliche einfache Ausweichungen von verschiedenem Kreuzungsverhältnisse und einem gekrümmten Verbindungs-

gleise vereinigt werden. Die zu diesem Zwecke in's Gleis I—I eingelegte Ausweichung verlässt dasselbe bei K_1 unter dem Winkel α_1, erstreckt sich von diesem Punkte aus noch auf eine gewisse Länge h_1 gerade und berührt den an sie anschliessenden Kreisbogen vom Achsenhalbmesser r_o und dem Mittelpunktswinkel δ. In gleicher Weise folgt auf das, den Schluss der anderen Ausweichung bildende gerade Stück h_1' ein Bogen, für welchen man sofort ebenfalls r_o festsetzen kann, während der Mittelpunktswinkel nothwendig den Werth $(\alpha_1 - \alpha_2) + \delta$ annehmen muss, und zwischen die beiden Bögen (Gegencurven) ist nach § 63 Absatz 2 der Technischen Vereinbarungen ein gerades Stück m von wenigstens sechs Meter Länge einzuschalten.

Die einzige, bei Festlegung dieser Gleisverbindung zur Verfügung stehende Beziehung ist die, dass sich dieselbe in dem Raum von der Breite a entwickeln muss. Mathematisch ausgedrückt lautet diese Beziehung:

$$a - 2s = h_1 \sin \alpha_1 + h_1' \sin \alpha_2 + s (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) + \\ + r_o [\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2 - 2 \cos (\alpha_1 + \delta)] + m \sin (\alpha_1 + \delta)$$

worin alle Grössen bis auf den Halbmesser r_o, den Mittelpunktswinkel δ und die gerade Strecke m als gegeben zu betrachten sind. Von diesen sind nun zwei so zu wählen, dass die ganze Anlage möglichst kurz ausfällt. Am nächsten läge es, r_o so klein wie möglich anzunehmen, auch dem m das im § 63 der Technischen Vereinbarungen bezeichnete kleinste, noch zulässige Mass von 6 Meter beizulegen und sodann δ aus der obigen Gleichung zu berechnen. Allerdings ist dies umständlich; man müsste die Grundgleichung auf die Form

$$2 r_o \cos (\alpha_1 + \delta) - m \sin (\alpha_1 + \delta) = - a + 2 s + h_1 \sin \alpha_1 + \\ + h'_1 \sin \alpha_2 + (r_o + s) (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) = u$$

oder

$$2 r_o - m \, tg (\alpha_1 + \delta) = u \sqrt{1 + tg^2 (\alpha_1 + \delta)}$$

bringen und von den Wurzeln dieser, bezüglich $tg (\alpha_1 + \delta)$ quadratischen Gleichung die folgende entnehmen

$$tg (\alpha_1 + \delta) = \frac{- 2 r_o m + \sqrt{u^2 [4 r^2_o - (u^2 - m^2)]}}{u^2 - m^2}$$

Statt dessen könnte man, unter Festhaltung der kleinsten Werthe von r_0 und m, eine Zeichnung herstellen, aus derselben den ungefähr passenden Werth von δ abgreifen und mit diesem, sowie r, rückwärts die Grösse m aus der Grundgleichung rechnen, welche dann genau genug den Forderungen des § 63 entsprechen würde.

Die ganze Länge der Verbindung, in der Richtung der geraden Gleise gemessen, ergiebt sich endlich zu

$$e_1 = 2\,l_2 + (x_1 + x_2) + h_1 \cos\alpha_1 + h'_1 \cos\alpha_2 - s\,(\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2) + r_0\,[2 \sin(\alpha_1 + \delta) - (\sin\alpha_1 + \sin\alpha_2)] + m \cos(\alpha_1 + \delta)$$

In den meisten Fällen ist der Abstand der zu verbindenden Gleise so gering, dass eine solche Gegenkrümmung des Verbindungsgleises nicht zweckmässig wäre, bei kleineren Werthen von a wäre sie überhaupt nicht mehr durchführbar. Dann wäre $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ zu nehmen, damit im Zusammenhang auch $h_1 = h'_1$ und $x_1 = x_2 = x$; mit dem Bogen würde der Mittelpunktswinkel δ verschwinden und die oben entwickelten Gleichungen die folgende einfachere Gestalt annehmen:

$$a - 2\,s = (m + 2\,h_1) \sin\alpha + 2\,s \cos\alpha$$

oder

$$m + 2\,h_1 = \frac{a - 2\,s}{\sin\alpha} - \frac{2\,s}{tg\,\alpha}$$

und

$$e_1 = 2\,(l_2 + x) - 2\,s \sin\alpha + (m + 2\,h_1) \cos\alpha.$$

Zu Nr. 42.

17. Die englische Ausweichung. Mit Bezug auf Fig. 103 im zweiten Theile, Nr. 42, bezeichne in der üblichen Weise β den Winkel der geschlossenen Wechselzunge mit ihrer Anschlagschiene, $A_1\,C_1 = l_1$ die Länge der Zungenschiene, $B_1\,C_1 = z$ den, senkrecht zur Anschlagschiene gemessenen Abstand der beiden Fahrkanten an der Zungenwurzel, $C_1\,O = r$ den auf die Fahrkante des äusseren Weichenbogenstranges bezogenen Halbmesser, $2\,s$ die Spurweite und α den Kreuzungswinkel, sodann $K_1\,A_1 = m$ die Entfernung der Zungenspitze

vom mathematischen Kreuzungspunkte. Letztere wird in der Regel dadurch bestimmt sein, dass man den vor der Zungenspitze befindlichen Stoss der Anschlagschiene an das Ende des Kreuzungsblockes verlegt, doch muss man sich vergewissern, dass hierbei die im Parallelogramm $K_1 K_3 K_2 K_4$ neben einander liegenden Wechselzungen gleichzeitig hinreichend weit geöffnet werden können.

Der zwischen den aufgeführten Grössen vorhandene Zusammenhang ist nach der angezogenen Figur einfach durch

$$\overline{K_1 K_3} = 2\, s \,.\, cosec\, \alpha$$

ausgedrückt, oder weil $\overline{K_1 A_1} = m$, $\overline{A_1 B_1} = l_1 \cos\beta$ und

$$\overline{B_1 K_3} = \left(z + \frac{r \,.\, \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right)}{\sin\frac{\alpha}{2}}\right) . \, tg\,\frac{\alpha}{2} = z\, tg\,\frac{\alpha}{2} +$$

$$+ r\left(\cos\beta\, tg\,\frac{\alpha}{2} - \sin\beta\right)$$

stattfindet, auch durch

$$2\, s \,.\, cosec\, \alpha = m + l_1 \cos\beta + z\, tg\,\frac{\alpha}{2} + r\left(\cos\beta\, tg\,\frac{\alpha}{2} - \sin\beta\right)$$

woraus sich für einen gegebenen Kreuzungswinkel α der Halbmesser r zu

$$r = \frac{2\, s \,.\, cosec\, \alpha - m - l_1 \cos\beta - z\, tg\,\frac{\alpha}{2}}{\cos\beta\, tg\,\frac{\alpha}{2} - \sin\beta}$$

berechnet. Sollte für einen, aus irgend welchen Gründen feststehenden Werth von r der zugehörige Winkel α angegeben werden, so hätte man die Grundgleichung zunächst auf die Form

$$tg^2\,\frac{\alpha}{2}\left[r \cos\beta - (s - z)\right] + tg\,\frac{\alpha}{2}\,(m + l_1 \cos\beta - r \sin\beta) - s = 0$$

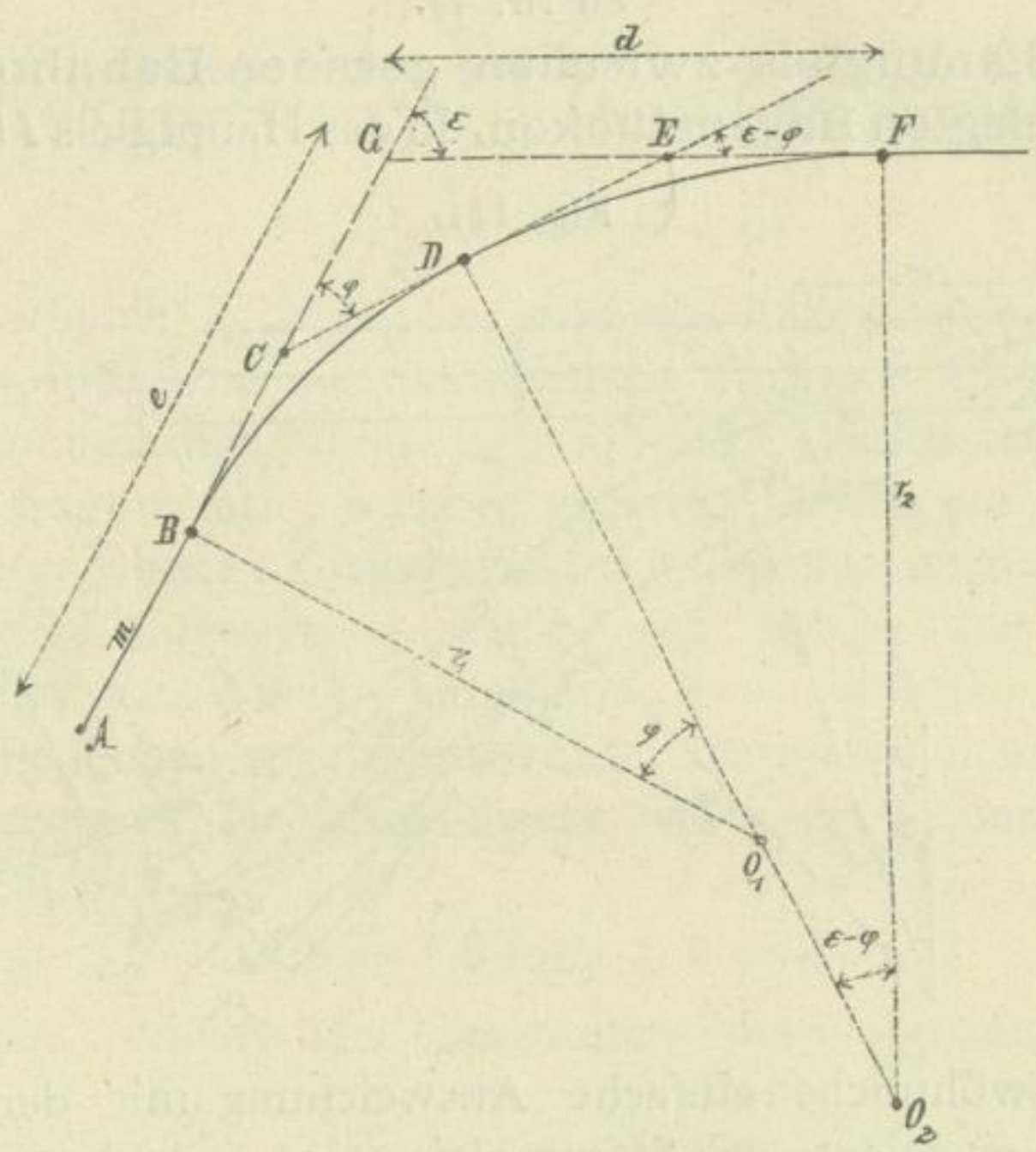
zu bringen und hieraus die Wurzel

$$tg\,\frac{\alpha}{2} = \frac{-N + \sqrt{N^2 + 4\, M s}}{2\, M}$$

zu entnehmen, worin $M = r \cos\beta - (s - z)$ und $N = m + l_1 \cos\beta - r \sin\beta$ bedeutet.

Ist die Anlage in der einen oder anderen Weise bestimmt, so können irgend welche, für die Absteckung erforderliche Grössen berechnet werden, z. B. der Scheitelabstand $K_3 L$ (Fig. 103) zu $\overline{K_3 L} = \overline{K_3 O} - \overline{L O} = \frac{r \cos\beta + z}{\cos \alpha/_2} - r$.

Fig. 140.



Zu Nr. 43.

18. Hilfsaufgabe. Durch den gegebenen Punkt A (Fig. 140) ist unter dem bekannten Winkel ε zu der Grundlinie GF eine Gerade AG gezogen, und in F berührt der Kreisbogen FED mit dem ebenfalls gegebenen Halbmesser r_2 dieselbe Grundlinie. Es soll ein Kreisbogen BCD bestimmt werden, welcher beide geometrische Gebilde berührt.

Als gegeben sind nach dem Gesagten zu betrachten die Längen $AG = e$, sowie $FG = d$, dazu der Winkel ε und der Halbmesser r_2.

Durch Projiciren des Linienzuges $FGBO_1O_2F$ auf die Grundlinie GF und senkrecht dazu erhält man ohneweiters folgende zwei Gleichungen:

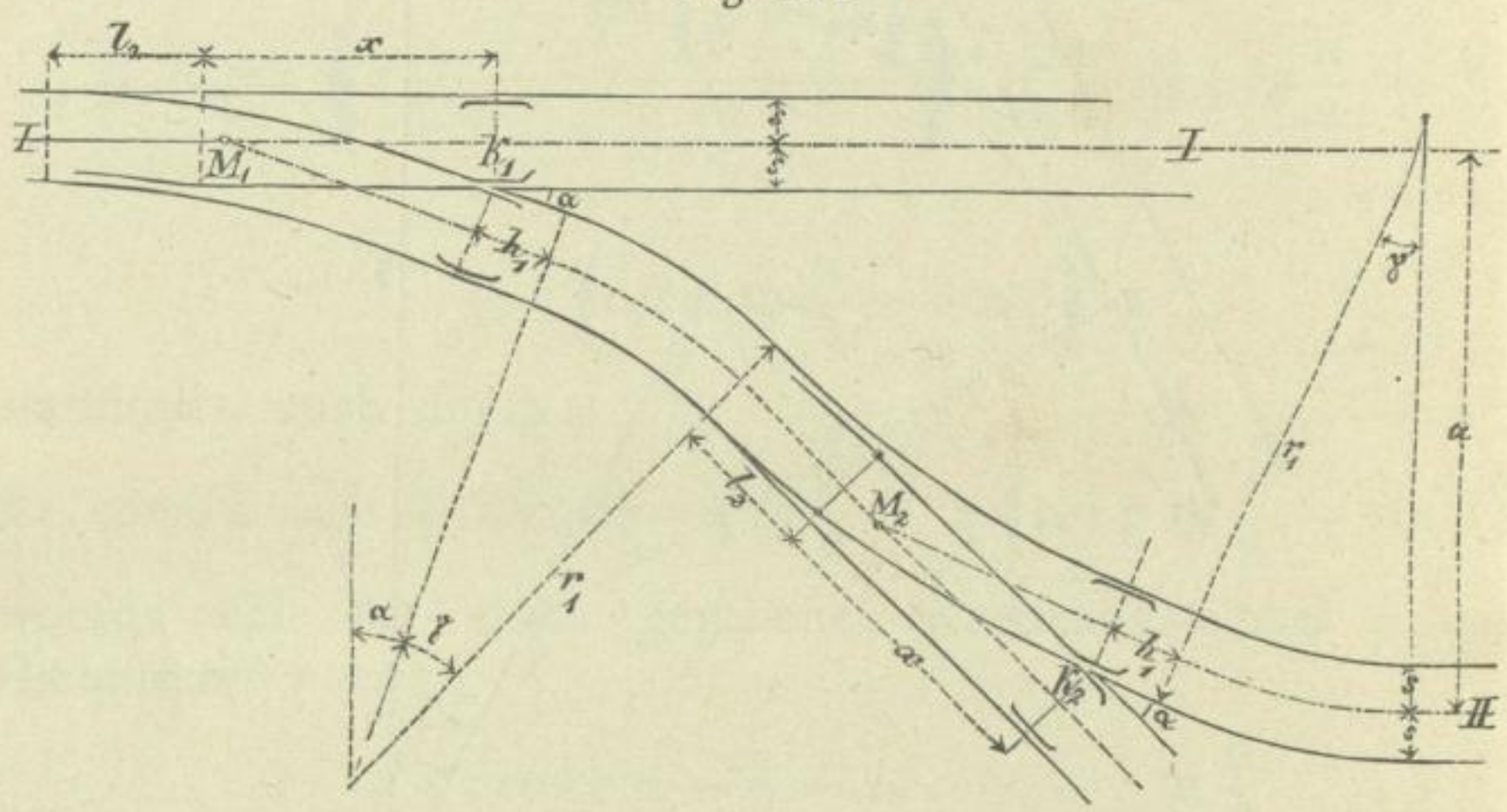
$$d + (e - m) \cos \varepsilon = r_1 \sin \varepsilon + (r_2 - r_1) \sin (\varepsilon - \varphi)$$
$$r_2 - (e - m) \sin \varepsilon = r_1 \cos \varepsilon + (r_2 - r_1) \cos (\varepsilon - \varphi)$$

woraus der Halbmesser r_1 und der Mittelpunktswinkel φ des gesuchten Bogens gefunden wird, nachdem über die Grösse m eine Wahl getroffen worden ist.

Zu Nr. 44.

19. Stammgleis zwischen geraden Bahnhofsgleisen mit eingelegten Bogenstücken. In das Hauptgleis I (Fig. 141)

Fig. 141.



ist eine gewöhnliche einfache Ausweichung mit dem Mittelpunkte M_1 eingelegt, das Stammgleis wird jedoch nicht unter deren Kreuzungswinkel α angenommen, sondern erhält durch Einschaltung eines Bogens, dessen Halbmesser der äusseren Fahrkante r_1 ist, den grösseren Neigungswinkel $(\alpha + \gamma)$. Hierauf folgt die zweite Ausweichung mit dem Mittelpunkte M_2, welche mit dem Nebengleis II durch einen Bogen in Verbindung gesetzt werden muss.

Derselbe wird am besten ebenfalls mit dem Halbmesser r_1 beschrieben und erhält, in Uebereinstimmung mit dem zuerst eingelegten, den Mittelpunktswinkel γ, sobald das Kreuzungsverhältniss $tg\,\alpha$ auch für die zweite Ausweichung beibehalten wird.

Nachdem es sich darum handelt, den Winkel des Stammgleises gegen die Achse I möglichst gross zu erhalten, wird man den Bogen gerade am Ende der ersten Ausweichung beginnen lassen und den Anfang der zweiten Ausweichung unmittelbar an das Bogenende legen. Der damit festgelegte mathematische Zusammenhang ist folgender:

$$a = h_1 \sin\alpha + r_1 [\cos\alpha - \cos(\alpha + \gamma)] + (l_2 + x) \sin(\alpha + \gamma) + \\ + h_1 \sin\gamma + r_1 (1 - \cos\gamma)$$

oder

$$a = 2 h_1 \sin\frac{\alpha+\gamma}{2} \cos\frac{\alpha-\gamma}{2} + 4 r_1 \sin\frac{\gamma}{2} \sin\frac{\alpha+\gamma}{2} \cos\frac{\alpha}{2} + \\ + (l_2 + x) \sin(\alpha + \gamma)$$

Die Grössen l_2, x, h_1, α sind als unbedingt gegeben zu betrachten, insoferne die Ausweichung für sich mit Rücksicht auf Schieneneintheilung u. dgl. ein- für allemal feststeht. Es kann nun fraglich sein, welchen grössten Werth der Winkel γ bei einem gegebenen Gleisabstand a überhaupt noch annehmen könne. Zur Beantwortung hätte man für r_1 den kleinsten noch zulässigen Werth, nämlich $r_1 = r$, welcher schon für den Weichenbogen zugelassen wurde, anzunehmen und sodann γ zu berechnen. Zu dem Zweck wäre die Grundgleichung auf die Form

$$A \sin\gamma - B \cos\gamma + C = 0$$

zu bringen, wobei die Constanten die folgenden Werthe hätten

$$A = h_1 + r_1 \sin\alpha + (l_2 + x) \cos\alpha$$
$$B = r_1 (1 + \cos\alpha) - (l_2 + x) \sin\alpha$$
$$C = r_1 (1 + \cos\alpha) + h_1 \sin\alpha - a$$

und deren Lösung durch Einführung des Hilfswinkels $tg\,\varphi = \frac{A}{B}$, oder

$$A \cos\varphi - B \sin\varphi = 0$$

auszuführen. Indem man nämlich letztere mit $\cos\gamma$, die umgeformte Gleichung aber mit $\sin\varphi$ multiplicirt und dann beide von einander abzieht, erhält man

$$\cos(\gamma + \varphi) = \frac{C}{A} \sin \varphi$$

womit der gewünschte Werth von γ gefunden ist.

In Wirklichkeit wird man auch noch auf eine passende Schieneneintheilung Rücksicht nehmen und deshalb den Bogen vom Mittelpunktswinkel γ nicht knapp zwischen die beiden Ausweichungen hineinlegen, sondern etwa hinter der ersten Ausweichung, in der Verlängerung von h_1, noch ein gerades Stück von der Länge u einschalten. Nimmt man sodann wieder wie vorhin den Werth von r_1 an und setzt u durch die Bestimmung fest, dass das mit Schienen auszulegende Stück eine, den verfügbaren Schienenlängen entsprechende Abmessung erhält, dass also

$$u + r_1 \,.\, arc\,\gamma = c \text{ oder } u = c - r_1 \,.\, arc\,\gamma$$

stattfindet, so kommt man auf folgende, etwas veränderte Grundgleichung

$$a = (h_1 + c - r_1\, arc\,\gamma) \sin \alpha + r_1 [\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma)] +$$
$$+ (l_2 + x) \sin(\alpha + \gamma) + h_1 \sin \gamma + r_1 (1 - \cos \gamma)$$

und, wenn man sich gestattet, bei der Kleinheit des Winkels γ

$$arc\,\gamma = \sin \gamma$$

zu setzen, nach einigen Umformungen auf die Gleichung

$$(A - r_1 \sin \alpha) \sin \gamma - B \cos \gamma + (C + c \sin \alpha) = 0$$

worin A, B und C die oben angegebenen Werthe besitzen.

Aus ihr ergiebt sich sodann, wie früher

$$\cos(\gamma + \varphi_1) = \frac{C + c \sin \alpha}{A - r_1 \sin \alpha} \,.\, \sin \varphi_1$$

wenn φ_1 einen durch die Gleichung $tg\,\varphi_1 = \frac{A - r_1 \sin \alpha}{B}$ bestimmten Hilfswinkel bedeutet.

Beispiel: Ist unter Voraussetzung einer normalen Schienenlänge von 6 Meter in etwas abgerundeten Massen $tg\,\alpha = 0{\cdot}1$, $\alpha = 5^0\,42'\,38''$, $\beta = 1^0\,26'\,47''$, $r = 216{\cdot}73$, $l_2 = 6$, $x = 19{\cdot}8$, $h_1 = 4{\cdot}2$ von vorneherein gegeben, liegt weiter $a = 6$ vor und nimmt man $r_1 = 220$ an, so berechnet sich

$$A = 51{\cdot}761,\ B = 436{\cdot}342,\ C = 433{\cdot}327$$

damit weiter $tg\,\varphi = \frac{A}{B} = 0{\cdot}1186250$, also $\varphi = 6^0\,45'\,54''$ und aus $cos\,(\gamma + \varphi) = \frac{C}{A}\,sin\,\varphi$, $\gamma + \varphi = 9^0\,32'\,33''$, so dass schliesslich

$$\gamma = 2^0\,46'\,39''$$

gefunden würde.

Der hier mit Schienen auszulegende Kreisbogen erhielte damit die Länge von $r_1 \,.\, arc\,\gamma = 220 \,.\, 0{\cdot}04848 = 10{\cdot}666$ Meter, welche, unter der Voraussetzung, es stünden nur 6 Meter lange Schienen zur Verfügung, nicht ohne Materialverlust hergestellt werden könnte. Es würde sich deshalb empfehlen, das gerade Stück u einzuschalten und im vorliegenden Falle

$$c = 2 \,.\, 6{\cdot}004 = 12{\cdot}008 \text{ Meter}$$

zu setzen, nämlich zwei ganze Schienenlängen einschliesslich eines Temperaturzwischenraumes von ungefähr je 4 *mm*.

Hiermit berechnete sich dann $A - r_1\,sin\,\alpha = 29{\cdot}870$, $B = 436{\cdot}342$ und $C + c\,sin\,\alpha = 434{\cdot}522$, sodann $\varphi_1 = 3^0\,54'\,58''$, $\varphi_1 + \gamma = 6^0\,31'\,59''$, $\gamma = 2^0\,37'\,1''$ und $u = 1{\cdot}961$ Meter, während auf den Bogen 10·047 treffen würde.

Ganz in derselben Weise wie zwischen den Gleisen I und II könnte die Neigung des Stammgleises durch Einlegen eines Bogens dicht hinter der zweiten Ausweichung wiederholt vergrössert werden, und so fort hinter jeder Abzweigung.

Aus diesem allgemeinen Falle ergiebt sich der besondere in Fig. 104 dargestellte, wenn man $\gamma = 0$ setzt und berücksichtigt, dass, wie aus eben dieser Figur zu ersehen ist, zwischen beiden Ausweichungen ein gerades Stück von der Länge v eingeschaltet werden muss, um festgegebene oder überhaupt praktisch brauchbare Gleisabstände a zu erhalten; man findet hiernach

$$a = (h_1 + v + l_2 + x)\,sin\,\alpha$$

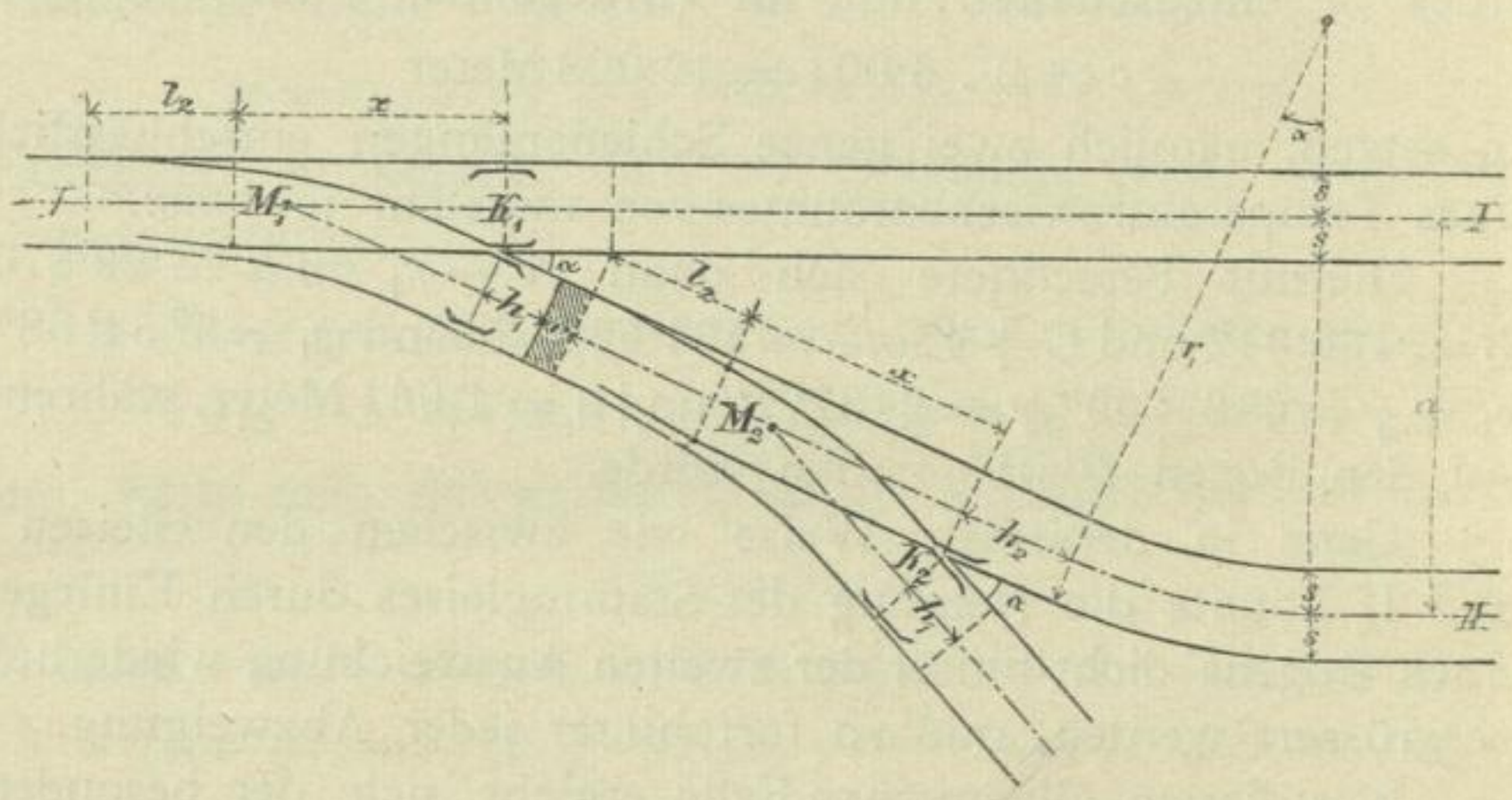
Für dieselbe, oben benützte Ausweichung vom Kreuzungsverhältniss $tg\,\alpha = 0{\cdot}1$ und $a = 6\,m$ würde sich hieraus

$$v = \frac{a}{sin\,\alpha} - (h_1 + l_2 + x) = 30{\cdot}299 \text{ Meter}$$

ergeben.

20. Stammgleis zwischen geraden Bahnhofsgleisen mit Weichenbögen. Wie in Fig. 142 dargestellt, wird mit Hilfe der Ausweichung vom Mittelpunkte M_1 aus dem Hauptgleis I in der gewöhnlichen Weise ein gerades Gleis abgezweigt, welches mittelst des Bogens vom Halbmesser r_1 in das Nebengleis II übergeht. Aus dieser, unter dem Winkel α gegen die Hauptrichtung geneigten Strecke entwickelt sich mit Hilfe einer zweiten Ausweichung (M_2) unter dem Winkel 2α zur Hauptgleisrichtung ein neues Gleisstück, welches mit dem Nebengleise III in Verbindung tritt u. s. w. Ist v die gerade Strecke, welche zur Erzielung einer bestimmten Achsenentfernung a

Fig. 142.



zwischen die Ausweichungen eingeschaltet werden muss, so ergiebt sich zur rechnerischen Feststellung der ganzen Anlage die folgende Beziehung:

$$(a - 2s) = (h_1 + v + l_2 + x + h_2) \sin\alpha + r_1 (1 - \cos\alpha)$$

woraus sich v zu

$$v = \frac{(a - 2s) - (h_1 + l_2 + x + h_2) \sin\alpha - r_1 (1 - \cos\alpha)}{\sin\alpha}$$

berechnet.

Für alle, im vorigen Beispiele angenommenen Grössen, sowie für $h_2 = 4{\cdot}2$ und $2s = 1{\cdot}435$ würde sich $v = 0{\cdot}711$ Meter ergeben, ein Mass, welches seiner Kleinheit wegen für die Ausführung ungeeignet wäre. Man könnte sich nun zwar

dadurch helfen, dass man dasselbe zu den hinter den Kreuzungsblöcken liegenden Schienenstücken zöge, d. h. diese um 0·711 Meter länger machte, als es in den Normalplänen festgestellt war. Besser wäre es jedoch, falls kleine Aenderungen an dem Abstande a zulässig wären, $v = 3$ Meter, gleich einer halben Schienenlänge anzunehmen und die dann aus der Grundgleichung sich ergebende Entfernung $a = 6{\cdot}228$ Meter zur Ausführung zu bringen.

Zu Nr. 47.

21. Verbindung mehrerer gerader, gleichlaufender Gleise mittelst einer Drehscheibe, deren Mittelpunkt in der Achse eines derselben liegt. Aus einem Wagenschuppen münden fünf Gleise, welche auf einer, vor dem Gebäude in der Achse des mittleren Gleises befindlichen Scheibe vom Halbmesser r zusammengeführt werden sollen, deren Entfernung von der vorderen Mauerflucht des Gebäudes erst noch festzulegen ist. Die schon im zweiten Theile Nr. 47 gegebene Fig. 107 werde hier wiederholt angezogen.

1. Lösung. Wollte man die Anlage so kurz als möglich haben, so müsste man den Halbmesser r_0' des äussersten eingeschalteten Bogens so klein als nur immer zulässig wählen und auch die geraden Stücke $E_1 D_1 = k$ vor der Scheibe und $A_1 B_1 = c$ vor dem Gebäude nicht grösser als eben nothwendig annehmen. Damit wäre die Form des äussersten Gleises und zugleich der Abstand des Scheibenmittelpunktes vom Gebäude festgelegt. Man fände zunächst für den Mittelpunktswinkel δ_1 des Bogens $B_1 D_1$ aus dem Dreieck $O M C_1$

$$\sin \delta_1 = \frac{2a}{r + k + r_0' \, tg \frac{\delta_1}{2}}$$

oder, entsprechend umgeformt

$$tg^2 \frac{\delta_1}{2} (2 r_0' - 2a) + 2 \, tg \frac{\delta_1}{2} (r + k) - 2a = 0$$

und daraus schliesslich

$$tg \frac{\delta_1}{2} = \frac{-(r+k) + \sqrt{(r+k)^2 + 2a(2r_0' - 2a)}}{2r_0' - 2a}$$

dann hätte man weiter für die Strecke zwischen Scheibenmittelpunkt und Mauerflucht

$$e = (r + k) \cos \delta_1 + r_o' \sin \delta_1 + c$$

In Betreff des zweiten Gleises könnte man verschiedene Annahmen machen. Setzte man z. B. wie beim äusseren Gleise $A_2 B_2 = c$ und $E_2 D_2 = k$ fest, so wäre damit auch seine Form fest bestimmt, indem sich sowohl der Halbmesser r_o'', wie auch sein Mittelpunktswinkel δ_2 unzweideutig berechnen liessen. Für ersteren ergäbe sich ziemlich einfach

$$r_o'' = \frac{(e - c)^2 + a^2 - (r + k)^2}{2a}$$

und für letzteren

$$tg \frac{\delta_2}{2} = \frac{-(r + k) + \sqrt{(r + k)^2 + a(2 r_o'' - a)}}{2 r_o'' - a}$$

oder mit Rücksicht auf den vorhin gefundenen Werth

$$2 r_o'' - a = \frac{(e - c)^2 - (r + k)^2}{a}$$

auch

$$tg \frac{\delta_2}{2} = \frac{(e - c) - (r + k)}{(e - c)^2 - (r + k)^2} \cdot a = \frac{a}{e - c + r + k}$$

Nun aber wäre erst noch zu untersuchen, welche Kreuzungen sich bei der angenommenen Form der Gleise ergeben würden und ob dieselben nicht unerwünschter Weise in die Krümmungen zu liegen kämen. Die Untersuchung und Feststellung in dieser Hinsicht ist nicht schwer durchzuführen, z. B. für den Kreuzungspunkt K_2 zwischen dem geraden mittleren und dem, ihm benachbarten Gleise $A_2 B_2 D_2 E_2$. Läge dieser noch innerhalb der zwischen Scheibe und Bogen eingeschalteten Geraden, etwa in der Entfernung x_2 vom Bogenanfang, so fände offenbar die Gleichung

$$x_2 = (r + k) - s \cot g \, \delta_2/2$$

statt, wobei s, wie gewöhnlich, die halbe Spurweite bedeutet. Eben so hätte man für den betreffenden Abstand des Kreu-

zungspunktes K_1 der beiden äusseren Gleise $A_1 B_1 D_1 E_1$ und $A_2 B_2 D_2 E_2$

$$x_1 = (r + k) - s \, cotg \frac{1}{2} (\delta_1 - \delta_2)$$

Würden sich also für x_1 und x_2 positive Werthe ergeben, so wäre damit die Lage der Kreuzungen innerhalb der Geraden festgestellt, während die Kreuzungswinkel die Werthe $(\delta_1 - \delta_2)$, beziehungsweise δ_2 hätten; fielen dagegen x_1 und x_2 negativ aus, so wäre damit die Lage der Kreuzungspunkte innerhalb der Kreisbögen dargethan.

2. Lösung. Bestimmt man von vorneherein, dass alle Kreuzungen noch in der Geraden erfolgen sollen, bei durchaus gleicher Grösse (α) der Kreuzungswinkel, so wird es sich wohl auch empfehlen, für r'_o den kleinsten zulässigen Werth anzunehmen; dann aber ist k und α nicht mehr willkürlich zu wählen, vielmehr durch die beiden Bedingungsgleichungen

$$sin \, 2 \, \alpha = \frac{2 \, a}{r + k + r'_o \, tg \, \alpha} \text{ und } (r + k) > s \, cotg \, \alpha/2$$

bestimmt. Wäre auch für α von vorneherein schon ein bestimmter Werth erwünscht, so müssten k oder r'_o dieser Bedingung entsprechend aufgesucht werden.

Alphabetisches Sachregister.

Die Zahlen bedeuten die Seiten.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

237

Durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes zu beziehen:

A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek.

Mit vielen Illustrationen. Jeder Band einzeln zu haben.

Die hier angegebenen Preise verstehen sich für geheftete Exemplare. Gebunden pro Band 45 Kr. = 80 Pf. Zuschlag für den Einband.

	fl.	M.
1. Band. Maier, Die Ausbrüche, Secte und Südweine. 2. Aufl.	1.20	= 2.25
2. Band. Eidherr-Schönberg, Spiritus- und Presshefe-Fabrikation. 3. Aufl.	1.65	= 3.—
3. Band. Gaber, Die Liqueur-Fabrikation. 4. Aufl	2.50	= 4.50
4. Band. Askinson, Die Parfumerie-Fabrikation. 2. Aufl.	2.50	= 4.50
5. Band. Wiltner, Die Seifen-Fabrikation. 3. Aufl.	1.65	= 3.—
6. Band. Rüdinger, Die Bierbrauerei	3.30	= 6.—
7. Band. Freitag, Die Zündwaaren-Fabrikation	1.35	= 2.50
8. Band. Perl, Die Beleuchtungsstoffe	1.10	= 2.—
9. Band. Andres, Die Fabrikation d. Lacke, Firnisse u. d. Siegellackes. 3. Aufl.	1.65	= 3.—
10. Band. Bersch, Die Essig-Fabrikation. 3. Aufl.	1.65	= 3.—
11. Band. Eschenbacher, Die Feuerwerkerei. 2. Aufl.	2.20	= 4.—
12. Band. Raufer, Die Meerschaum- und Bernsteinwaaren-Fabrikation	1.10	= 2.—
13. Band. Askinson, Die Fabrikation der ätherischen Oele	1.65	= 3.—
14. Band. Krüger, Die Photographie	4.—	= 7.20
15. Band. Dawidowsky, Die Leim- und Gelatine-Fabrikation. 2. Aufl.	1.65	= 3.—
16. Band. Rehwald, Die Stärke-Fabrikation. 2. Aufl.	1.65	= 3.—
17. Band. Lehner, Die Tinten-Fabrikation. 3. Aufl.	1.65	= 3.—
18. Band. Brunner, Die Fabrikation der Schmiermittel. 3. Aufl.	1.20	= 2.25
19. Band. Wiener, Die Lohgerberei	4.—	= 7.20
20. Band. Wiener, Die Weissgerberei	2.75	= 5.—
21. Band. Joclét, Die chemische Bearbeitung der Schafwolle	2.75	= 5.—
22. Band. Husnik, Das Gesammtgebiet des Lichtdrucks. 3. Aufl.	2.20	= 4.—
23. Band. Hausner, Die Fabrikation der Conserven und Canditen	2.50	= 4.50
24. Band. Lehmann, Die Fabrikation des Surrogat-Kaffees u. des Tafelsenfes	1.10	= 2.—
25. Band. Lehner, Die Kitte und Klebemittel. 3. Aufl.	1.—	= 1.80
26. Band. Friedberg, Die Fabrikation der Knochenkohle und des Thieröles	1.65	= 3.—
27. Band. Piaz, Die Verwerthung der Weinrückstände. 2. Aufl.	1.35	= 2.50
28. Band. Pick, Die Alkalien	2.50	= 4.50
29. Band. Müller, Die Bronzewaaren-Fabrikation	1.65	= 3.—
30. Band. Joclét, Handbuch der Bleichkunst	2.75	= 5.—
31. Band. Lang, Die Fabrikation von Kunst- und Sparbutter. 2. Aufl.	1.—	= 1.80
32. Band. Zwick, Die Ziegel-Fabrikation	4.60	= 8.30
33. Band. Bersch, Die Fabrikation der Mineral- und Lackfarben	4.20	= 7.60
34. Band. Pick, Die künstlichen Düngemittel. 2. Aufl.	1.80	= 3.25
35. Band. Krüger, Die Zinkogravure. 2. Aufl.	1.65	= 3.—
36. Band. Capaun-Karlowa, Medicinische Specialitäten. 2. Aufl.	1.80	= 3.25
37. Band. Romen, Die Colorie der Baumwolle	2.20	= 4.—
38. Band. Weiss, Die Galvanoplastik. 2. Aufl.	1.80	= 3.25
39. Band. Piaz, Die Weinbereitung und die Kellerwirthschaft. 2. Aufl.	2.20	= 4.—
40. Band. Thenius, Die technische Verarbeitung des Steinkohlentheers	1.35	= 2.50
41. Band. Bersch, Die Fabrikation der Erdfarben	1.65	= 3.—
42. Band. Heckenast, Die Desinfectionsmittel	1.10	= 2.—
43. Band. Husnik, Die Heliographie	2.50	= 4.50
44. Band. Bersch, Die Fabrikation der Anilinfarbstoffe	3.60	= 6.50
45. Band. Capaun-Karlowa, Chemisch-technische Specialitäten. 2. Aufl.	1.35	= 2.50
46. Band. Joclét, Die Woll- und Seidendruckerei	3.60	= 6.50
47. Band. R. v. Regner, Die Fabrikation des Rübenzuckers	1.65	= 3.—
48. Band. Wouwermans, Farbenlehre	1.20	= 2.25
49. Band. Uhlenhuth, Anleitung zum Formen und Giessen. 2. Aufl.	1.10	= 2.—
50. Band. A. v. Regner, Die Bereitung der Schaumweine	2.75	= 5.—
51. Band. Zwick, Kalk- und Luftmörtel	1.65	= 3.—
52. Band. Krupp, Die Legirungen	2.75	= 5.—
53. Band. Capaun-Karlowa, Unsere Lebensmittel	1.10	= 2.—
54. Band. Krüger, Die Photokeramik	1.35	= 2.25
55. Band. Thenius, Die Harze	1.80	= 3.50
56. Band. Pick, Die Mineralsäuren	2.75	= 5.—
57. Band. Ritter, Wasser und Eis	2.20	= 4.—
58. Band. Zwick, Hydraulischer Kalk und Portland-Cement	2.50	= 4.50
59. Band. Miller, Die Glasätzerei. 2. Aufl.	1.—	= 1.80
60. Band. Böckmann, Die explosiven Stoffe	2.75	= 5.—
61. Band. Koller, Die Verwerthung der Abfallstoffe	2.20	= 4.—
62. Band. Hoffer, Kautschuk und Guttapercha	1.80	= 3.25
63. Band. Joclét, Die Kunst- und Feinwäscherei. 2. Aufl.	1.—	= 1.80
64. Band. Artus, Grundzüge der Chemie	3.30	= 6.—
65. Band. Randau, Die Fabrikation der Emaille	1.65	= 3.—
66. Band. Gerner, Die Glasfabrikation	2.50	= 4.50
67. Band. Thenius, Das Holz und seine Destillationsproducte	2.50	= 4.50
68. Band. Boeck, Die Marmorirkunst	1.—	= 1.80
69. Band. Esslinger, Die Fabrikation des Wachstuches	1.35	= 2.50
70. Band. Böckmann, Das Celluloid	1.—	= 1.80
71. Band. Fürstenau, Das Ultramarin	1.—	= 1.80
72. Band. Burgmann, Petroleum und Erdwachs	1.80	= 3.5
73. Band. Schlosser, Das Löthen und die Bearbeitung der Metalle	1.65	= 3.—

		fl.	M.
74. Band.	Müller, Die Gasbeleuchtung im Hause und die Selbsthilfe des Gasconsumenten	1.10	= 2.—
75. Band.	Pick, Die Untersuchung der gebräuchlichsten Stoffe	2.50	= 4.50
76. Band.	Hartmann, Das Verzinnen. 2. Aufl.	1.65	= 3.—
77. Band.	Sykora & Schiller, Chemie der Rübensaftreinigung	1.80	= 3.25
78. Band.	Keim, Die Mineralmalerei	1.—	= 1.80
79. Band.	Saldau, Die Chocolade-Fabrikation	1.80	= 3.25
80. Band.	Jünemann, Die Briquette-Industrie	2.75	= 5.—
81. Band.	Japing, Die Darstellung des Eisens	1.80	= 3.25
82. Band.	Wiener, Die Lederfärberei	1.65	= 3.—
83. Band.	Thalmann, Die Fette und Oele	1.65	= 3.—
84. Band.	Meitz, Die Fabrikation der moussirenden Getränke	1.10	= 2.—
85. Band.	Wagner, Gold, Silber und Edelsteine	1.80	= 3.25
86. Band.	Horatius, Die Fabrikation der Aether und Grundessenzen	1.80	= 3.25
87. Band.	Andés, Die technischen Vollendungsarbeiten der Holzindustrie	1.35	= 2.50
88. Band.	Ruprecht, Die Fabrikation von Albumin und Eierconserven	1.20	= 2.25
89. Band.	Keim, Die Feuchtigkeit der Wohngebäude	1.35	= 2.50
90. Band.	Miller, Die Verzierung der Gläser durch den Sandstrahl	1.35	= 2.50
91. Band.	Jünemann, Die Fabrikation des Alauns	1.35	= 2.50
92. Band.	Seemann, Die Tapete	2.20	= 4.—
93. Band.	Hermann, Die Glas-, Porzellan- und Emailmalerei	2.20	= 4.—
94. Band.	Bersch, Die Conservirungsmittel	1.35	= 2.50
95. Band.	Urbanitzky, Die elektrische Beleuchtung	2.20	= 4.—
96. Band.	Wilfert, Presshefe, Kunsthefe und Backpulver	1.10	= 2.—
97. Band.	Japing, Der praktische Eisen- und Eisenwaarenkenner	3.30	= 6.—
98. Band.	Wipplinger, Die Keramik od. d. Fabrikat. v. Töpfergeschirr u. s. w.	2.50	= 4.50
99. Band.	Koppe, Das Glycerin	1.35	= 2.50
100. Band.	Toifel, Handbuch der Chemigraphie	1.80	= 3.25
101. Band.	Lehner, Die Imitationen	1.80	= 3.25
102. Band.	Andés, Die Fabrikation der Copal-, Terpentinöl- und Spirituslacke	3.—	= 5.40
103. Band.	Japing, Kupfer und Messing	1.65	= 3.—
104. Band.	Reis, Die Bereitung der Brennerei-Kunsthefe	—.80	= 1.50
105. Band.	Bersch, Die Verwerthung des Holzes auf chemischem Wege	2.50	= 4.50
106. Band.	Luhmann, Die Fabrikation der Dachpappe und der Anstrichmasse für Pappdächer	1.80	= 3.25
107. Band.	Heinze, Anleitung zur chemischen Untersuchung und rationellen Beurtheilung der landwirthschaftlich wichtigsten Stoffe	1.80	= 3.25
108. Band.	Schuberth, Das Lichtpausverfahren	—.80	= 1.50
109. Band.	Richter, Zink, Zinn und Blei	1.80	= 3.25
110. Band.	Friedberg, Die Verwerthung der Knochen auf chemischem Wege	2.20	= 4.—
111. Band.	Oehme, Die Fabrikation der wichtigsten Antimon-Präparate	1.10	= 2.—
112. Band.	Krüger, Handbuch der Photographie der Neuzeit	2.20	= 4.—
113. Band.	Japing, Daht und Drahtwaaren	3.60	= 6.50
114. Band.	Wiltner, Die Fabrikation der Toiletteseifen	2.20	= 4.—
115. Band.	Andés, Handbuch für Anstreicher und Lackirer	1.80	= 3.25
116. Band.	Hödl, Die nwen dung der Theerfarben in der Industrie	1.35	= 2.50
117. Band.	Andés, Die Verarbeitung des Hornes, Elfenbeins etc.	1.65	= 3.—
118. Band.	Wilfert, Die Kartoffel- und Getreidebrennerei	3.—	= 5.40
119. Band.	Husnik, Die Reproductions-Photographie	1.80	= 3.25
120. Band.	Wolff, Die Beizen, ihre Darstellung, Prüfung und Anwendung	1.65	= 3.—
121. Band.	Mierzinski, Die Fabrikation des Aluminium und der Alkalimetalle	1.10	= 2.—
122. Band.	Volkmer, Die Technik der Reproduction von Militärkarten und Plänen	2.50	= 4.50
123. Band.	Luhmann, Die Kohlensäure	2.20	= 4.—
124. Band.	Andés, Die Fabrikation der Siegel- und Flaschenlacke	1.65	= 3.—
125. Band.	Oertel, Die Teigwaaren-Fabrikation	1.35	= 2.50
126. Band.	Hagen, Praktische Anleitung zur Schriftmalerei	1.—	= 1.80
127. Band.	Thenius, Die Meiler- und Retorten-Verkohlung	2.50	= 4.50
128. Band.	Wahlburg, Die Schleif-, Polir- und Putzmittel	2.50	= 4.50
129. Band.	Rossmässler, Die Verarbeitung der Naphtha	1.10	= 2.—
130. Band.	Husnik, Die Zinkätzung (Chemigraphie etc.)	1.65	= 3.—
131. Band.	Stefan, Die Fabrikation der Kautschukstempel; Kork	2.20	= 4.—
132. Band.	Sedna, Das Wachs und seine technische Verwendung	1.35	= 2.50
133. Band.	Venerand, Asbest und Feuerschutz	1.80	= 3.25
134. Band.	Polleyn, Die Appreturmittel und ihre Verwendung	2.50	= 4.50
135. Band.	Gaber, Die Fabrikation von Rum, Arrak und Cognac	2.50	= 4.50
136. Band.	Engelhardt, Handbuch der prakt. Seifen-Fabrikation. I. Band	3.30	= 6.—
137. Band.	» » » » » » II. Band	3.30	= 6.—
138. Band.	Mierzinski, Handbuch der prakt. Papier-Fabrikation. I. Band	3.30	= 6.—
139. Band.	Krüger, Die Filter für Haus und Gewerbe	1.80	= 3.25
140. Band.	Japing, Blech und Blechwaaren	3.—	= 5.40
141. Band.	Mierzinski, Handbuch der prakt. Papier-Fabrikation. II. Band	2.20	= 4.—
142. Band.	» » » » » » III. Band	1.80	= 3.25
143. Band.	Krätzer, Wasserglas und Infusorienerde	1.65	= 3.—
144. Band.	Hubbard, Verwerthung der Holzabfälle	1.65	= 3.—
145. Band.	Weber, Malzfabrikation	2.50	= 4.50
146. Band.	Bergmann, Receptbuch der Metall-Industrie	2.20	= 4.—

***** A. Hartleben's Chemisch-technische Bibliothek wird unausgesetzt erweitert. *****

Ausführliche Prospecte gratis.