

# ORGAN

für die

## FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS

in technischer Beziehung.

Fachblatt des Vereines deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Neue Folge. XLIV. Band.

Die Schriftleitung hält sich für den Inhalt der mit dem Namen des Verfassers versehenen Aufsätze nicht für verantwortlich.  
Alle Rechte vorbehalten.

12. Heft. 1907.

### Mammutpumpen im Eisenbahnbetriebe.

Von C. Guillery, Königlicher Baurat zu Unterhaching bei München.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 9 auf Tafel XLVII und Abb. 1 bis 5 auf Tafel XLVIII.

Die Mammutpumpen sind heute keine technische Neuheit mehr. Die in ihren ersten Anfängen schon über hundert Jahre alten Prefsluft-Wasserheber sind durch Verbesserungen der ganzen Anordnung und Ausbildung der Einzelheiten insbesondere durch das Werk A. Borsig in Tegel bei Berlin schon seit einiger Zeit zu großer technischer Vollendung gebracht, so daß sich heute ein sicheres Urteil darüber gewinnen läßt, was mit diesen Pumpen geleistet werden kann. Das genannte Werk hat schon gegen 900 Mammutpumpen mit einer stündlichen Leistung von zusammen 60000 cbm ausgeführt.

Die Einrichtung der Mammutpumpen besteht darin, daß geprefste Luft unter ein in einer Flüssigkeit, gewöhnlich Wasser,

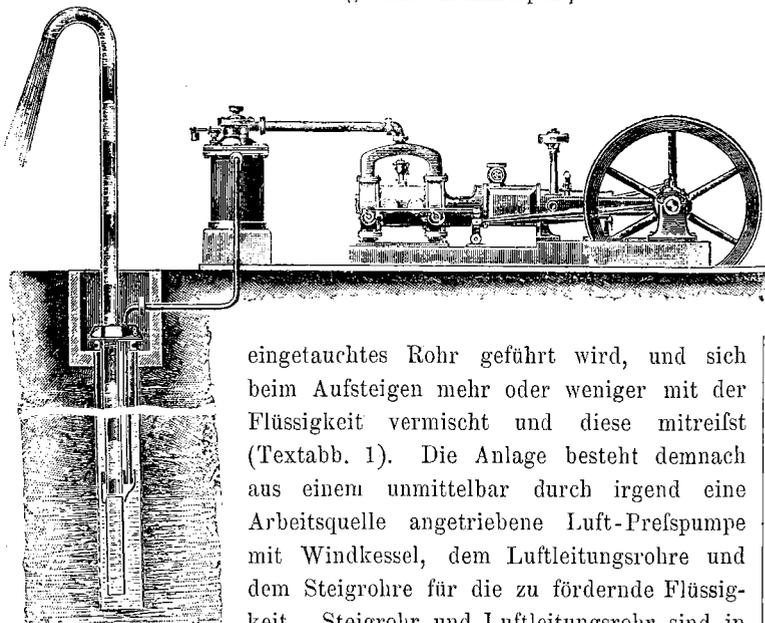
Gemisches von Flüssigkeit und Luft in dem in die Flüssigkeit eingetauchten Teile des Steigrohres gegen das der umgebenden Flüssigkeit gibt den Auftrieb.

Im folgenden soll nur von Mammutpumpen für Wasserförderung die Rede sein, obwohl diese Pumpen auch vielfach zur Hebung von anderen Flüssigkeiten verwendet werden, für die Kolbenpumpen ungeeignet sind.

Das Steigrohr muß um das ein- bis anderthalbfache der Förderhöhe in das Wasser eintauchen, damit der zum Heben erforderliche Auftrieb entsteht. Die Frage, ob sich die Prefsluft in Schichten in das Wasser einordnet, und dieses etwa wie ein Kolben vor sich her treibt, oder ob sie sich in kleinen Blasen im Wasser verteilt, braucht hier nicht näher erörtert zu werden. Durch Versuche von Professor Josse im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule in Charlottenburg\*) ist mittels eines in den obern Teil des Steigrohres einer Mammutpumpe eingeschalteten Glasrohres bewiesen, daß die Prefsluft an dieser Stelle in erbsengroßen Blasen im Wasser verteilt ist. Wahrscheinlich tritt die Prefsluft je nach der Windkesselspannung der Prefspumpe in zusammenhängenden größeren Blasen in das untere Ende des Steigrohres ein und verteilt sich dann allmählich während des Aufsteigens mehr im Wasser.

Der allgemeineren Anwendung von Mammutpumpen steht ihr geringer Wirkungsgrad im Wege. Nach den Untersuchungen in Charlottenburg steigt das Verhältnis der Nutzleistung an gehobenem Wasser zu der Arbeitsleistung der Prefspumpe nicht über 45%. Es wäre deshalb verfehlt, eine Mammutpumpe da zu verwenden, wo sich eine sparsamer arbeitende Schachtpumpe oder eine über Tage aufgestellte Pumpe mit Kolben ohne besonders hohe Bau- oder Betriebskosten anlegen läßt. Es gibt indes zahlreiche Fälle, in denen die Anlage von Kolbenpumpen mit zu großen Kosten verbunden sein würde. Die Verwendung von Mammutpumpen empfiehlt sich bei großer Förderhöhe wegen des Fortfalles weiter gemauerter Brunnen,

Abb. 1. Anlage einer Mammutpumpe.



eingetauchtes Rohr geführt wird, und sich beim Aufsteigen mehr oder weniger mit der Flüssigkeit vermischt und diese mitreißt (Textabb. 1). Die Anlage besteht demnach aus einem unmittelbar durch irgend eine Arbeitsquelle angetriebene Luft-Prefspumpe mit Windkessel, dem Luftleitungsrohre und dem Steigrohre für die zu fördernde Flüssigkeit. Steigrohr und Luftleitungsrohr sind in einem Bohrloche untergebracht. Abb. 1 und 2, Taf. XLVII stellen eine Prefspumpe und Abb. 3 und 4, Taf. XLVII die Anordnung des zugehörigen Plattenventiles dar.

Der Unterschied in dem Gewichte der Raumeinheit des

\*) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1898, Seite 981 ff.

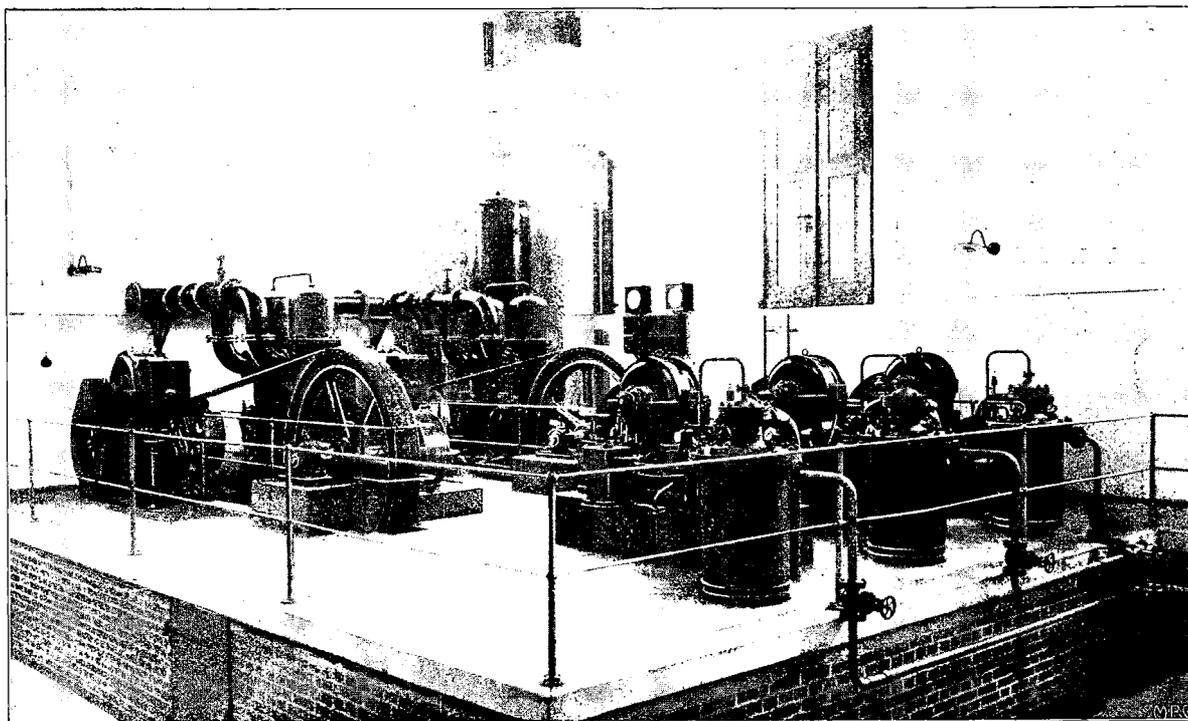
deren Anlagekosten bei zunehmender Tiefe schnell wachsen, ferner bei großer Entfernung der Pumpen von den Wasserentnahmestellen, sowie auch zur Hebung von schlammhaltigen und von heißen Flüssigkeiten, zum Abteufen von Bohrröhren in schwimmendem Gebirge und zur Hebung von Salzsole und anderen, namentlich säurehaltigen, die Pumpenzylinder, Kolben und Ventile stark angreifenden Flüssigkeiten. Bei der Hebung von heißem Wasser kommt die Erwärmung und die dadurch veranlasste Ausdehnung der Pressluft noch der Leistung der Pumpe zugute, statt sie, wie bei einer Kolbenpumpe, zu beeinträchtigen. Auch zum Baggern und bei Pressluftgründungen ist die Mammutpumpe mit Erfolg verwendet. Ist die zu fördernde Flüssigkeit bis zu erheblicher Höhe über die Sohle des Maschinenhauses zu pumpen, so wird zweckmäßig ein Zwischenbehälter in den Boden gelegt, in den die Mammutpumpe die gehobene Flüssigkeit ausgießt. Von dem Zwischenbehälter aus schaffen dann Kolbenpumpen die Flüssigkeit weiter bis auf die gewünschte Höhe. Die Kolbenpumpen werden entweder gesondert von der Presspumpe angeordnet, oder in neuerer Zeit auch vielfach mit dieser zusammengebaut. Wo Verschlämmungen der Bohrlöcher zu befürchten sind, wird noch eine Pressluftleitung von dem untern Ende des Steigrohres abwärts weitergeführt bis zu der entsprechend tiefer

gelegten Sohle des Bohrloches, um den abgesetzten Schlamm während des Pumpens aufwühlen zu können.

Im folgenden sollen drei neuere Anlagen von Mammutpumpen des Werkes A. Borsig besprochen werden, die bei verschiedenen Eisenbahnverwaltungen in Betrieb sind und zu deren Zufriedenheit arbeiten: Die Anlage der bayerischen Staatseisenbahnverwaltung auf dem neuen Verschiebebahnhof bei Nürnberg, die Anlage der sächsischen Staatseisenbahnverwaltung in der neuen Werkstätte Engelsdorf bei Leipzig und die Anlage der belgischen Staatseisenbahnverwaltung in Mouscron, südlich von Courtrai. Über die beiden erstgenannten Anlagen kann ich nach eigenem Augenscheine berichten.

Die Pumpenanlage auf dem Verschiebe-Bahnhofe Nürnberg (Abb. 5 bis 7, Taf. XLVII) fördert sehr weiches Wasser aus einem unter wasserundurchlässigen Bodenschichten liegenden Grundwasserströme, während das über diesen Schichten stehende Grundwasser 18 bis 20 deutsche Härtegrade hat und ungereinigt zur Kesselspeisung nicht verwendbar ist. Die Anlage besteht aus drei von elektrischen Triebmaschinen mit Zahnradübertragung angetriebenen Mammutpumpen, die das Wasser aus Bohrlöchern bis annähernd zur Geländehöhe fördern und aus ebensoviel besonderen Presspumpen, die das Wasser weiter

Abb. 2. Mammutpumpen-Anlage auf dem Verschiebehahnhofe Nürnberg.



heben bis zum Hochbehälter (Textabb. 2 und Abb. 6, Taf. XLVII). Von den Pumpen sind zwei in dauerndem Betrieb. Jede pumpt aus einem Bohrloche von 220 mm Weite und 69,46 bis 73,3 m Tiefe. Beide Bohrlöcher sind zum Abdichten gegen das obere Grundwasser bis zu 40 m Tiefe verrohrt. Der Grundwasserspiegel steigt bis 8 m unter Geländehöhe, während des Pumpens senkt er sich um etwa 7 m, so daß die ganze Förderhöhe der Mammutpumpen etwa 15 bis höchstens 18 m

beträgt. Die Mammutpumpen gießen das Wasser in einen Behälter aus, dessen Oberkante bündig mit dem Gelände liegt und aus dem die Druckpumpen das Wasser zur Weiterbeförderung in die Hochbehälter nehmen. Jede Pumpe schafft 26 bis 27 cbm/St. Viel mehr können die Brunnenlöcher nicht hergeben, deshalb beträgt die ganze Leistung nur 33 cbm/St., wenn zwei Presspumpen auf das Steigrohr eines Brunnens arbeiten. Den Mammutpumpen kommt im vorliegenden Falle neben der

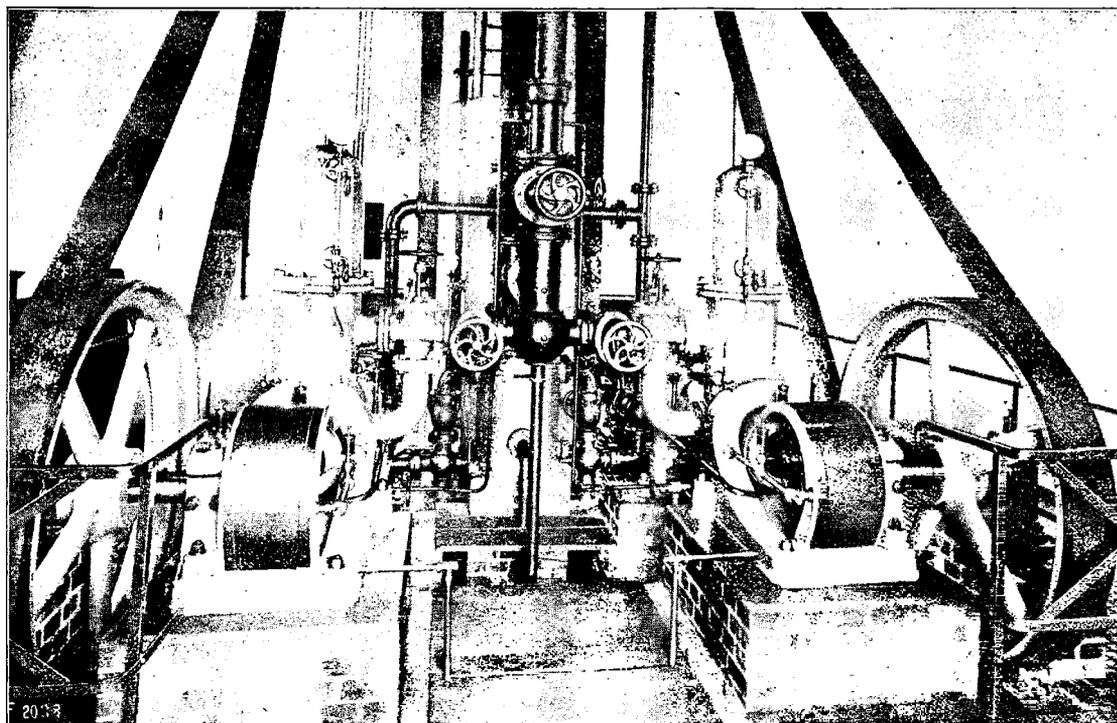
erheblichen Förderhöhe die Abgelegenheit der Brunnenlöcher zustatten. Das erste Brunnenloch liegt über 300 m, das zweite über 700 m von dem Maschinenhause entfernt. Hätte man hier Kolbenpumpen verwenden wollen, so wären entweder besondere Pumpen für jeden Brunnen oder lange Saugleitungen, gegebenen Falles Heberleitungen erforderlich geworden. Dem gegenüber ist der Betrieb mit Mammutpumpen sehr einfach und die Anlage billig, auch bietet der Betrieb bei seiner Einfachheit große Sicherheit gegen Störungen. Die Pumpen der besprochenen Anlage sind alle in dem Maschinenhause einer großen bahneigenen Kraftanlage für Beleuchtung und Kraftbetrieb untergebracht und deshalb unter guter Aufsicht und Wartung, außerhalb des Maschinenhauses befindet sich nichts als die Rohrleitungen für Luft und Wasser nebst dem Zwischenbehälter. Aus der Zeichnung Textabb. 2 und Abb. 6, Taf. XLVII ist die Anordnung der ganzen Maschinenanlage zu ersehen.

Im Jahre 1905 sind von diesen Mammutpumpen im ganzen 309 088 cbm Wasser gefördert, einschliesslich des Kesselspeisewassers der Kraftanlage, das nicht erst in den 35 m über dem Gelände liegende Hochbehälter geschafft, sondern unmittelbar den Dampfkesseln zugeführt wird. Für die Förderung des Wassers aus den Brunnen in den Hochbehälter sind in demselben Jahre 1 345 740 hektowattstunden an elektrischer Arbeit verbraucht, ausserdem 121 655 hektowattstunden für das Kesselspeisewasser. Die ganzen Betriebskosten der Wasserförderung einschliesslich Löhne haben 20 488 Mark ohne die Kosten für das Kesselspeisewasser betragen. Der Selbstkostenpreis für

fähigkeit der Pumpenanlage durch Bohren eines dritten Brunnens und die Beschaffung einer weiteren Presspumpe von der Grösse der vorhandenen zu erhöhen. Für eine solche Erweiterung sind die Mammutpumpen wieder sehr bequem, namentlich bei spärlichem Wasserzuflusse, da die Entfernung der Brunnenlöcher von dem Maschinenhause wenig in Betracht kommt, also das Aufsuchen einer geeigneten Stelle für ausreichendes und brauchbares Wasser sehr erleichtert ist. Die starke Absenkung des Wasserspiegels beim Betriebe der Mammutpumpen darf nicht befremden; dies ist nur ein Zeichen dafür, dass der Wasserzufluss überhaupt schlecht ist. Bei Anlage weiter gemauerter Brunnen unter Verwendung von Kolbenpumpen würde eine ähnliche, wenn auch nicht ganz so starke Absenkung stattfinden, eine solche Pumpenanlage würde sich aber nicht betreiben lassen, ohne dass die Pumpen unter den natürlichen Grundwasserspiegel gelegt würden. Es ist ein Fall bekannt, in dem aus einem 200 mm weiten Bohrrohr mittels einer Schachtpumpe 60 cbm/St. Wasser, also 1000 l/Min. gefördert wurden, ohne dass überhaupt eine messbare Senkung des Wasserspiegels stattfand. Wo überhaupt guter Wasserzufluss vorhanden ist, genügt auch ein Bohrloch von 200 bis 300 mm Weite für 60 cbm/St. und mehr, wo aber spärlicher Wasserzufluss ist, hilft auch ein teurer gemauerter, weiter Brunnen nicht viel mehr.

Anderer Art als die Nürnberger Anlage ist die der sächsischen Staatseisenbahnen in der Werkstätte Engelsdorf (Textabb. 3 und Abb. 1 bis 5, Taf. XLVIII). Hier sind die Presspumpen mit den Hebepumpen zur Weiterbeförderung des Wassers in den

Abb. 3. Mammutpumpen-Anlage in der Hauptwerkstätte Engelsdorf der Sächsischen Staatsbahnen bei Leipzig.



1 cbm Wasser hat 7,3 Pf. betragen, was in Anbetracht der ungünstigen Wasserverhältnisse und der hohen Lage des Wasserbehälters nicht viel ist. Es ist beabsichtigt, die Leistungs-

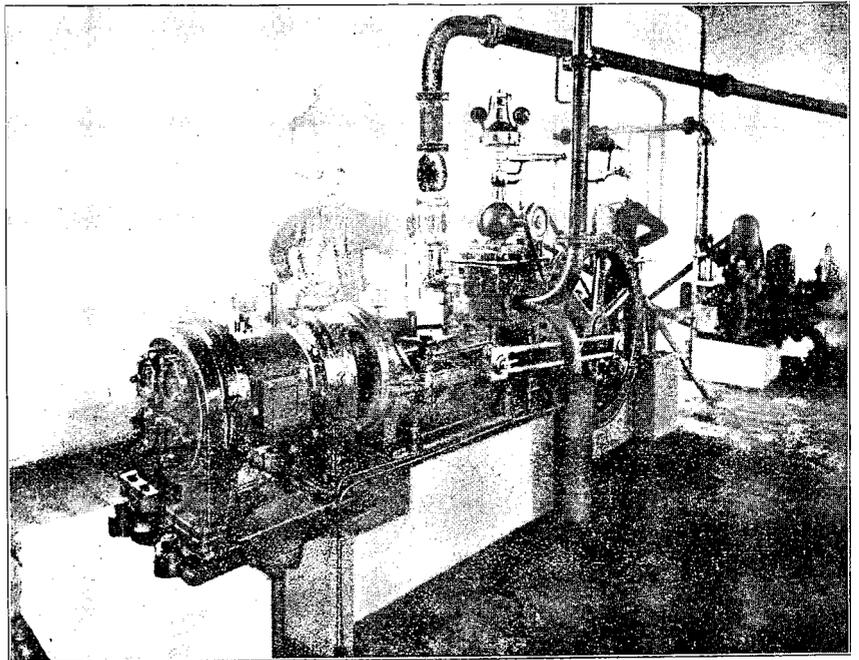
Hochbehälter in einem Maschinengestelle zusammengebaut, sodass die ganze Anlage wenig Raum beansprucht und deshalb bequem im untern Geschosse des Wasserturmes untergebracht werden konnte. Der Antrieb der Pumpen erfolgt durch elektrische Triebmaschinen mittels Riemenantriebes und eines an der Decke angebrachten Zwischenvorgeleges. Die Pumpen arbeiten fast geräuschlos. Es sind zwei Pumpen vorhanden, aber nur ein Brunnenloch von 50 m Tiefe und 300 mm Bohrweite. Die eine der beiden Pumpen arbeitet täglich neun Stunden, die zweite vier, jede Pumpe leistet dann

45 cbm/St. Die Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Achse der Hebe- und Presspumpen beträgt etwa 9,7 m, die Absenkung des Grundwasserspiegels durch den Betrieb der Pumpen

etwa 7,5 m. Die Förderhöhe für die Mammutpumpen beträgt durchschnittlich etwa 15,5 m, die ganze Förderhöhe bis zum Hochbehälter etwa 38 m. Nebenbei wird die Prefsluft noch zur zeitweiligen Erneuerung der Luft in einem in die Falleitung des Hochbehälters eingeschalteten Windkessel benutzt. Die ganze Maschinenanlage macht durch die gute Ausnutzung des Raumes, ihre geschickte Anordnung und guten Formen einen bestechenden Eindruck.

Die Anlage der belgischen Staatsbahn in Mouscron ist ausgezeichnet durch große Förderhöhe und sehr schlechten Wasserzufluss. Wegen der großen Förderhöhe ist Zuführung von Prefsluft an zwei Stellen des Steigrohres angeordnet. Es ist nur ein Bohrbrunnen und eine Betriebspumpe, sowie eine Bereitschaftspumpe vorhanden. Der Wasserspiegel sinkt beim Pumpen auf 86,45 m unter Gelände. Die Leistung der Pumpen beträgt je 170 l/Min. oder 10,2 cbm/St. Pref- und Hebepumpen sind hier wieder getrennt, ähnlich wie in Nürnberg, indessen erfolgt der Antrieb der ersteren unmittelbar durch eine Dampfmaschine, während die Hebepumpe, die das von der Mammutpumpe geförderte Wasser in den Hochbehälter schafft, von der Prefspumpe aus durch Riemen angetrieben wird.

Abb. 4. Mammutpumpen-Anlage auf dem Bahnhof Mouscron der belgischen Staatsbahn.



(Textabb. 4). Zwischen dem Ausgusse der Mammutpumpen und der Saugleitung der Kolbenpumpen für den Hochbehälter ist ein Klärbehälter angeordnet.

### Die neuen Lokomotiven der englischen Westbahn.

Von **Charles S. Lake**, mitarbeitendem Mitgliede der Institution of Mechanical Engineers, London.

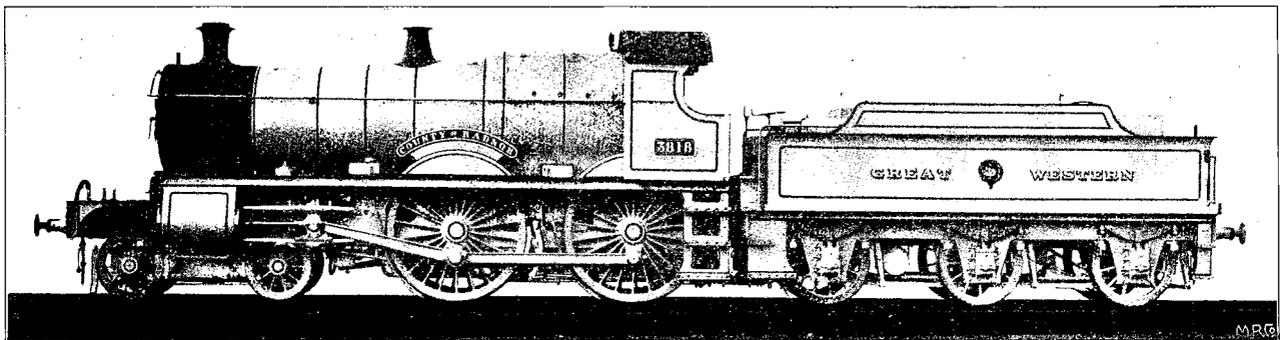
Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 3 auf Tafel XLV und Abb. 1 bis 7 auf Tafel XLVI.

(Schluss von Seite 219.)

Nr. 2), Textabb. 2 und Abb. 2, Taf. XLV zeigen eine zweite Lokomotive der 2. B. 0-Bauart, bei der die Zylinder außerhalb der Rahmen angeordnet sind, und die Schieberkasten auf diesen liegen. Auch sind noch andere wichtige Abweich-

ungen von Nr. 1) vorhanden. Die Zylinderverhältnisse dieser Lokomotive, welche zu der »County«-Reihe gehört, deren Lokomotiven die Namen der von der englischen Westbahn durchfahrenen Grafschaften tragen, sind für die wesentlichen

Abb. 2. 2. B. 0-Lokomotive der „County“-Klasse.



Teile der ganzen Bauart maßgebend. Der Kolbenhub ist ungewöhnlich lang, nämlich 762 mm. Dieser verbietet zunächst, die Zylinder innerhalb der Rahmen anzubringen, da der Kessel bei solcher Lage zu hoch gelegt werden müßte, um unter ihm Raum für die Kurbeln der Triebachse zu erhalten. Die außen liegenden Zylinder verhindern sodann die Verwendung eines doppelten Rahmens. Der lange Kolbenhub bedingt auch einen

größern Achsstand des Drehgestelles, damit die außerordentlich langen Stahlguß-Zylinder zwischen den Rädern des Drehgestelles untergebracht werden können. Um die Vergrößerung des Achsstandes so viel als möglich einzuschränken, ist der Raddurchmesser gegen das gewöhnliche Maß verringert.

Jeder Zylinder ist mit seinem Schieberkasten und der Hälfte des Sattels, auf welchem die Rauchkammer des Kessels

ruht, in einem Stücke gegossen. Zur Dampfverteilung werden durch Stephenson'sche Schwingensteuerung betätigte Kolbenschieber verwendet. Die zweimittigen Steuerungscheiben sind auf die Triebachse gesetzt. Der Hauptteil der Steuerung liegt innerhalb, aber die Schieberstangen arbeiten an der Außenseite der Rahmen, die Bewegung wird mittels schwingender Welle und Kurbel mit Gelenkglied auf sie übertragen.

Die Triebstangen haben die starke Form mit dickem Ende am Kurbelzapfenlager statt der gewöhnlich verwendeten rechteckigen oder abgeflachten Form des Endes.

Das Ende des Kurbelzapfens besitzt ein feines Gewinde, auf das die Haube aufgeschraubt ist; letztere ist durch einen durchgesteckten, mit Gewinde versehenen Spitzbolzen gesichert. Die Kuppelstangen sind auf dieselbe Weise gesichert. Die Trieb- und Kuppelstangen haben starken Querschnitt und sind sorgfältig hergestellt und angebracht. Bremsklötze sind sowohl an den Drehgestell-, als auch an den anderen Rädern der Lokomotive und an denen des Tenders angebracht, sodafs für alle Fahrverhältnisse reichliche Bremskraft vorhanden ist.

Die Annahme des Kolbenhubes von 762 mm für diese und andere Lokomotiven der englischen Westbahn ist von englischen Ingenieuren ziemlich ungünstig beurteilt worden.

Die so eingerichteten Schnellzuglokomotiven durchlaufen im Laufe des Tages öfter beträchtliche Entfernungen mit Geschwindigkeiten von 110 bis 130 km/St. im Gefälle; die Kolbengeschwindigkeit wird hierbei außerordentlich hoch.

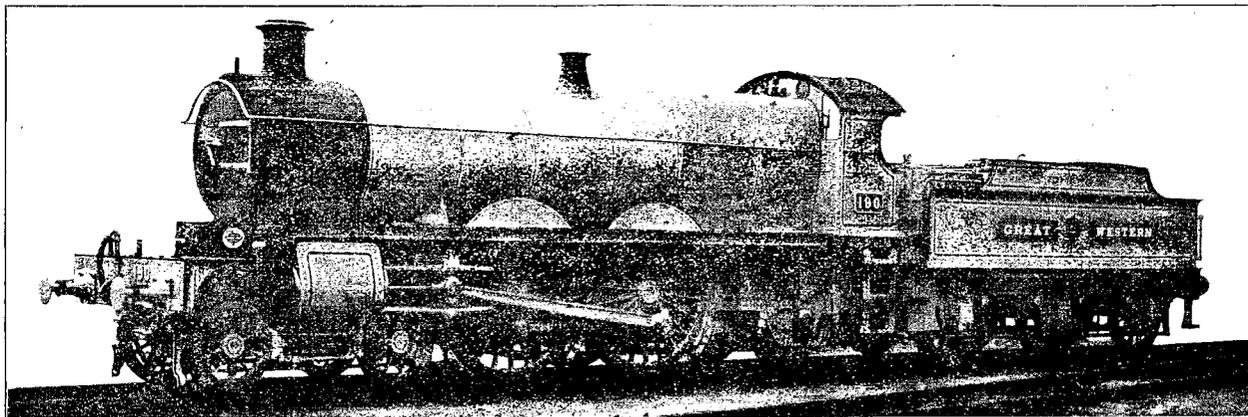
Bei langsamer fahrenden Lokomotiven für schwere und häufig haltende Güter- oder Vorort-Personen-Züge wird durch die erhöhte Übersetzung eines langen Hubes ein großer Vorteil

erzielt, aber wie dadurch bei einer Lokomotive von hoher Geschwindigkeit ein Vorteil erreicht werden soll, ist nicht ohne weiteres klar. Da jedoch der Hub von 762 mm für alle auf der englischen Westbahn verwendeten Lokomotiven mit zwei Aufsenzylindern als Regel angenommen ist, so kann diese Bemessung nicht wohl von erheblichen Schäden begleitet sein. Die Tender der Lokomotiven der »County«-Reihe sind von derselben Bauart wie die der »City«-Lokomotiven, haben aber etwas größern Rauminhalt.

Die Lokomotiven Nr. 1) und Nr. 2) dienen zum Befördern von Schnellzügen zwischen dem Londoner Endbahnhofe Paddington und den von der englischen Westbahn berührten Hauptpunkten. Sie werden auch zu demselben Dienste auf den meisten anderen Strecken des Bahnnetzes verwendet.

Nr. 3) Mit der Absicht, eine Lokomotivgattung zu erhalten, die beträchtlich vergrößerten Kesselinhalt mit vergrößerter Zugkraft vereinigt, entwarf der Maschinenoberingenieur vor einigen Jahren eine 2.C.0-Lokomotive (Textabb. 11) mit zwei außerhalb der Rahmen liegenden Zylindern zum Treiben der mittlern Kuppelachse. Da sich diese als sehr erfolgreich erwies, ist seitdem eine große Anzahl Lokomotiven derselben Art gebaut worden. Die Zylinder sind von derselben Bauart und denselben Verhältnissen wie die der Lokomotive Nr. 2), auch die Schiebersteuerung ist ähnlich angeordnet. Eine der ersten dieser Schnellzuglokomotiven mit drei gekuppelten Achsen wurde nach einer verhältnismäßig kurzen Dienstzeit in die Werkstatt gebracht und aus der Bauart 2.C.0 in 2.B.1 »Atlantik« umgebaut. Die hintere Kuppelachse wurde durch eine nach dem Krümmungsmittelpunkte einstellbare Laufachse mit Rädern von 1,257 m Durchmesser und Aufsrahmen er-

Abb. 3. 2. B. 1 - „Atlantik“-Lokomotive.



setzt. Textabb. 3 und Abb. 3, Taf. XLV zeigen eine spätere, nach der verbesserten Bauart gebaute Lokomotive. Aufser dem Unterschiede in der Größe der hinteren Räder und dem in der Zahl der Kuppelachsen sind diese beiden Gattungen fünfachsigter Lokomotiven genau gleich.

Die Leitung der Maschineningenieur-Abteilung der englischen Westbahn hat kürzlich beschlossen, keine weiteren 2.B.1-Lokomotiven zu bauen, weil diese Bauart für nicht geeigneter zum Befördern größerer Zuglasten gehalten wird, als die billigere und sparsamer zu unterhaltende 2.B.0-Bauart. In beiden Fällen muß das Reibungsgewicht auf nur zwei Achsen

verteilt werden, und obgleich bei der 2.B.1-Bauart ein größerer Kessel verwendet werden kann, bietet sie keine Erleichterungen für die Erzielung eines größern wirksamen Zylinderinhaltes.

Der Verfasser kann diese Ansicht nicht teilen, weil er nach ausgedehnten, auf den englischen Eisenbahnen bei der Fahrt auf der Lokomotive gemachten Erfahrungen zu dem Schlusse gekommen ist, dafs für die englischen Ingenieure beim Baue von Lokomotiven für hohe Geschwindigkeit die Hauptschwierigkeit darin besteht, den Dampfbedarf der neuen großen, mit einfacher Dampfdehnung arbeitenden Zylinder mit genügender

Sicherheit zu liefern; als Anhänger der auf den Bahnen des europäischen Festlandes so erfolgreich verwendeten Vierzylinder-Verbund-Lokomotive hat er öffentlich wie nicht öffentlich alles getan, was in seiner Kraft steht, um die Aufmerksamkeit der Ingenieure Großbritanniens auf die Vorteile der mehrstufigen Dampfdehnung zu lenken, wie sie bei Lokomotiven angewendet wird, welche unter den schwierigsten Verhältnissen des heutigen Eisenbahnverkehrs zu arbeiten bestimmt sind.

Nr. 4) Die Gesellschaft der englischen Westbahn hat schon vier Schnellzuglokomotiven der »Atlantik«-Bauart 2. B. 1 im Dienste, jede mit vier Zylindern. Von diesen haben drei Verbundeinrichtung nach der Bauart de Glehn, die vierte im Jahre 1906 in der Bauanstalt Swindon gebaute hat vier Zylinder mit einfacher Dampfdehnung. (Textabb. 4 und Abb. 1, Taf. XLVI.)

Zwei Zylinder liegen außerhalb der Rahmen über den

Abb. 4. Vierzylinder-2. B. 1-Lokomotive mit einfacher Dampfdehnung.



Hinterrädern des Drehgestelles und treiben die zweite Kuppelachse, während die zum Teil vor der Rauchkammer liegenden Innenzylinder die vordere, gekröpfte Kuppelachse treiben. Diese Zylinder- und Triebanordnung ist in den Vereinigten Staaten vielfach für Vierzylinderlokomotiven von der Verbundbauart Cole angenommen worden.

Die Kurbeln der Außen- und Innen-Zylinder auf jeder Seite der Lokomotive sind gegeneinander um  $180^{\circ}$  und gegen diejenigen auf der andern Seite um  $90^{\circ}$  versetzt. So folgen die Kurbelzapfen einander in Abständen von einem Hubviertel.

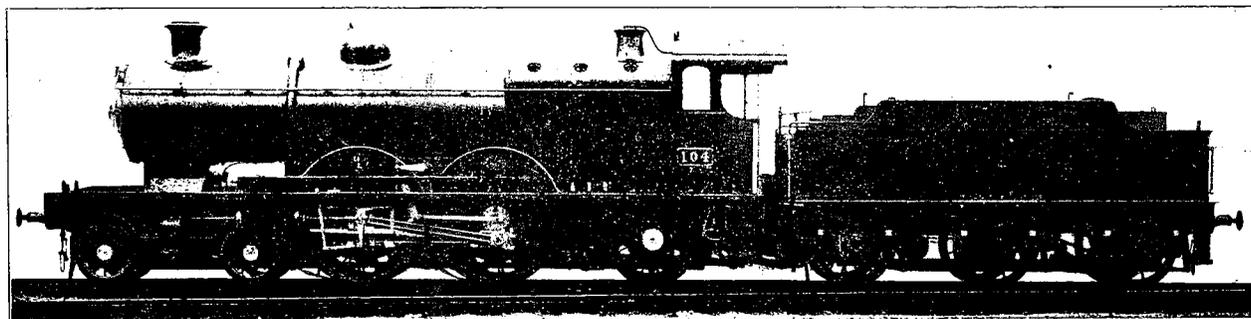
Die Dampfverteilung erfolgt durch vier Kolbenschieber, welche durch zwei Sätze Stephenson'scher Schwingensteuerungen von der vordern Kuppelachse aus betätigt werden, die

der Außenzylinder erhalten ihren Antrieb von ihren vorderen Enden her mittels geeigneter Verbindungsglieder von der innern Schiebersteuerung aus.

Die erste Lokomotive der neuen Bauart hat einen Langkessel, welcher auf der ganzen Länge statt nur im hintersten Schusse kegelförmig gestaltet ist. Die Lokomotive wurde zum Zwecke des Vergleiches mit den Verbundlokomotiven der Bauart de Glehn gebaut. Sie hat im Personenzugdienste mit hoher Geschwindigkeit sehr günstige Ergebnisse geliefert, ob sie aber in jeder Hinsicht eine Vergleichung mit den Verbundlokomotiven aushält oder nicht, kann noch nicht festgestellt werden.

Nr. 5) Die 2. B. 1-de Glehn-Lokomotive (Textabb. 5 und Abb. 2, Taf. XLVI) wurde in der Bauanstalt Belfort der Société

Abb. 5. 2. B. 1-Verbund-Lokomotive, Bauart de Glehn.



Alsacienne des Constructions Mécaniques gebaut und im Jahre 1905 auf der englischen Westbahn in Dienst gestellt. Die Eisenbahngesellschaft besaß zu jener Zeit schon eine Lokomotive derselben Bauart mit etwas kleineren Abmessungen, die im Jahre 1903 von derselben Bauanstalt geliefert ist. Im ganzen stehen drei von diesen Verbundlokomotiven auf der Bahn im Dienste, zwei mit den größeren Abmessungen. Sie haben genau gleiche Einrichtung; soweit die Art der Verbundeinrichtung in Frage kommt, sind die Lokomotiven so gebaut, wie sie bei der französischen Nordbahn und anderen Festlandsbahnen verwendet werden.

Die beiden Niederdruckzylinder liegen zwischen den Rahmen unter der Rauchkammer und treiben die Kurbeln der vordern Kuppelachse, die beiden außerhalb der Rahmen hinter dem Drehgestelle liegenden Hochdruckzylinder treiben die zweite Kuppelachse. Zur Betätigung der Dampfverteilungsschieber dienen vier Sätze der Walschaert-Steuerung, für jeden Zylinder einer. Eine sinnreiche Anordnung der Umsteuerung ermöglicht eine unabhängige Regelung der Dampfverteilung für die Hochdruck- und Niederdruck-Zylinder. Mittels eines Anfahrventiles kann der Führer Kesseldampf durch ein Druckminderungsventil in die Niederdruckzylinder einlassen, was auch beim Fahren

auf steilen Steigungen geschieht. Andere Ventile dienen zur Herstellung einer unmittelbaren Verbindung zwischen den Hochdruckzylindern und dem Blasrohre während der Zeit, wo die Niederdruckzylinder Kesseldampf benutzen. Der Kessel hat große Abmessungen und ist mit einer Belpaire-Feuerkiste und einer vergrößerten Rauchkammer versehen. Er trägt einen Dampfdom; die Zuströmungsrohre zu den Hochdruckzylindern umringen die Außenseite des Kessels und stehen mit einer gerade vor dem Dome liegenden Dampfammer in Verbindung.

Diese französischen Lokomotiven werden zusammen mit den englischen Vergleichslokomotiven zum regelmäßigen Hauptschnellzugdienste der englischen Westbahn zwischen London und dem Westen von England verwendet.

Nr. 6) Ein großer Teil des Vorort- und Ort-Verkehres der Bahn wird mittels Tenderlokomotiven abgewickelt. Eine 2.B.1- und eine 1.C.1-Tenderlokomotive sind in Textabb. 6 und 7 und Abb. 3 und 4, Taf. XLVI dargestellt. Beide laufen auf fünf Achsen, aber die erstere hat zwei, die letztere drei

Abb. 6. 2. B. 1-Personenzug-Tenderlokomotive.

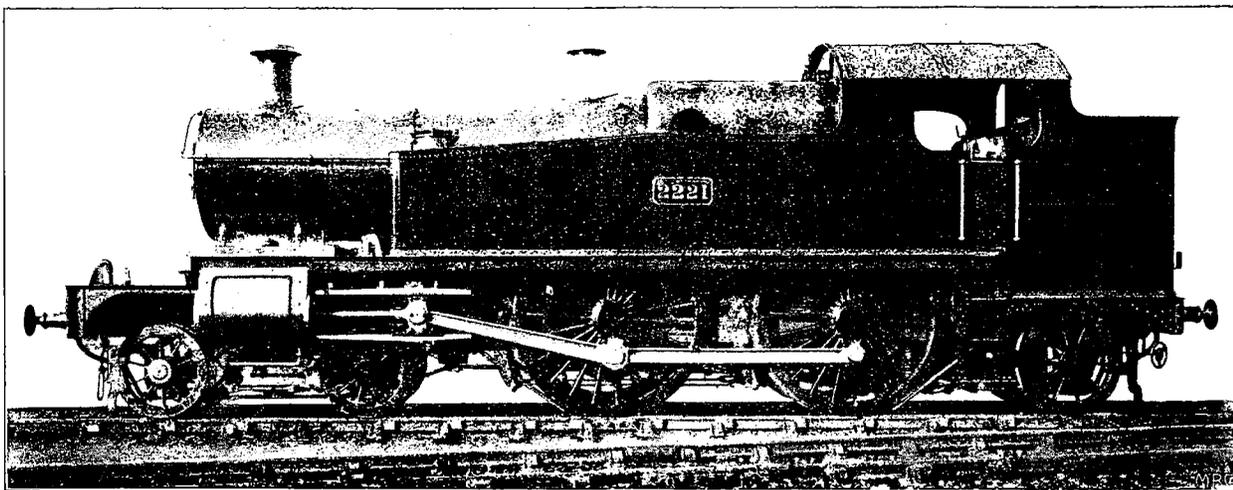
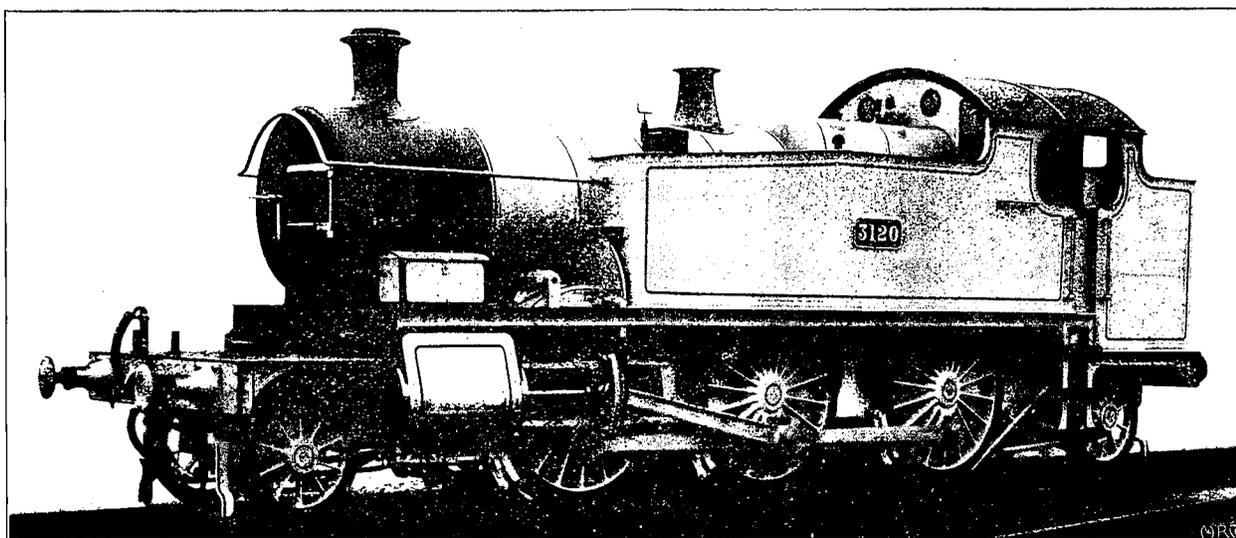


Abb. 7. 1. C. 1-Güterzug-Tenderlokomotive.



Kuppelachsen. Obgleich ursprünglich für kürzere Entfernung und schweren Verkehr bestimmt, werden beide Gattungen beständig zu wichtigem Hauptliniendienste verwendet. Die 2. B. 1-Lokomotive (Nr. 6) ist dem Wesen nach dieselbe, wie die in Textabb. 2, Abb. 2, Taf. XLV dargestellte Schnellzuglokomotive Nr. 21.

Die Lokomotiven beider Gattungen Nr. 2) und Nr. 6) haben dieselben Zylinder, Räder und Triebwerke, selbst die Achsstände sind gleich, der Hauptunterschied zwischen den beiden Bauarten besteht darin, daß, während die Schnellzuglokomotive Nr. 2) einen dreiachsigen Schlepptender hat, die

Tenderlokomotive Nr. 6) ihren Kohlen- und Wasservorrat auf dem Rahmen mit einer einstellbaren Laufachse trägt, außerdem sind entlang dem Kessel seitliche Wasserbehälter angebracht. Nr. 6) ist in Wirklichkeit eine Schnellzuglokomotive. Ihre Kuppelräder haben denselben Durchmesser, wie die der größten Schnellzuglokomotiven der englischen Westbahn, nämlich 2,045 m, und aus diesem Grunde ist sie einzig in ihrer Art, da sie von allen gegenwärtig im regelmäßigen Dienste befindlichen Tenderlokomotiven die größten Kuppelräder hat. Da die Lokomotive mit einer Wasserschöpfvorrichtung ausgerüstet ist, können beträchtliche Entfernungen ohne Anhalten durchfahren werden;

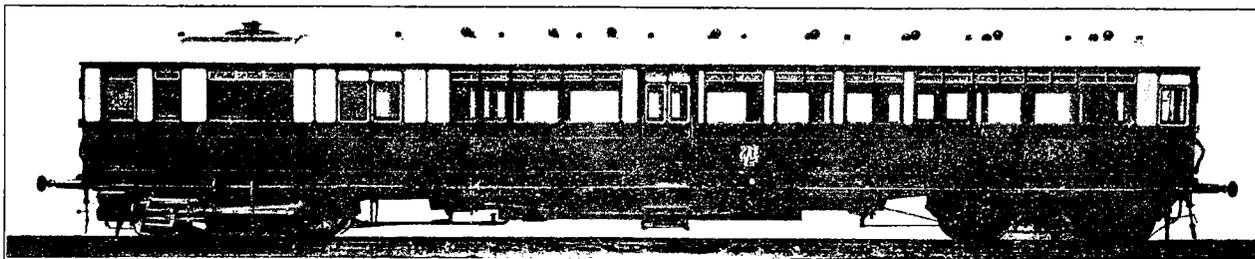
die einzige wirkliche Einschränkung bildet der beschränkte Kohlenvorrat. Die Bauart ist überaus geeignet für schnellen Vorstadt-Personenverkehr und Hauptlinien-Personenverkehr auf kurze Entfernung; wegen der Einstellbarkeit der hintern Laufachse kann die Lokomotive mit hoher Geschwindigkeit gleich gut in beiden Richtungen laufen, ohne am Ende der Fahrt wenden zu müssen; weitere Vorzüge sind die allgemeine Handlichkeit und das geringere Gewicht im ganzen.

Nr. 7) Die in Textabb. 7, Abb. 4, Taf. XLVI dargestellte Lokomotivbauart Nr. 7) ist auf englischen Bahnen sonst nicht gebräuchlich, hat aber einige wichtige Vorzüge, und erweist sich auf der englischen Westbahn als sehr erfolgreich. Die Zugkraft der Lokomotive wird sehr erhöht durch die Verwendung von drei Kuppelachsen, welche eine Vermehrung des Reibungsgewichtes gestatten, so daß schwere und häufig haltende Züge schnell anfahren können, während die einachsigen Drehgestelle an jedem Ende trotz des größern Achsstandes der festgelagerten Achsen leichtes Durchfahren der Bogen ermöglichen.

Die in üblicher Weise ausgestatteten Lokomotiven gehören zu den stärksten Tenderlokomotiven des Landes. Eine Lokomotive dieser Gattung hat beim Befördern schwerer Güterzüge zwischen Swindon und London ausgezeichnete Ergebnisse geliefert.

Nr. 8) Obgleich die englische Westbahngesellschaft nicht beanspruchen kann, die Eisenbahn-Triebwagen in Großbritannien eingeführt zu haben, gebührt ihr doch das Verdienst der Entwicklung dieser Betriebsart zu einem auf andern Linien unbekanntem Grade. Sie hat gegenwärtig etwa ebensoviele Dampftriebwagen im Dienste, wie alle andern englischen Eisenbahnen zusammen. Auf einigen Zweiglinien wird der Verkehr ganz durch Triebwagen unterhalten; diese sind stark genug, eine Anzahl Anhängewagen für verschiedene Zwecke zu befördern. Die Wagen sind von zwei Hauptbauarten, bekannt als Vorstadt- und Zweigbahn-Wagen, die ersteren zur Verwendung in städtischen Gebieten, die letzteren für Land-Zweigbahnen bestimmt. Textabb. 8 und Abb. 5, Taf. XLVI zeigen einen der Vorstadt-Triebwagen der neuesten Form. An dem einen Ende befindet

Abb. 8. Vorstadt-Dampftriebwagen.



sich der Triebmaschinenraum, in welchem ein stehender Heizrohrkessel mit kegelförmiger Decke aufgestellt ist. Der Kessel liefert Dampf von 11,2 at Spannung an die Maschinenzylinder, welche die gekuppelten Achsen des dieses Wagenende unterstützenden Drehgestelles treiben.

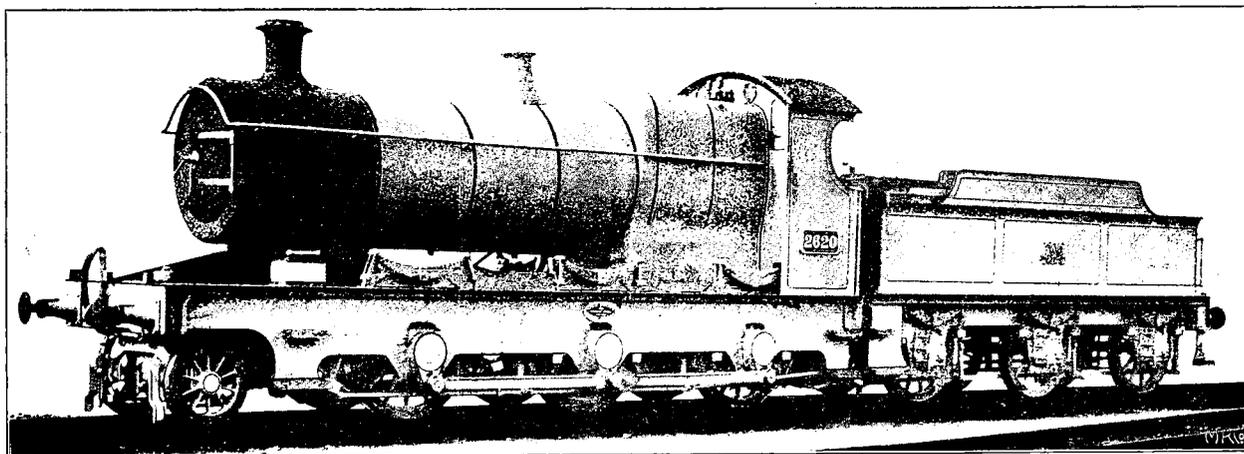
Die Schieber liegen oben auf den Zylindern und werden mittels Walschaert-Steuerung angetrieben.

Der übrige Teil des Wagens ist in drei Abschnitte geteilt, welche von dem für den Führer und Heizer bestimmten abgeschlossen sind. Diese umfassen einen Gepäckraum und zwei Abteile für Reisende, das eine für Raucher, das andere für Nichtraucher.

Ein mittlerer Gang teilt die Sitzplätze in jedem Abschnitte, das Raucherabteil ist von den übrigen Teilen durch eine Tür getrennt. In der Mitte des Wagens befindet sich ein Vorraum mit Seitentüren und Stufen, welche so angeordnet sind, daß das Ein- und Aussteigen mit gleicher Bequemlichkeit erfolgen kann. Zwischen dem Gepäckraume und dem Raucherabteile sind ebenfalls Seitentüren vorgesehen. Alle Handhaben sind doppelt angeordnet, so daß der Wagen entsprechend der Fahr- richtung von jedem Ende aus mit gleicher Leichtigkeit betrieben werden kann.

Nr. 9) Der ungeheure Güterverkehr der englischen Westbahn, die schweren Züge und die vielen steilen Steigungen er-

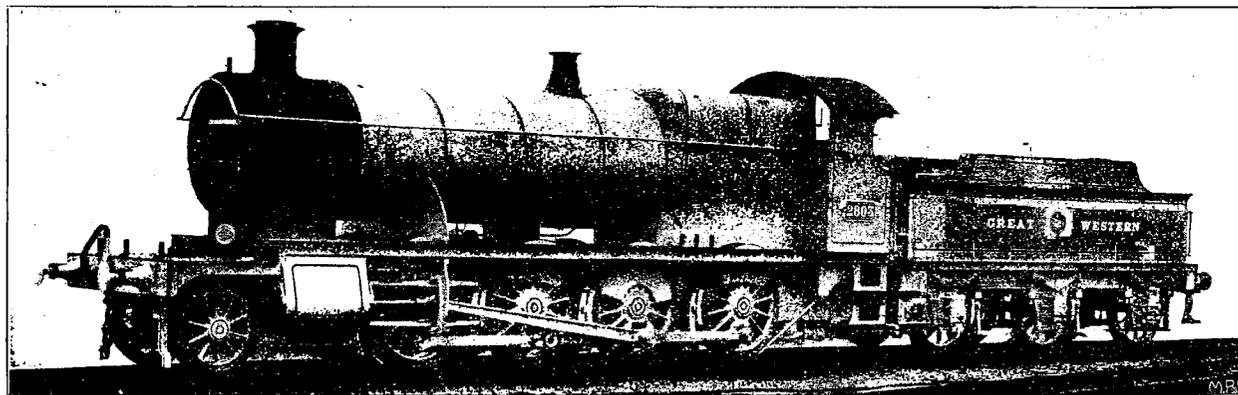
Abb. 9. I. C. O.-Güterzug-Lokomotive.



fordern die Verwendung von Güterzuglokomotiven der stärksten Bauarten. Diese haben, wie die anderen Lokomotiven, teils Innen-, teils Außen-Zylinder, aber die angewendeten Achsanordnungen sind für Lokomotiven neuer Bauart auf zwei ver-

mindert worden. Dies sind die Achsanordnungen 1. C. 0 und 1. D. 0; Lokomotiven dieser Gattungen zeigen Textabb. 9 und 10 und Abb. 6 und 7, Taf. XLVI. Die 1. C. 0-Lokomotive (Textabb. 9, Abb. 6, Taf. XLVI) hat Innen-

Abb. 10. 1. D. 0-Güterzug-Lokomotive.



zylinder, welche die mittlere Kuppelachse treiben; das vordere Ende ruht auf einem einachsigen Drehgestelle. Die Lokomotive hat Doppelrahmen und Außenkurbeln, wie die Schnellzuglokomotiven der »City«-Klasse Nr. 1), der Kessel ist von regelrechter Kegelform, der Tender hat 13,6 cbm Fassungsraum und ist mit Wasserschöpfvorrichtung ausgerüstet.

Nr. 10) Die in Textabb. 10, Abb. 7, Taf. XLVI dargestellte 1. D. 0-Lokomotive stellt in Bezug auf Zugkraft gegenüber der Lokomotive Nr. 9) einen Fortschritt dar und eignet sich zum Befördern der schwersten Güterzüge der englischen Westbahn auf den schwierigsten Strecken der Hauptlinie. Der

Kessel ist gegen den der 2. B. 1- und der 2. C. 0-Schnellzuglokomotiven austauschbar, die Zylinder sind nach Regelformen hergestellt. Die Zugkraft dieser großen Lokomotiven beträgt 14300 kg.

Die Lichtbilder und Zeichnungen, welche in Textabb. 1 bis 10 und den Tafeln XLV, Abb. 1 bis 3 und XLVI, Abb. 1 bis 7 enthalten sind, wurden in der Lokomotiv- und Wagen-Bauanstalt Swindon angefertigt und dem Verfasser für diesen Aufsatz vom Oberleiter und beratenden Ingenieur der englischen Westbahn James C. Inglis, Mitglieder der Institution of Civil Engineers, gütigst zur Verfügung ge-

Abb. 11. 2. C. 0-Schnellzug-Lokomotive mit dem „Riviera Limited“.

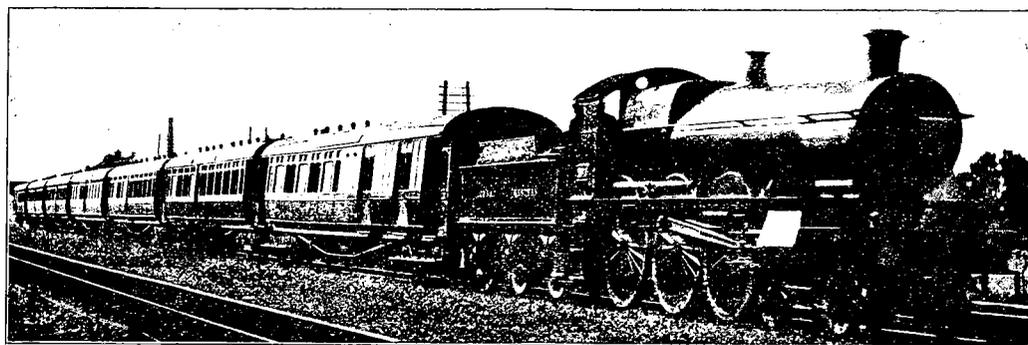


Abb. 12. 2. B. 1-Schnellzug-Lokomotive mit dem Schnellzuge London-Bristol-Ilfracombe.

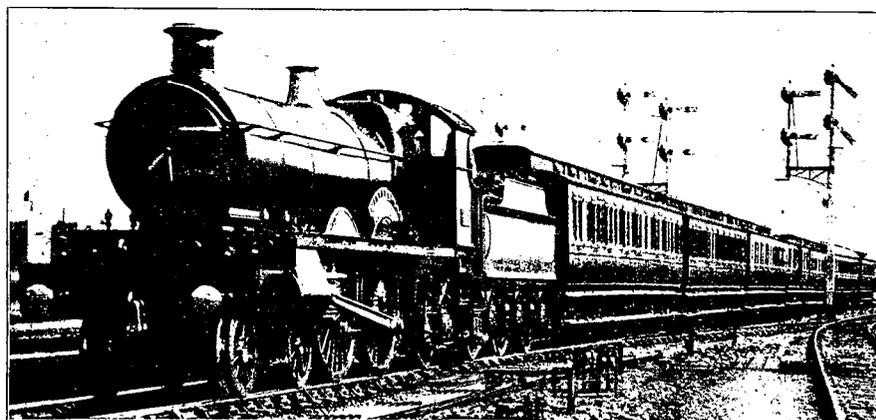
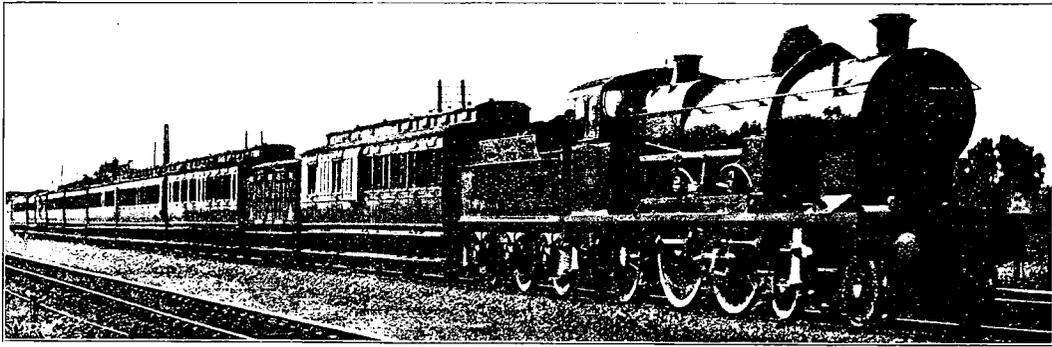


Abb. 13. De Glehn-2. B. 1-Schnellzug-Lokomotive mit einem Schnellzuge der Westbahn.



stellt. In den Textabb. 11, 12 und 13 sind drei Schnellzuglokomotiven mit ihren Zügen dargestellt, um den Eindruck der Fahrbetriebsmittel im ganzen zu zeigen. Textabb. 11 zeigt die 2. C. 0-Schnellzuglokomotive Nr. 3) mit dem »Riviera Limited«-Zuge, den sie von Penzance nach London mit rund 75 km/St. Durchschnittsgeschwindigkeit fährt, Textabb. 12 gibt ein Bild

der 2. B. 1-Schnellzuglokomotive Nr. 3) mit dem Schnellzuge London—Bristol—Ilfracombe und schliesslich Textabb. 13 die de Glehn-2. B. 1-Schnellzuglokomotive Nr. 5) in ihrer neuesten Gestaltung mit einem Schnellzuge der Westbahn. Die drei letzten Lichtbilder sind von F. E. Mackay, Battersea-Park, London, hergestellt.

## Der Eisenbahnunfall bei Ottersberg

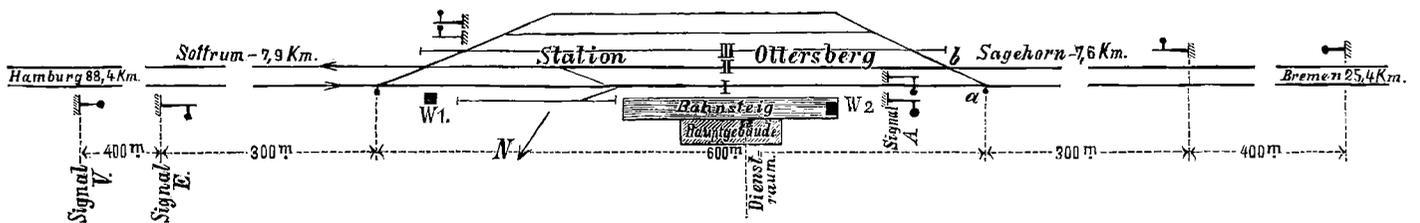
Von F. N. Wolff, Telegrapheningenieur der dänischen Staatsbahnen zu Aarhus.

Der Eisenbahnunfall bei Bahnhof Ottersberg zwischen Bremen und Hamburg am 30. Dezember 1906 legt die Frage besonders nahe, ob die Signalvorrichtungen und die heute meist gebräuchliche Art der Signalgebung genügende Sicherheit für den stetig wachsenden Zugverkehr gewähren, denn der Unfall scheint nicht aus dem Versehen eines bestimmten Beamten hervorgegangen zu sein; alles hat der Vorschrift entsprochen.

Man muß das Unglück als das Ergebnis von zwei, höchstens drei zusammentreffenden Umständen betrachten, die an sich im Bahnbetriebe gewöhnlich sind, und mit denen man deshalb rechnen muß. Da der Unfall in dieser Beziehung lehrreich erscheint, so soll er hier kurz erörtert werden.

Textabb. 1 stellt die Gleise und Signalverhältnisse des Bahnhofes dar. I und II sind die durchgehenden Gleise der

Abb. 1.

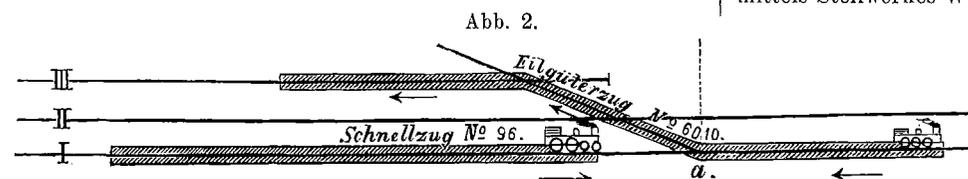


zweigleisigen Strecke, III das Überholungsgleis. Die Signale A gelten für ausfahrende Züge. Für Einfahrt ist der Bahnhof durch die Hauptsignale E und weiter durch Vorsignale gedeckt. Die Weichen und Signale werden von den beiden Wärterbuden W 1 und W 2 bedient, die vom Blockwerke des Dienst-raumes im Hauptgebäude abhängen.

Der Zusammenstoß fand bei dichtem Nebel am 30. Dezember 1906 etwa um 1 Uhr nachts statt, indem der Schnell-

Bewegungsrichtung der Züge. Die näheren Umstände waren folgende.

Der Eilgüterzug war von Sottrum etwas verspätet eingelaufen und sollte von dem nachfolgenden Schnellzuge in Ottersberg überholt werden. Das Stellwerk W 1 versagte wegen Festfrierens der Weichenzunge, sodaß die Station den Eilgüterzug zuerst in Gleis I vorfahren lassen mußte, um ihn durch die Weichen a/b am entgegengesetzten Ende des Bahnhofes mittels Stellwerkes W 2 rückwärts in Gleis III hinein zu bringen. Während dieser Rückbewegung erfolgte der Zusammenstoß.



zug Hamburg-Köln Nr. 96 in voller Fahrt in die Flanke des Verschiebebewegungen ausführenden Eilgüterzuges 6010 hineinfuhr. Der Nebenplan Textabb. 2 zeigt die Stellung und die

Der Bahnhof war durch »Halt«-Signale vorschriftsmäßig gedeckt, diese wurden aber von dem Schnellzuge wegen des dichten Nebels und Rauhreifens überfahren. Es ist von Bedeutung, zu untersuchen, in welcher Weise die Unfallstelle bei Weiche a/b geschützt war.

Von drei Signalen stand das Ausfahrtsignal A 150 m, das

Einfahr-Hauptsignal E 300<sup>m</sup> vor der Stelle und das Vorsignal 400<sup>m</sup> vor dem Hauptsignale. Alle Signale standen auf »Halt« und waren voll beleuchtet, der nicht seltene Fall des Auslöschens der Laternen lag nicht vor. Trotzdem muß es nach dem, was bekannt geworden ist, für wahrscheinlich gehalten werden, daß der Lokomotivführer des Schnellzuges in Wirklichkeit nichts von den Signalen gesehen hat. Dann ist die Frage wichtig, ob das eine Folge von Unachtsamkeit war, oder ob er die Signale wegen des Nebels nicht sehen konnte.

Der Führer der ersten Lokomotive des Schnellzuges wurde getötet, vom Führer der zweiten soll die Aussage vorliegen, daß er keine Ahnung hatte, wo sie sich befanden, bevor sie über eine kleine Brücke am Bahnhofs fuhren. Die Erscheinung, daß die Signale im Nebel verschwinden, ist bekannt; aber wenn sie auch nicht völlig unsichtbar werden, verlieren sie doch schon bei weniger dichtem Nebel, Regen oder Schnee so viel von ihrer Sichtbarkeit, daß die Signaldeckung den Bremsweg an Länge nicht erreicht, ja oft wird das Signal erst im Augenblicke der Vorbeifahrt bemerkbar. Wenn die Fahrgeschwindigkeit des Zuges groß ist, und etwa zufälliger Umstand, wie der Dampf der Lokomotive mitwirkt, wird der Führer das Überfahren des Signales überhaupt nicht bemerken. Dies scheint in Ottersberg eingetreten zu sein.

Der Schnellzug 96 sollte seine Zeit möglichst einhalten, die Geschwindigkeit mußte also groß sein, Nebel und Rauchreif waren dicht. Der Lokomotivführer konnte die Signale nicht beobachten, ohne seinen Zug aus der Fahrzeit zu bringen. Andererseits wußte er aus zahlreichen Erfahrungen, daß die Strecke für seinen Zug frei sein mußte, er ist also darauf losgefahren, um gewissenhaft die Zeit einzuhalten.

Ein solches Fahren auf Geratewohl ist im heutigen Bahnbetriebe viel häufiger, als mancher wohl annimmt. Auf Seite des Führers macht sich hierbei eine Mischung von Ehrgefühl und sportlichem Triebe geltend, die wohl jedem bekannt ist, der etwa beim Betreiben eines Sportes selbst öfter in die Lage kommt, alles an die schnelle Erreichung eines gesteckten Zieles zu setzen.

Uns aber tritt aus der Unglücksnacht die Frage entgegen, ob es zu verantworten ist, ein solches Fahren in Ungewissheit zu verlangen oder auch nur zu genehmigen, wenn die Signalgabe durch die Natur aufgehoben ist, ob also der Betrieb heute noch allein auf die Lichtsignale gegründet werden darf.

Will man angesichts der zeitweisen Unbrauchbarkeit der

Lichtsignale doch den Betrieb unverlangsamt aufrecht erhalten, so erscheint es unvermeidlich, zu anderen Signalmitteln zu greifen, die nicht versagen; in jener Nacht sind unter der weit verbreiteten Nebeldecke viele Züge in derselben Lage gewesen. Wenige Stunden nach dem Zusammenstoße bei Ottersberg um 4 Uhr nachts ereignete sich ein ähnlicher, zwar minder schwer, aber auch Menschenleben kostend, in der Nähe von Cöln, indem der Luxuszug 53 Wien-Ostende bei Station Kalscheuren wegen Übersehens des »Halt«-Signales auf einen vorausfahrenden Güterzug aufief.

In dem Verhältnisse der Signalüberfahrungen zu der Zahl der Züge, die auf einer bestimmten Strecke verkehren, könnte man geradezu ein Wahrscheinlichkeitsmaß für derartige Unfälle aufstellen, wenn man dabei die hier nicht betrachteten, rein aus Unachtsamkeit vorkommenden, ausschließt.

Die preussisch-hessischen Staatsbahnen hatten früher Bestimmungen über allgemeine Anwendung von Hörsignalen oder Knallkapseln bei nebeliger Witterung, um die Lichtsignale zu unterstützen. Danach sollten im Falle von Zug-Kreuzungen und Überholungen Knallkapseln auf den Schienen ausgelegt werden. Diese Vorschriften reichten jedoch nicht aus, denn es war mit zu großer Schwierigkeit für die Stationen verbunden, die Knallkapseln rechtzeitig und an rechter Stelle weit vor den Hauptsignalen auszulegen. Wahrscheinlich deshalb wurde die Anwendung des Knallsignales bedeutend eingeschränkt. Nach den jetzigen Vorschriften sollen die Stationen in solchem Falle keine Knallkapseln auslegen, deshalb wurden in jener nebeligen Nacht in Ottersberg keine verwendet.

Es wird also jetzt die Frage sein, ob es nicht zweckmäßiger wäre, die Hörsignalmittel zu entwickeln statt einzuschränken, und zwar etwa dadurch, daß das Knallsignal von festen Posten nach Auftrag durch Drahtnachricht seitens des Hauptsignalpostens ausgelegt wird. Durch eine solche Nebelsignalgabe dürften die mit den Knallkapseln früher erzielten Mißerfolge gehoben werden.

Jedenfalls hat sich das Sichtsignal als einziges als ungenügend erwiesen, es kann nur den Anspruch auf ein weiteres Hilfsmittel erheben. Gewiß lassen sich noch andere Mittel für Nebelsignale finden, vielleicht wird die Funkenverbindung auch hier eine Aufgabe des Bahnsignalwesens der Zukunft zu lösen haben, die Versuche damit haben begonnen.

Bis dahin aber sollte das ungenügende Sicht-Signalwesen durch die schon erprobten Mittel verstärkt werden.

## Vereins-Angelegenheiten.

### Verband deutscher Elektrotechniker.

Auf der Jahresversammlung des Verbandes deutscher Elektrotechniker ist ein neuer Wortlaut der »Anleitung zur ersten Hilfeleistung bei Unfällen im elektrischen Betriebe«, der unter Mitwirkung des Reichsgesundheitsamtes aufgestellt worden ist, angenommen. Da die Kenntnis solcher Anleitungen großen

Wert hat, machen wir auf das Erscheinen dieser »Anleitung« bei J. Springer, Berlin N. 24, aufmerksam. Sie ist in Taschenbuchform zum Preise von 60 Pf. für 10, und zu 5 M für 100 Abdrücke, in Anschlagform in Rollen zum Preise von 3 M für 10 und zu 6 M für 25 Abdrücke zu beziehen.

## Statistische Nachrichten von den Eisenbahnen des Vereines Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen für das Rechnungsjahr 1905.

Aus dem Vereinsberichte für das Jahr 1905 teilen wir nachstehend die wichtigsten Endergebnisse mit, denen vergleichshalber die Ziffern der beiden Vorjahre beigelegt sind.

Das Rechnungsjahr liegt nicht gleich für alle Bahnen, es bezieht sich für 34 unter den 46 deutschen Eisenbahnen und für die Rumänische Staatseisenbahn auf die Zeit vom 1. April 1905 bis 31. März 1906 und für die Chimay-Bahn auf die Zeit vom 1. Oktober 1904 bis Ende September 1905. Bei allen übrigen Vereins-Bahnen stimmt das Rechnungsjahr mit dem Kalenderjahre überein.

Im ganzen gehörten dem Vereine 79 verschiedene Bahnbezirke an, wobei die einzelnen Verwaltungsbezirke der preussischen Staatseisenbahnen gesondert gezählt sind.

Die Bahnlänge ergibt sich aus Zusammenstellung I.

Zusammenstellung I.

Jahr	Vollspurige Strecken		Schmal-spurige Strecken	Bahn-länge am Ende des Jahres	Von der Bahnlänge sind			
	Hauptbahnen	Nebenbahnen			ein-gleisig	zwei-gleisig	drei-gleisig	vier-gleisig
	K i l o m e t e r							
1905	61682	35284	1690	98656	73576	24849	49,14	181,2
1904	61223	34049	1637	96910	72308	24373	48,81	180,0
1903	60753	33163	1525	95442	71290	23922	54,0	174,9

Die Betriebslänge betrug am Ende der Jahre 1903, 1904 und 1905:

Jahr	Ueberhaupt	Davon dienen	
		dem Personenverkehre	dem Güterverkehre
	K i l o m e t e r		
1905	99798	98050	99592
1904	98028	96342	97831
1903	96423	94926	96233

Die Gleislängen sind der Zusammenstellung II zu entnehmen:

Zusammenstellung II.

Jahr	L ä n g e		
	der durchgehenden Gleise	der übrigen Gleise einschließlich der Weichenverbindungen	aller Gleise
	K i l o m e t e r		
1905	122466	43895	166361
1904	120292	42452	162743
1903	118476	41253	159728

Bezüglich des Oberbaues geben die nachstehenden Zusammenstellungen III und IV Aufschluß:

Zusammenstellung III.

Jahr	Von der Länge der durchgehenden Gleise bestehen aus			Von der Länge der durchgehenden Gleise auf Einzelunterlagen entfallen auf Gleise mit								
	eisernen Schienen	Stahl-schienen	Zu-sammen	S c h i e n e n					hölzernen Querschwellen	eisernen Querschwellen	Steinwürfeln u. s. w.	
				bis einschl. 30 kg/m	über 30 bis einschl. 35 kg/m	über 35 bis einschl. 40 kg/m	über 40 bis einschl. 45 kg/m	über 45 kg/m				
				schwer für 1 m								
km	km	km	km	km	km	km	km	km	km			
1905	3684	118564	122248	19089	61268	21981	17458	860	100440	20198	19	
1904	4368	115636	120004	18939	61743	22424	14492	763	98821	19479	20	
1903	4934	113364	118298	18685	62214	23303	11597	683	97765	18699	19	

Zu den durchgehenden Gleisen wurden verwendet:

Zusammenstellung IV.

Jahr	Hölzerne Querschwellen		Eiserne Querschwellen		Steinwürfel	
	im ganzen	auf 1 km Gleis	im ganzen	auf 1 km Gleis	im ganzen	auf 1 km Gleis
	1905	127883694	1268	26615314	1318	26223
1904	124296351	1258	25291093	1298	27876	1407
1903	122440486	1252	24021576	1285	29055	1727

Die Neigungsverhältnisse sind aus Zusammenstellung V zu entnehmen.

Zusammenstellung V.

Jahr	Bahnlängen in wagerechten Strecken		Bahnlänge in Steigungen oder Gefällen					
	überhaupt	in % der ganzen Länge	überhaupt	in % der ganzen Länge	im Verhältnisse			über 1 : 40
					bis 1 : 200	von 1 : 200 bis 1 : 100	von 1 : 100 bis 1 : 40	
km	Länge	km	Länge	km	km	km	km	
1905	30531	31,48	66442	68,52	38698	17198	10153	394
1904	29914	31,39	65366	68,61	38151	16921	9913	381
1903	29510	31,42	64414	68,58	37645	16709	9684	375

Die Krümmungsverhältnisse sind der Zusammenstellung VI zu entnehmen.

Zusammenstellung VI.

Jahr	Bahnlänge in geraden Strecken		Bahnlänge in gekrümmten Strecken					
	überhaupt km	in % der gesamten Länge	überhaupt km	in % der gesamten Länge	R $\geq$ 1000	R $\geq$ 500	R $\geq$ 300	R $<$ 300 <sup>m</sup>
					Kilometer			
1905	68874	71,02	28100	28,98	8483	8582	6953	4082
1904	67741	71,09	27539	28,91	8376	8432	6790	3942
1903	66834	71,16	27090	28,84	8294	8291	6635	3870

Der ganze Betrag des verwendeten Anlagekapitales ergibt sich aus Zusammenstellung VII.

Zusammenstellung VII.

am Ende des Jahres	im ganzen	auf 1 km Bahnlänge
	Mark	
1905	24 839 293 891	270621
1904	24 325 590 448	270003
1903	23 874 239 751	270433

Im Personenverkehre wurden geleistet:

Zusammenstellung VIII.

Jahr	Personenkilometer. Millionen						Verkehr auf 1 km. Reisende						Vom Verkehre für 1 km kommen in % auf				
	I	II	III	IV	Militär	Im ganzen	I	II	III	IV	Militär	Im ganzen	I	II	III	IV	Militär
1905	705,0	4895,8	19905,3	8739,5	1648,6	35894,2	7561	52508	213484	93731	17681	384965	1,96	13,64	55,46	24,4	4,6
1904	651,7	4624,4	18551,9	8157,9	1596,3	33582,2	7089	50303	201803	88739	17364	365104	1,94	13,77	55,25	24,3	4,8
1903	637,2	4437,6	17348,5	7732,2	1546,0	31701,5	7069	49233	192475	85786	17152	351715	2,01	14,00	54,70	24,4	4,9

Die entsprechenden Leistungen im Güterverkehre sind:

Zusammenstellung IX.

Jahr	Eil- u. Expresgut		Stückgut*)			Wagenladungen*)			Lebende Tiere			Im ganzen			Frachtfrei Tonnen-Kilometer	
	Kilometer-Tonnen	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen-Kilometer	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen-Kilometer	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen-Kilometer	Tonnen auf 1 km Bahn	Tonnen auf 1 km Bahn					
1905	604270521	6377	0,99	3199015133	33762	5,31	56448478510	595751	92,35	817580422	8629	1,35	61069344586	644519	100	4633521602
1904	556264420	5960	0,99	3043924662	32614	5,44	52611353661	563710	92,25	738507834	7913	1,32	56950050577	610197	100	4419860915
1903	513708624	5621	0,94	2797897173	30613	5,20	50759951167	555396	92,45	761023067	8327	1,41	54832580031	599957	100	4422609263

\*) Einschließlich Militärgut und frachtpflichtigem Dienstgut.

Die Einnahmen aus dem Personenverkehre ausschließlich der Einnahmen für Beförderung von Gepäck und Hunden und ausschließlich der Nebeneinnahmen stellten sich in den drei Jahren 1903 bis 1905 wie folgt:

Zusammenstellung X.

Jahr	Einnahme auf 1 Personen-Kilometer							Von den Einnahmen für 1 km mittlerer Betriebslänge kommen % auf				
	Ganze Einnahme	I	II	III	IV	Militär	überhaupt	I	II	III	IV	Militär
1905	926266600	6,67	4,22	2,47	1,86	1,13	2,58	5,08	22,32	53,06	17,53	2,01
1904	868020830	6,65	4,22	2,47	1,87	1,11	2,58	5,00	22,49	52,86	17,60	2,05
1903	831458029	6,71	4,30	2,50	1,90	1,12	2,62	5,15	22,94	52,20	17,65	2,06

Die Einnahmen aus dem Güterverkehre waren:

Zusammenstellung XI.

Jahr	Ganze Einnahme	Einnahmen für 1 Tonnen-Kilometer						Von der Einnahme für 1 km mittlerer Betriebslänge kommen % auf				
		Eil- und Expresgut	Stückgut*)	Wagenladungen*)	lebende Tiere	überhaupt	Eilgut	Stückgut*)	Wagenladungen*)	lebende Tiere	Nebeneinnahmen	
												M.
1905	2308308720	16,57	9,69	3,15	7,45	3,69	4,34	13,43	77,16	2,64	2,26	
1904	2151756319	16,98	9,75	3,15	7,54	3,69	4,38	13,72	76,90	2,58	2,25	
1903	2066330220	16,88	9,74	3,15	7,50	3,68	4,20	13,19	77,43	2,76	2,24	

\*) Einschließlich Militärgut und frachtpflichtigem Dienstgut.

Die Einnahme aus allen Quellen betrug

im Jahre 1905 . . . . .	3 525 705 632 Mark;
< < 1904 . . . . .	3 293 751 218 <
< < 1903 . . . . .	3 162 697 962 <

Davon entfallen auf die Einnahmen:

	1905	1904	1903
aus dem Personenverkehre . . . . .	27,60 %	27,68 %	27,61 %
< < Güterverkehre . . . . .	66,05 <	65,89 <	65,90 <
< sonstigen Quellen . . . . .	6,35 <	6,43 <	6,49 <

Die Ausgaben im ganzen und die Ausgaben für jedes Kilometer mittlerer Betriebslänge betragen:

Zusammenstellung XII.

Jahr	Persönliche Ausgaben		Sachliche Ausgaben		Ausgaben im ganzen	
	Im ganzen	Für 1 km Betriebslänge	Im ganzen	Für 1 km Betriebslänge	Im ganzen	Für 1 km Betriebslänge
	M.	M.	M.	M.	M.	M.
1905	1066760051	10795	1121940936	11353	2206644309	22148
1904	1013275002	10409	1044653532	10732	2073824081	21142
1903	958001246	10056	1005285785	10552	1978509923	20608

Die Überschufsergebnisse zeigt die Zusammenstellung XIII, in welcher die wirklichen Überschüsse und Minderbeträge besonders kenntlich gemacht, auch die Verhältnisse der Betriebsausgabe zur Gesamteinnahme in % angegeben sind:

Zusammenstellung XIII.

Jahr	Einnahme-Ueberschufs		Betriebs-Ausgabe in % der Einnahme
	Im ganzen	Auf 1 km Betriebslänge	
	M.	M.	
1905	1319088762 - 27439	13892	37,41
1904	1220002104 - 74967	13033	37,04
1903	1184257559 - 69520	12912	37,44

Betriebsunfälle sind nach Ausweis der Zusammenstellung XIV vorgekommen:

Zusammenstellung XIV.

Jahr	Entgleisungen			Zusammenstöße			Sonstige Unfälle			Im ganzen		
	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen	Freie Bahn	Bahnhof	Im ganzen
	1905	353	727	1080	72	588	660	1611	3250	4861	2036	4565
1904	316	757	1073	62	582	644	1432	2889	4321	1810	4228	6088
1903	278	681	959	46	484	530	1303	2626	3929	1627	3791	5418

Über die vorgekommenen Tötungen (t) und Verwundungen (v) gibt die Zusammenstellung XV Auskunft:

Zusammenstellung XV.

Jahr	Reisende						Beamte						Dritte Personen						Im ganzen																
	unverschuldet		durch eigene Schuld		überhaupt		im ganzen auf je 1000000		unverschuldet		durch eigene Schuld		überhaupt		im ganzen auf 1000000		unverschuldet		durch eigene Schuld		überhaupt		im ganzen		unverschuldet		durch eigene Schuld		zusammen						
																									zusammen auf 1000000 Achskilom.		zusammen auf 1000000 Achskilom.		zusammen auf 1000000 Achskilom.						
	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v					
1905	35	577	125	297	160	874	0,004	0,024	0,02	0,11	47	499	777	2118	824	2617	0,02	0,08	9	75	691	615	700	690	0,02	0,02	91	1151	0,04	1593	3030	0,135	1684	4181	0,17
1904	2	308	101	275	103	583	0,003	0,017	0,014	0,08	35	402	698	1989	733	2391	0,02	0,07	5	82	572	491	577	573	0,02	0,02	42	792	0,03	1371	2755	0,127	1413	3547	0,15
1903	20	413	97	221	107	634	0,003	0,020	0,015	0,09	34	378	649	1790	683	2168	0,02	0,07	6	46	546	475	552	521	0,02	0,02	60	837	0,03	1292	2486	0,121	1352	3323	0,15

An Achs-, Reifen- und Schienenbrüchen kamen vor:

Zusammenstellung XVI.

Jahr	Achsbrüche		Reifenbrüche		Schienenbrüche						Zahl der Unfälle durch Schienenbrüche
	Anzahl	Zahl der Entgleisungen durch Achsbrüche	Anzahl	Zahl der Entgleisungen durch Reifenbrüche	Anzahl						
					bei eisernen Schienen	bei Stahlschienen	bei Stahlkopfschienen	im ganzen	davon auf eisernen Langschwellen	auf 1 km Betriebslänge	
1905	123	36	727	18	132	15673	762	16567	182	0,17	17
1904	119	40	673	17	210	13079	856	14145	148	0,15	15
1903	108	34	590	18	179	14426	525	15130	229	0,16	16

Die vorstehenden Zifferangaben bilden nur einen kurzen Auszug aus dem Berichte, der für jeden der 79 Bahnbezirke die eingehendsten Einzelmitteilungen über Bau, Betrieb, Ver-

waltung, Zahl und Gehaltsverhältnisse der Angestellten, Wohlfahrteinrichtungen, Bestand und Leistungen der Fahrbetriebsmittel u. s. w. enthält.

## Bericht über die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

### Bahn-Oberbau.

#### Haftkraft der Schwellenschrauben.

(Railroad Gazette 1907, April, Band XLII, S. 518.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 9 und 10 auf Tafel XLVI.

Zur Bestimmung der Haftkraft der Schwellenschrauben wird von mehreren französischen Eisenbahngesellschaften eine von A. Collet erfundene Maschine von 6 kg Gewicht und 8 t Kraft verwendet.

Die ganz aus Eisen bestehende Vorrichtung hat ein quadratisches Fußgestell s (Abb. 10, Taf. XLVI), durch dessen Öffnung der Kopf der Schwellenschraube eingeführt wird, um im Fusse der Klaue g festgehalten zu werden. Der Klauenfuß besteht mit den Zugbacken f und der Schraubennutter d, in der die bei r durch den Schraubenschlüssel für die Schwellenschrauben geführte Triebsschraube v arbeitet, aus einem Stücke. Zwischen den beiden Backen befindet sich ein Zylinder c, dessen beide Flanschen n auf dem Fußgestelle ruhen. Der Zylinder enthält bei t flüssiges Glycerin und darüber einen mit Leder gedichteten Kolben p, welcher eine kleine Kugel l trägt.

Am Ende des einen der Flanschen n befindet sich ein Druckmesser, welcher den Druck auf die durch die Leitung m gehende Flüssigkeit angibt. b ist ein Knopf zum Lösen und e eine symmetrische Anordnung zur Aufnahme eines Eichmaßes zur etwa erforderlichen Untersuchung des Druckmessers. Der Hub des Klauenfußes beträgt 40 mm.

Mit dieser Maschine sind an den gewöhnlichen und an den von Collet erfundenen zusammengesetzten Schwellen mit oder ohne Dübel (treenail)\* Versuche gemacht worden.

Die Haftkraft der Schwellenschrauben in den zusammengesetzten Schwellen ohne Dübel betrug ungefähr 5650 kg, in denjenigen mit Dübeln ungefähr 7250 kg.

Die folgende Zusammenstellung enthält die Haftkraft der Schwellenschrauben in den gewöhnlichen Schwellen.

Kieferne Schwellen . . . . .	annähernd 3500 kg
« « mit Dübeln . . . . .	« 5000 «

\*) Organ 1903, S. 169.

Neue Eichenschwellen . . . . .	annähernd 6000 kg
« « mit Dübeln . . . . .	« 7000 «
Eichenschwellen, acht Jahre im Dienste . . . . .	« 3400 «
« « « « « . . . . .	
mit neuen Dübeln . . . . .	« 5500 «
Eichenschwellen mit alten Dübeln . . . . .	« 3400 «

Die Haftkraft der Schwellenschrauben in den zusammengesetzten Schwellen betrug im Durchschnitt 5650 kg, also fast so viel, wie in neuen Eichenschwellen; das Holz der Keile hatte jedoch viele Risse und war anscheinend durch Frost gespalten. Ihr eigener Widerstand war sicher geringer, als bei Verwendung von gesundem Holze. Der einmal in seine Lage gebrachte Mittelkeil der Collet-Schwelle hebt sich nicht weiter, welcher Kraft auch die Schwellenschraube ausgesetzt ist; das Haften ist dann in gewisser Weise gesichert, und wegen des Zusammendrückens der Holzfasern sogar wirksamer, als gewöhnlich. Deshalb gibt auch die Verwendung der Dübel einen größern Widerstand als denjenigen des Holzes, aus dem sie bestehen.

So macht das Zusammendrücken des Holzes einen der Hauptwerte der Schwelle aus, und um dies zu zeigen, wurden die Keile mit Holznägeln versehen. Der Erfolg war der erwartete; die zusammengedrückten wagerechten Fasern der Blöcke wirkten auf die senkrechten Fasern des Holz nagels zurück, und der Widerstand wuchs um ungefähr 20%, mit Blöcken aus gesundem, faserigem und elastischem Holze mit an den Befestigungstellen eingesetzten Dübeln wurde also ein bekannte Grenzen überschreitender Widerstand erreicht. Um zu sehen, wie Schwellen aus Holzblöcken der angegebenen Art sich verhalten würden, wurden mit Blöcken aus Hornbaum- und Ulmenholz versehene Schwellen geprüft, aber leider waren die verwendeten Hölzer vollkommen gedörrt. Trotz dieses ungünstigen Umstandes waren die Ergebnisse sehr befriedigend, da an einem Mittelkeile eine Kraft von 8900 kg, die Kraftgrenze der Maschine, und an den Seitenkeilen Kräfte zwischen 7000 und 7300 kg erhalten wurden.

B—s.

## Bahnhofs-Einrichtungen.

### Neuer Personenbahnhof in Toronto.

(Railroad Gazette 1907, Mai, Band XLII, S. 718. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnung Abb. 11 auf Tafel XLVI.

Die Grand-Trunk-Bahn und die kanadische Pacific-Bahn haben kürzlich die Pläne für einen neuen Personenbahnhof in Toronto, Kanada, fertiggestellt. Er wird neben den jetzigen Bahnhof gelegt. Das jetzige Empfangsgebäude liegt zwischen »Simcoe street« und »York street« nördlich von »Station street« (Abb. 11, Taf. XLVI). Das neue Gelände hat unregelmäßige Grundfläche, welche im Westen durch »York street«, im Norden durch »Front street« und im Süden durch »Esplanada street« begrenzt ist. Die letztgenannte Strafe wird westlich von »Yonge street« aufgehoben. Der aufgehobene Teil, und daher die südliche Grenze des neuen Geländes, ist in Abb. 11, Taf. XLVI durch die gestrichelten Linien angedeutet, welche eine Fortsetzung des auf der Ostseite des Lageplanes angegebenen, nicht geschlossenen Teiles bilden und sich ziemlich unregelmäßig bis zu einer Stelle südlich des Treffpunktes von »York street« und »Station street« erstrecken. Das neue Gelände erstreckt sich östlich von »Bay street« ungefähr bis zu der geplanten Strafe.

Das neue Empfangsgebäude liegt an der Südseite von »Front street« und wird im Westen von »York street« und im Osten von »Bay street« begrenzt. Das jetzt westlich von »York street« liegende Bestätterungsgebäude wird für den Bestattungsdienst der Grand-Trunk-Bahn beibehalten, während für den der kanadischen Pacific-Bahn östlich von »Bay street« ein neues Bestätterungsgebäude von gleicher Größe und in ähnlicher Lage zum Empfangsgebäude errichtet wird. Zwischen dem Empfangsgebäude und »Front street« bleibt ein 19,81 m breiter Platz für Wagen und Fußgänger. Das Empfangsgebäude ist 30,48 m breit, und zwischen ihm und den Gleisen befindet sich ein 27,43 m breiter Bahnsteigvorplatz.

Die Gleisanlage besteht aus neun durchgehenden und zwei Stumpfgleisen mit fünf Personen- und zwei Gepäck-Bahnsteigen. Die Bahnhofsgleise sind mit den vier Streckengleisen auf der Ostseite und den beiden Streckengleisen auf der Westseite durch je ein Stellwerk verbunden. Die Bahnsteige sind 426,72 m lang, die Personenbahnsteige sind ungefähr 6,10 m und die Gepäckbahnsteige 3,05 m breit.

Gegenüber der Mitte des Empfangsgebäudes ist ein 15,24 m breiter Personentunnel vorgesehen; die ganze Höhe der Bahnsteigtreppe beträgt ungefähr 3,05 m.

Für die Gepäck- und Bestätterungs-Wagen sind drei Tunnel vorgesehen; einer führt zum Kellergeschosse der Gepäckabfertigung und je einer zu den Kellergeschossen der beiden Bestätterungsgebäude. Die Beförderung der Wagen von den Tunneln nach den Bahnsteigen und umgekehrt erfolgt durch elektrische Aufzüge.

Der Hauptteil der Bahnsteige und des Bahnsteigvorplatzes wird durch eine 243,84 m lange und 96,01 m breite Halle überdeckt. Die Binder haben drei Öffnungen. Der zwischen der Halle und dem Empfangsgebäude verbleibende Raum wird überdacht.

An jedem Ende des Bahnsteigvorplatzes befindet sich ein Hof für Strafsenfahrzeuge, so daß es zur Erlangung eines Wagens nicht nötig ist, durch das Empfangsgebäude zu gehen. Der östliche Hof ist auch für die Wagen der Gepäckbeförderungsgesellschaften und den Gepäckdienst bestimmt.

Am äußersten östlichen Ende des Empfangsgebäudes befindet sich eine Anlage zur Versorgung des Empfangsgebäudes und der Züge mit Wärme, Licht, Dampf, heißem Wasser, Prefs-luft, Kühlung und dergleichen.

Das Empfangsgebäude besteht aus einem mittlern Hauptgebäude mit zwei Dienstflügeln. Im Hauptgebäude befindet sich in einer Ebene mit den Gleisen die 1602 qm große allgemeine Wartehalle. Der Zugang erfolgt unmittelbar durch drei große Öffnungen mit je neun Türen unmittelbar vom Bahnsteigvorplatze aus. Der Ausgang nach den Zügen erfolgt durch drei ähnliche Öffnungen mit je neun nach dem Bahnsteigvorplatze führenden Türen.

An den vier Seiten der Wartehalle befinden sich die Fahrkartenausgabe, die Räume für Fernschreiber und Fernsprecher, eine Auskunftstelle, Zeitungstände, eine geräumige Handgepäckablage und andere Einrichtungen.

Ein breiter Durchgang am Ostende führt unmittelbar nach der im östlichen Dienstflügel befindlichen Gepäckabfertigung. Diese besteht aus Keller- und Erdgeschos und hat im ganzen ungefähr 2600 qm Flächeninhalt. Ein ähnlicher Durchgang am Westende der Wartehalle führt unmittelbar nach dem westlichen Dienstflügel, in welchem sich Wartezimmer für Männer und Frauen, nebst je einer ausgedehnten Abortanlage befinden; für Frauen sind auch Nebenzimmer vorgesehen. Ferner befinden sich in diesem Gebäudeteile eine Bartscherstube, Stiefelputzerstände und andere Einrichtungen, sowie ein gut ausgestatteter großer Erfrischungstisch.

Zwischen der Wartehalle und dem östlichen, beziehungsweise westlichen Dienstflügel ist je ein von Norden nach Süden verlaufender breiter Durchgang angeordnet. Diese Durchgänge sollen hauptsächlich als Ausgänge dienen, so daß die Ankommen den nicht durch die Wartehalle zu gehen brauchen. Die Abreisenden können durch den östlichen Durchgang eintreten, und ohne Verwirrung und Verzögerung ihr Gepäck aufgeben, und ihre Fahrkarten lösen.

Die Hauptwartehalle kann nicht bequem als Durchgang benutzt werden, was ihre Behaglichkeit erhöht. Sie hat eine Höhe von drei Stockwerken und wird durch vierzehn große Fenster erleuchtet, sieben an der Nordseite und sieben an der Südseite. In der Höhe des ersten Obergeschosses der Dienstflügel läuft um alle vier Seiten der Halle ein Gang; der nördliche Gang führt zu einer Reihe geräumiger Dienstzimmer für die Beamten des Bahnhofsdienstes. Im westlichen Flügel befinden sich in diesem Stockwerke ein großes Speisezimmer, Anrichte, die Küche und Zubehör. Im östlichen Flügel befindet sich eine große Halle für die Absonderung und Behandlung von Einwanderern, nebst Nebenzimmern und Aborten für Männer

und Frauen, sowie geräumigen Zimmeru für die Beamten dieses Dienstes.

In dem sich über die ganze Wartehalle erstreckenden Stockwerke und im obersten Stockwerke oder zweiten Ober-

geschosse der Dienstflügel sind Dienstzimmer vorgesehen. Am östlichen und westlichen Ende der Hauptwartehalle sind je eine Treppe und je zwei Aufzüge angeordnet.

B—s.

## Maschinen- und Wagenwesen.

### Neue Westinghouse-Schnellbremse.

(Engineering 1906, Dezember, S. 761. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 20 und 21 auf Tafel XLVI.

Die Schnellwirkung der gegenwärtigen Schnellbremse ist nur anwendbar, wenn die volle Kraft der Bremsen ausgeübt werden soll. Andererseits gibt die gewöhnliche Bremse, welche jeden Grad der Bremswirkung zulässt, eine merklich langsamere Fortpflanzung der Bremswirkung.

Bei der Prefsluft-Schnellbremse besteht die die Wirkung der Bremsen regelnde Vorrichtung aus einem zwischen dem Bremszylinder und einem Hilfsbehälter angebrachten Steuerventile. Bei gelösten Bremsen enthalten die Bremsleitung, das Steuerventil und der Hilfsbehälter Luft von gleichem Drucke. Eine geringe Verminderung des Bremsleitungsdruckes betätigt den Steuerventilkolben, welcher die Speisung des Hilfsbehälters schließt und eine Verbindung zwischen ihm und dem Bremszylinder öffnet. So werden die Bremsen für das gewöhnliche Anhalten angewendet, ihre Anwendung wird durch die Verminderung des Bremsleitungsdruckes beliebig geregelt. Sie werden gelöst durch Erhöhung des Bremsleitungsdruckes, welche die Verbindung zwischen dem Hilfsbehälter und dem Bremszylinder schließt und die Bremsleitung, das Steuerventil und den Hilfsbehälter wieder mit gleichem Luftdrucke versieht. Für schnelle Wirkung wird die Spannung in der Hauptleitung plötzlich erheblich vermindert, dann kommt die schnell wirkende Vorrichtung des Steuerventiles zur Wirkung, indem es eine unmittelbare Verbindung von der Bremsleitung nach dem Bremszylinder öffnet, so daß die Bremsen fest angezogen werden. Durch diese schnelle örtliche Verminderung des Bremsleitungsdruckes wird die Wirkung der Steuerventile durch den ganzen Zug hindurch so beschleunigt, daß sie an allen Wagen fast gleichzeitig erfolgt.

Bei einem jetzt von der Westinghouse-Bremsen-Gesellschaft eingeführten verbesserten Steuerventile wird die schnelle Fortpflanzung der wiederholten Wirkung der Schnellbremsen durch den ganzen Zug hindurch auf alle Fälle des Bremsens, ob teilweise oder voll, angewendet, während eine zu schnelle Entfaltung der Bremskraft an jedem Wagen, wodurch besonders bei langen und lose gekuppelten Zügen schädliches Zerrn oder Auflaufen bewirkt würde, vermieden wird.

Der neue Grundsatz, die Luftmenge, welche bei Druckbremsen örtlich aus der Bremsleitung zu entlassen, oder bei Saugebremsen einzulassen ist, zu beschränken, ist bei den Saugebremsen ohne weitere Verwickelung einzuführen, während er bei den Druckbremsen eine Vereinfachung der Vorrichtung mit sich bringt. Die schnell wirkenden Teile des alten Steuerventiles sind fortgelassen, ihre Stelle wird durch eine kleine Kammer eingenommen (Abb. 20, Taf. XLVI). In der gezeichneten Lage für gelöste Bremsen ist diese Kammer gegen die

Außenluft offen. Sobald der Kolben des Steuerventiles bewegt wird und den Schieber betätigt, wird die Kammer gegen die Außenluft geschlossen, und durch die gestrichelt gezeichnete Aushöhlung im Schieber wird eine unmittelbare Verbindung der Kammer mit der Bremsleitung geöffnet, wodurch in dieser eine örtliche Druckverminderung hergestellt wird, welche unmittelbar die Betätigung des nächsten Steuerventiles verursacht, und so weiter durch den ganzen Zug hindurch. So werden alle Klötze fast gleichzeitig auf die Räder gebracht, und der Führer kann dann jeden Grad der Bremswirkung durch eine weitere Verminderung des Bremsleitungsdruckes erzeugen.

Eine weitere, ebenfalls eine sanfte und gleichförmige Wirkung aller Bremsen bezweckende Verbesserung besteht in dem vom Schieber nach dem Bremszylinder führenden Durchgange. Er besteht aus einem beweglichen Stöpsel mit zwei immer offenen Löchern und einem dritten Loche, welches ein durch eine Feder gehaltenes selbsttätiges Drosselventil trägt. Er ist so angeordnet, daß, nachdem die Bremsen aufgesetzt sind, das selbsttätige Ventil durch den über ihm befindlichen Luftüberdruck gegen den Federdruck geöffnet wird, so daß die Luft durch das größere der beiden immer offenen Löcher in den Bremszylinder einströmt; sobald der Luftdruck auf der Unterseite des Ventiles zunimmt, schließt die Feder das Ventil, und die Luft strömt durch das kleinere Loch in den Bremszylinder. Die Durchmesser der beiden Einströmungslöcher stehen in bestimmtem Verhältnisse zum Durchmesser des Bremszylinders, an dem das Steuerventil verwendet wird. Für die beim Lösen der Bremsen aus dem Bremszylinder ausströmende Luft ist im Steuerventile ein besonderer Durchgang vom Bremszylinder nach dem Schieber vorgesehen. Das Maß des Lösen wird wie zuvor durch einen nicht gezeichneten, in das Ausströmungsloch des Steuerventiles geschraubten Nippel geregelt.

Das Lösen der Bremsen erfolgt in der gewöhnlichen Weise. Ein vergrößerter Druck in der Bremsleitung bringt den Kolben in die gezeichnete Lage zurück, so daß die im Bremszylinder vorhandene Luft nach außen entweichen kann. Zugleich wird die in der Kammer vorhandene geringe Luftmenge herausgelassen, die Kammer also auf den äußern Luftdruck gebracht.

Für Saugebremsen werden ein kleiner Behälter, welcher immer mit einem engen Durchgange nach außen offen ist, und ein Beschleunigungsventil zwischen dem Behälter und der Bremsleitung angebracht. Die Anordnung ist so getroffen, daß, wenn sich das Beschleunigungsventil öffnet, die von der Außenluft her in die Bremsleitung einströmende Luftmenge durch den kleinen Behälter und den engen Durchgang nach der Außenluft beschränkt wird (Abb. 21, Taf. XLVI). Hierdurch ergeben sich zwei wichtige Verbesserungen, nämlich bessere Erhaltung

der Saugwirkung in der luftleeren Kammer und eine fast gleichzeitige teilweise Anlegung aller Bremsen eines beliebig langen Zuges.

Die Wirkungsweise ist folgende. Wird durch den Dampfstrahlsauger oder ein Ventil Luft in die Bremsleitung eingelassen, so daß die Saugwirkung in der Bremsleitung örtlich verringert wird, so wird das nächste Beschleunigungsventil gehoben und so aus dem kleinen Behälter Luft in die Bremsleitung eingelassen. Die so eingelassene beschränkte Luftmenge dient zur weitem Verringerung der Saugwirkung in der Bremsleitung an jener Stelle, so daß die Bremsen des betreffenden Wagens teilweise angesetzt werden und das nächste Beschleunigungsventil gehoben wird. Diese Wirkung wird schnell durch den Zug hindurch fortgepflanzt, so daß alle Drosselventile zwischen den Saugbehältern und der Bremsleitung schnell und sicher gehoben, und alle Bremsen fast gleichzeitig mit einem beschränkten Drucke angelegt werden. Sollte die volle Kraft der Bremsen gewünscht werden, so wird der Dampfstrahlsauger oder das Einlaßventil offen gelassen und die zur Vollendung des Bremsens erforderliche Luft eingelassen. B—s.

#### Die Chapsal-Sailot-Luftdruckbremse.

(Engineering 1906, Dezember, S. 863. Mit Abb.; Bulletin des internationalen Eisenbahn-Kongress-Verbandes 1907, Juli. Bd. XXI, S. 686. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 12 bis 17 auf Tafel XLVI.

Um die Räder leerer Wagen nicht festzubremfen, wird der Klotzdruck bei den gegenwärtig verwendeten Bremsen für jede Wagenart nach dem Leergewichte bemessen. Hieraus entsteht eine beträchtliche Beschränkung der Bremskraft in Zügen mit verschieden beladenen Wagen. Die Bremslänge ist daher zu groß, ungeachtet der Schnelligkeit, mit der die Bremsen angelegt werden können, und in den Kuppelungen entstehen ungleiche Spannungen. Eine weitere Ungleichheit in der Bremswirkung ist dem Druckunterschiede in den Bremszylindern zuzuschreiben, welcher aus der Verschiedenheit des Kolbenhubes wegen ungleicher Abnutzung der Bremschuhe entsteht.

Bei der Chapsal-Sailot-Bremse ist die Bremswirkung von der Abnutzung der Bremschuhe unabhängig, sie wird auch beständig der Last jedes einzelnen Wagens eines Zuges angepaßt.\*) Ihre Lage unterhalb des Rahmens eines Wagens ist aus Abb. 12, Taf. XLVI zu ersehen. An jedem Wagen befindet sich ein Bremsbehälter, ein Hilfsbehälter und ein Bremszylinder. Das Steuerventil arbeitet durch den Druckunterschied im Hilfsbehälter und in der Bremsleitung und sichert die gleichzeitige Füllung beider Behälter während der Fahrt; beim Bremsen regelt es die stufenweise oder vollständige Füllung und Entleerung des Bremszylinders. Ein Satz kleiner Stangen verbindet das Steuerventil derart mit den Tragfedern, daß sich der im Bremszylinder erzeugte Druck aus einem gegebenen Druckunterschiede in der Bremsleitung innerhalb weiter Grenzen mit der Belastung des Wagens ändert. Der Hilfsbehälter regelt die Wirkung des Steuerventiles und sichert Gleichförmigkeit

\*) Organ 1896, S. 87; 1902, S. 79.

im Bremsen längs des ganzen Zuges. Die einzige Aufgabe des Bremsbehälters besteht in der Füllung des Bremszylinders.

Abb. 13, Taf. XLVI zeigt das Steuerventil in der Fahrstellung. Die Luft aus der Bremsleitung kommt in A an, hebt den Kolben B und füllt beide Behälter, indem sie durch die Schlitze a und b, die Löcher c und das Ventil d, dann durch e und f (Abb. 14, Taf. XLVI) strömt. Die drei Querwandkammern G, H, I stehen durch den Schieber K und die Durchgänge g, h, i und k mit der Außenluft in Verbindung. Die Bremse ist dann gelöst.

Eine Druckverminderung in der Bremsleitung veranlaßt den Kolben B zur Abwärtsbewegung, der Schieber K öffnet den Weg h, die Luft aus dem Hilfsbehälter tritt in die Kammer H ein, die Kammer G steht durch g und g' mit dem Rohre A in Verbindung, und die Kammer I ist gegen die Außenluft geschlossen (Abb. 15 und 16, Taf. XLVI). Der Druckunterschied in H und G wirkt auf die Querwände M und M', und veranlaßt den Hebel P zur Drehung um seinen Drehpunkt; die Stange T hebt das Ventil R, und der Bremsbehälter liefert Preßluft an die Kammer I. Diese Luft treibt den Kolben U vorwärts, welcher die Gabel V und den Drehpunkt des Hebels mit sich zieht (Abb. 17, Taf. XLVI); der Hub ist gemäß der Durchbiegung der Federn des Wagens durch die oben erwähnten kleinen Stangen begrenzt. Das Längenverhältnis der beiden Arme des Hebels P wird gemäß der Achslast selbsttätig geregelt. Das Ventil R schließt sich, wenn der unterhalb der Querwand N wirkende Druck dem in G hervorgerufenen Unterdrucke das Gleichgewicht hält.

Ist m die Länge des rechten, n die des linken Hebelarmes, d die Druckverminderung in der Bremsleitung, also der Druckunterschied zwischen G und H, f der Ausgleichdruck in I, so ist bei gleichem Flächeninhalte der Querwände  $f = \frac{m}{n} d$ . Das

Verhältnis zwischen dem Rauminhalte der Behälter und des Bremszylinders ist gleichgültig, und f ist immer verhältnisgleich d, wie groß auch immer die Abnutzung der Bremschuhe sei. Das Verhältnis m : n ändert sich mit der Lage des Mittelpunktes O, welche von der Achslast abhängt. Sein größter Wert, welcher der größten Last entspricht, nach der der Flächeninhalt des Bremskolbens bemessen ist, wird bestimmt durch die Formel  $P = \frac{m}{n} d$ , wenn P der Druck ist, welcher aus der vollständigen Ausdehnung der Luft aus dem Bremsbehälter im Bremszylinder entsteht, und d die dem vollen Anlegen der Bremsen entsprechende Druckverminderung in der Bremsleitung.

Für geringere Lasten, entsprechend den Längen m' und n' der Hebelarme, würde  $f' = \frac{m'}{n'} d$  sein, daher  $f : f' = \frac{m}{n} : \frac{m'}{n'}$ , und  $\frac{m'}{n'}$  wird bestimmt durch die Gleichung

$$\frac{m}{n} : \frac{m'}{n'} = \text{Brutto} : \text{Tara},$$

wodurch eine der Last verhältnisgleiche Bremswirkung entsteht.

Die richtigen Werte für  $\frac{m}{n}$  und  $\frac{m'}{n'}$  werden für jede Wagenart

mittels Berichtigung in der Reihe der kleinen Verbindungstangen erhalten.

Wird durch die Bremsleitung Prefsluft zugeführt, so wird das Gleichgewicht in I aufgehoben, die Querwände wirken umgekehrt, das Ventil S wird gehoben und gestattet den Austritt der Luft aus dem Bremszylinder, bis Verhältnissgleichheit in den Drücken erreicht ist. Die Bremse kann stufenweise durch allmähliches Einlassen von Luft gelöst werden. Die Bremsen sind ganz gelöst, wenn der Anfangsdruck in der Bremsleitung wieder erreicht ist, und die verschiedenen Teile von neuem die in Abb. 13, Taf. XLVI gezeigte Lage einnehmen. B—s.

### Über Einpolmaschinen. Von Otto Schulz.

(Elektropraktiker 1906, S. 59. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 10 und 11 auf Taf. XLVII.

Die Verwandlung des in der Gleichstrommaschine zunächst erzeugten Wechselstromes in Gleichstrom bringt mancherlei Unzuträglichkeiten mit sich. Der Vorgang bedingt insbesondere den sehr verwickelten und empfindlichen Stromsammeler und verursacht durch das berüchtigte Funken Spannungsverluste und raschen Verschleifs des kostspieligen Stromsammellers. In neuester Zeit hat man angefangen, die außerordentlich schnell laufenden Dampfturbinen als Antriebmaschinen für Dynamomaschinen zu benutzen, bei deren hohen Umdrehungszahlen funkenfreie Stromverwandlung besonders schwierig wird.

Mit den Gleichstrommaschinen ohne Stromsammeler, den Einpolmaschinen, konnte man bisher nur sehr niedrige Spannungen erzeugen, ein Mangel, der gerade durch die Dampf-

turbinen gehoben ist, und damit schwindet die hauptsächlichste Schwierigkeit, die der Einführung im Wege stand.

Läfst man (Abb. 10 und 11, Taf. XLVII) in einem zueipoligen magnetischen Felde, dessen beide ringförmigen Pole einander einmittigt gegenüberstehen, also in einem »einpolaren« Felde, eine im Mittelpunkte befindliche Kreisscheibe aus leitendem Stoffe sich drehen, so kann man durch Bürsten  $B_1$  und  $B_2$  an der Achse und am Rande der Scheibe einen fortwährend fließenden Gleichstrom abnehmen. Bei der Umdrehung der Scheibe muß also eine nach dem Mittelpunkte gerichtete elektromotorische Kraft entstehen. Man erkennt leicht warum. Die Grundgleichung der Induktion lautet

$$de = \frac{dZ}{dt},$$

das heißt: ändert sich die Kraftlinienzahl, die einen elektrischen Leiter durchsetzt, in der unendlich kleinen Zeit  $dt$  um den unendlich kleinen Betrag  $dZ$ , so entsteht in dem Leiter das ebenfalls unendlich kleine elektrische Potential  $de$ . Nun ist offenbar dieser Betrag der Änderung ein anderer, größerer nämlich, am Rande der Scheibe, als nahe am Mittelpunkte oder im Mittelpunkte selbst, wo er Null ist. Denn die Änderung an irgend einer Stelle der Scheibe ist abhängig von der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe an der betreffenden Stelle. Die Umdrehungsgeschwindigkeit aber nimmt von außen nach innen ständig ab. Dementsprechend ändert sich das elektrische Potential von außen nach innen. Es entsteht daher bei geschlossenem Kreise ein in der Richtung nach dem Mittelpunkte fließender elektrischer Strom.

Eine Vervielfachung der Spannung in Einpolmaschinen geschieht durch Hintereinanderschaltung mehrerer Induktorscheiben. B—s.

## Signalwesen.

### Neue Signale auf der Pennsylvania-Bahn.

(The Engineer 1907, Juni, S. 596. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnung Abb. 8 auf Tafel XLVI.

Die Pennsylvania-Bahn erprobt neue Signale, welche seit einigen Monaten auf ungefähr 19 km nahe Philadelphia verwendet werden. Sie sollen auch auf dem gegenwärtig in Washington für die Pennsylvania-Bahn und die Baltimore-Ohio-Bahn gebauten großen Personenbahnhofe verwendet werden.

Die Signale haben zwei Arme und zwei Lichter. Bei den bestehenden Anordnungen wechselt die Anzahl gemäß der Zahl der Eisenbahnlinien, so daß sich an einem Maste ein bis fünf Lichter befinden können. Ist ein Arm abgebrochen oder sein Licht erloschen, so kann der Führer dies nicht wahrnehmen; weiß er aber, daß jeder Mast zwei Arme und zwei Lichter zeigen muß, so wird er jeden Mangel bemerken. Für Fahrten mit geringer Geschwindigkeit wird bisweilen an demselben, oder einem besondern Maste ein kleiner Arm mit einem verhältnismäßig schwachen Lichte angebracht, aber so weit unter den Hauptarmen, daß diese dadurch nicht undeutlich werden.

Um in die senkrechte »Fahrt«-Stellung zu gelangen, schwingen die Signalarms nach oben, anstatt in diese Stellung

herabzufallen. Ferner hat jeder Arm drei Stellungen: waagrecht für »Halt«, um  $45^\circ$  nach oben geneigt für »Achtung« und senkrecht für »Fahrt«. Die entsprechenden Lichter sind rot, grün und weiß, aber die Verwendung des weißen Lichtes als Signal wird abgeschafft, und auf dem Endbahnhofe in Washington werden die Lichter rot, gelb und grün sein. Dies ist die neueste Ausführung, nachdem für »Achtung« ein befriedigendes gelbes Glas hergestellt worden ist, während Grün für »Fahrt« verwendet wird.

Die Signale sind in zwei Klassen eingeteilt. Vor den einen muß ein Zug bei »Halt« warten, bis das Signal gezogen ist. Diese Signale werden bei Stellwerksanlagen an Abzweigungen und ferner als von Hand bediente Blocksignale verwendet. Vor den anderen muß ein Zug bei »Halt« eine gewisse vorgeschriebene Zeit warten, dann darf er vorsichtig in den Blockabschnitt einfahren. Diese Signale werden als selbsttätige Blocksignale verwendet, in Rücksicht auf die Möglichkeit, daß ein Signal in Unordnung ist. Zur Unterscheidung der beiden Signalarten stehen die beiden Lichter der ersten senkrecht untereinander und sind  $1,83^m$  voneinander entfernt, während sie sich bei der zweiten an entgegengesetzten Seiten des Mastes

befinden und in senkrechter Richtung ebenfalls 1,83 m und in wagerechter Richtung 0,61 m voneinander abstehen.

An den Stellen, wo Stellwerke verwendet werden, wie an Abzweigungen, bezeichnen die Signale eher die Geschwindigkeit der Züge als die Wege. Der obere Arm gilt für die Linie für hohe Geschwindigkeit, vorausgesetzt, daß keine Weichenverbindung zu durchfahren ist. Bei seiner »Fahrt«-Stellung kann der Zug mit der höchsten zulässigen Geschwindigkeit weiterfahren. Der untere Arm gilt für Fahrten mit mittlerer Geschwindigkeit und bezieht sich auf eine Abzweigung von der Linie für hohe Geschwindigkeit, sowie auf Weichenverbindungen, in denen Geschwindigkeiten von 64 bis 80 km/St. zulässig sind. Für kurze Weichenverbindungen und andere Stellen, wo langsam gefahren werden soll, werden der dritte Arm und das dritte Licht verwendet.

Abb. 8, Taf. XLVI zeigt die verschiedenen Stellungen eines Signales der ersten Klasse, welches bei Stellwerksanlagen, und als von Hand bediente Blocksignale verwendet wird. Die Buchstaben beziehen sich auf die Farben der Lichter. Es bedeutet:

1. Halten und warten, bis Signal gezogen.
2. Auf der Linie für hohe Geschwindigkeit mit Vorsicht bis zum nächsten Signale weiterfahren.
3. Auf der Linie für hohe Geschwindigkeit mit voller Geschwindigkeit weiterfahren.
4. Auf der Linie für mäßige Geschwindigkeit mit Vorsicht bis zum nächsten Signale weiterfahren.
5. Auf der Linie für mäßige Geschwindigkeit mit mäßiger Geschwindigkeit weiterfahren.

Alle Signalarms an Stellwerken bleiben gewöhnlich waagrecht und zeigen nachts rotes Licht. Zu einer Zeit wird nur ein Arm bewegt, sodafs ein Führer keinen Signalmast überfahren kann, wenn nicht das Signal für seine besondere Fahrt auf »Fahrt« oder »Achtung« steht. Wo keine Linie für hohe Geschwindigkeit vorhanden ist, wird der obere Arm in der waagrecht Stellung festgestellt, und das Licht ist immer rot; wo keine Weichenverbindungen oder Linien für mäßige Geschwindigkeit vorhanden sind, wird der untere Arm in der waagrecht Stellung festgestellt, und sein Licht ist dann immer rot.

Die Signale haben elektrisch gesteuerten Prefsluft-Antrieb; die Kraft wird von einem Hauptkraftwerke geliefert. Die Prefsluft hat 41 at Druck, und der elektrische Strom 500 Volt Spannung. Die Elektrizität für die Gleisstromkreise und Signale wird Speichern entnommen, welche in Kasten an den Signalmasten eingeschlossen sind. Diese Speicher werden in vier Nächten der Woche, jedesmal während acht Stunden von dem Strome von 500 Volt in Reihe geladen. Jeder Signalmast hat zwei Speicher; der eine betätigt die Signalzylindermagnete von 16 Ohm und speist den rückliegenden Gleisstromkreis durch einen Schienenwiderstand von 1 Ohm, die andere liegt im Stromkreise für die Ladung.

Alle Ausweichgleise sind mit Schutzweichen versehen, welche durch den Hebel der Streckengleis-Weichen gestellt werden, so daß kein Zug aus einem Ausweichgleise herausfahren kann,

wenn die Weichen für das Streckengleis gestellt sind. Beide Weichen der Streckengleis-Weichenverbindungen werden durch einen in der Mitte der Weichenverbindung befindlichen Hebel gestellt. So können die Weichen nicht etwa nachlässigerweise umgestellt und die Signale gezogen werden, während eine leichte Lokomotive auf der Weichenverbindung steht.

Alle Stellwerks-Ortsignale werden durch Kraft gestellt und fallen bei der Durchfahrt eines Zuges auf »Halt«. Das Signal kann erst wieder gezogen werden, wenn der Zug aus dem Gleisstromkreise hinausgefahren ist, und der Signalwärter seinen Hebel in die Grundstellung zurückgelegt hat. B—s.

### Phillips' selbsttätige Zugbremse.

(Railroad Gazette 1907, Mai, Band XLII, S. 734. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 6 bis 9 auf Tafel XLVIII.

Seit ungefähr zwei Jahren wird auf der englischen Nord-Staffordshire-Bahn bei der Newcastle-junction eine von Raymond Phillips erfundene Vorrichtung zum selbsttätigen Anziehen der Bremsen eines Zuges verwendet. Sechs Signale sind mit der Vorrichtung am Gleise, und eine Lokomotive ist mit der Vorrichtung zum Anziehen der Bremsen ausgerüstet. Bei dieser Bauart befinden sich auf der Lokomotive zwei getrennte Hebel; der eine wird berührt beim Überfahren eines auf »Achtung« stehenden Vorsignales, der andere beim Überfahren eines auf »Halt« stehenden Ortsignales. Beim Ortsignale werden die Bremsen stärker angezogen, als beim Vorsignale. Wenn die Bremsvorrichtung betätigt wird, werden im Führerhause ein hörbares und ein sichtbares Signal gegeben, und wenn der am Gleise befestigte Arm bewegt wird, läutet in der Signalbude eine Glocke.

Abb. 6, Taf. XLVIII stellt die nahe dem Signale zwischen den Schienen befestigte Vorrichtung dar. Im untern Teile jedes Gehäuses befindet sich eine Gleitstange a, die bei b mit dem Signaldrahte oder mit der Signalstange verbunden ist. Das andere Ende c der Gleitstange ist mit einem Gegengewichte verbunden, um das Zurückkehren der Gleitstange in die Grundstellung zu sichern. Die Arme dd stehen in aufrechter Stellung 317 mm über Schienenunterkante. Sie haben zur Aufrechterhaltung Gegengewichte ee und können in jeder Richtung gedreht werden, wenn sie durch den Hebel der durchfahrenden Lokomotive berührt werden. Mit Rücksicht darauf, daß ein Arm gebrochen sein, oder nicht gehörig berührt haben könnte, sind deren zwei angeordnet. Wenn die Gleitstange gemäß dem gezogenen Signale nach links gezogen ist, kommt die Hemmung f an der Gleitstange gegen das Gegengewicht e, und der Arm d dreht sich nach rechts, so daß der Hebel an der Lokomotive frei durchkommen kann. Wenn jedoch das Signal auf »Achtung« beziehungsweise »Halt« steht, wird der Arm d durch den Hebel an der Lokomotive berührt.

In der Signalbude befindet sich ein elektrischer Anzeiger, welcher die Stellung des Armes sichtbar anzeigt und durch Stromschliefer am Arme d betätigt wird. Ferner läutet eine Glocke, wenn der Anzeiger von »Aufrecht« auf »Geneigt« übergeht, mag dies durch die Handlung des Signalwärters geschehen, oder durch die zeitweilige Neigung des Armes, wenn er durch

einen sich nähernden, das »Achtung«- beziehungsweise »Halt«-Signal überfahrenden Zug berührt wird. Diese Glocke läutet so lange, bis der Signalwärter sie abstellt. Auf diese Weise wird dem Wärter das Herannahen eines Zuges angezeigt.

Die Vorrichtungen beim Vor- und Ort-Signale sind gleich, befinden sich aber nicht in derselben Lage zu den Schienen.

Abb. 7, Taf. XLVIII zeigt die Vorrichtung an der Lokomotive. Am Rahmen hängt ein Gehäuse, in dem sich zwei Hebel b befinden, welche unter dem Zapfen ungefähr 20 cm hervorstehen und den Arm d (Abb. 6, Taf. XLVIII) berühren, wenn dieser aufrecht steht. Der eine Hebel berührt den Arm beim Vorsignale und betätigt die durchgehende Bremse so, daß die Geschwindigkeit des Zuges verringert wird, der andere Hebel berührt den Arm beim Ortsignale und betätigt die Bremsen so, daß der Zug angehalten wird. Im Führerhause der Lokomotive befinden sich zwei Druckmesser  $c^1$  und  $c^2$  mit Vor- und Ortssignal darstellenden Anzeigern. Während der Fahrt stehen diese Arme nach unten oder auf »Fahrt«, da der Behälter der Luftsaugebremse gewöhnlich durch den Vorsignalschieber d und den nicht dargestellten Ortssignalschieber mit den Druckmessern in Verbindung steht. Wird ein auf »Achtung« stehendes Vorsignal überfahren, so wird der untere Teil des Hebels b nach rechts gedreht, das belastete Ende des Hebels  $e^1$  fällt hinter den oberen Teil und hält so den Hebel b fest. Dadurch wird der Kolbenschieber d sinken, so den leeren Raum auf der Seite des Rohres f abschneiden und Rohr g nach der Außenluft hin öffnen, wodurch der Arm  $c^1$  steigt. Das andere Ende des Hebels  $e^1$  ist mit einem im Zylinder  $h^1$  arbeitenden Kolben verbunden, welcher dann gehoben wird, durch die Sirene und das Rohr j tritt Luft in die Bremsleitung ein, die Sirene ertönt, und die Bremsen werden teilweise angezogen. Um die Bremsen zu lösen und den Lärm der Sirene abzustellen, muß der Dreiweghahn k gedreht werden, wodurch der Behälter durch l, m so mit der untern Seite des Zylinders  $h^1$  verbunden wird, daß der Kolben sinkt, der Hebel  $e^1$  in die Grundstellung zurückkehrt und durch Heben seines belasteten Endes den Hebel b freigibt, der dann die senkrechte Stellung annimmt.

Während der Hebel  $e^1$  seine Grundstellung annimmt, bringt er den Kolbenschieber d zurück, öffnet Rohr f wieder, schließt g und der Vorsignalarm fällt wieder.

Für das Ortssignal ist  $e^2$  (Abb. 8, Taf. XLVIII) der  $e^1$  entsprechende Hebel und  $h^2$  der Zylinder. Das Anziehen der Bremse und das Ertönen der Sirene erfolgt ebenso, wie beim Vorsignale, aber der Ortssignalhebel  $e^2$  betätigt den Vorsignalhebel  $e^1$ , so daß beide Arme  $c^1$  und  $c^2$  auf »Achtung« beziehungsweise »Halt« gehen, wenn der Arm am Gleise aufrecht steht. Dies hat den Zweck, diese Signale mit den Ausensignalen in Übereinstimmung zu bringen. Zu diesem Zwecke ist ein T-Hebel n (Abb. 9, Taf. XLVIII) verwendet und der Vorsignal-Kolbenschieber über ihm aufgehängt, so daß der Hebel  $e^2$  beim Sinken den Hebel n mitnimmt und Schieber d sinkt. Wenn der Hebel  $e^1$  sinkt, nimmt er den Hebel n mit, aber nicht den Hebel  $e^2$ . Beim Überfahren eines auf »Halt« stehenden Ortssignales steht daher eine doppelte Fläche mit der Außenluft in Verbindung, was ein stärkeres Bremsen bewirkt.

Der Hebel des Dreiweghahnes steht gewöhnlich nach unten und ist schwer belastet, damit er in diese Stellung zurückkehrt, wenn er gedreht ist, so daß die Boden der Zylinder  $h^1$   $h^2$  leicht der Außenluft ausgesetzt werden und sich ihre Kolben leicht heben, wenn die Hebel  $e^1$   $e^2$  betätigt werden. Die Kolben sind aufgehängt, so daß sie, falls irgend etwas versagt, sinken und die Bremsen anziehen.

Die Berührungshebel sind, obgleich auf dieselbe Welle gesetzt, auf getrennten Nabenbüchsen angebracht. Jeder von ihnen ist in zwei Teilen hergestellt, gleich einer Schere, und so eingerichtet, daß, wenn er bräche, oder wenn das Ende abgeschlagen wäre, die beiden Teile durch die Feder o geöffnet würden und so das belastete Ende des Hebels  $e^1$  beziehungsweise  $e^2$  in die Öffnung fallen und die Bremse anziehen würde. Wenn der Hebel  $e^1$  oder  $e^2$  aus irgend einem Grunde weggerissen wäre, oder irgend ein anderes Versagen einträte, würde der Kolben d sinken und die Bremsen anziehen.

Eine ähnliche Vorrichtung ist auch entworfen zur Verwendung bei der Westinghouse-Luftbremse. B—s.

## B e t r i e b.

### Der neue Unglücksfall auf der Neuyorker Zentral- und Hudson-Flufs-Bahn.

(Engineering 1907, April, S. 479. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 18 und 19 auf Tafel XLVI.

Am 16. Februar 1907 ist in der Nähe von Woodlawn auf der Neuyorker Zentral- und Hudson-Flufs-Bahn ein aus zwei elektrischen Lokomotiven von je ungefähr 86 t Gewicht und fünf Wagen von ungefähr 145 t Gewicht bestehender Schnellzug durch Umstürzen von vier Wagen verunglückt. Ungefähr 16 km vom Hauptbahnhofe in Neuyork beginnt auf der Bahn ein Bogen von ungefähr 560 m Halbmesser; in der Mitte dieses Bogens unterfährt die Bahn die Woodlawn-Straßen-Brücke. Unter dieser Brücke befindet sich in dem Gleise, auf welchem sich der Unglücksfall ereignete, ein stromdichter

Schienenstofs der Bauart Weber. An dieser Stelle waren die ersten Anzeichen der Entgleisung zu sehen. Die beiden elektrischen Lokomotiven und ein Wagen kamen ungefähr 500 m jenseits dieser Stelle zum Stehen, während die vier umgestürzten Wagen ungefähr 200 m von der Brücke auf dem Nachbargleise lagen.

An dem stromdichten Schienenstofs unter der Brücke waren an der Außenseite der Außenschiene die Köpfe der Hakenmängel abgesichert, die Stofsverbindung verdreht und das Ende der südlichen Schiene um etwa 13 cm verschoben. Die verschobene Schiene bildete das nördliche Ende eines Gleisstrom-Blockabschnittes; der Zug fuhr in nördlicher Richtung. Ein ähnlicher stromdichter Schienenstofs befand sich etwas weiter in der innern Schiene.

Die elektrischen Lokomotiven der Newyorker Zentral- und Hudson-Flufs-Bahn haben sechs Achsen, die Vorder- und Hinter-Achse liegen in einachsigen Drehgestellen. Der ganze Achsstand beträgt 8,23 m, die ganze Länge 11,28 m und der feste Achsstand 3,96 m. Der Schwerpunkt liegt 1,12 m über S.O. Das Gewicht beträgt 86 t. Die Drehgestelle haben Rückstellfedern. Die Triebräder haben im Hauptrahmen 10 mm Spielraum.

Bei Annahme des ungünstigsten Falles, dafs das zweite und dritte Triebad nicht gegen die Aufschiene drücken, aber unter Berücksichtigung der Führungswirkung des Drehgestelles, ergaben sich nach den Untersuchungen von Sachverständigen die folgenden Werte des durch das äufsere erste Triebad ausgeübten Druckes:

Geschwindigkeit . . . . . km/St.	64	80	97	113
Druck auf die äufsere Schiene . . kg	2150	3357	4749	6409
Last auf dem äufsern Triebade . . kg	7598	7915	8439	9049
Reibungswiderstand . . . . . kg	1896	1978	2109	2268
Scherkraft am Hakennagel . . . kg	254	1379	2640	4141

Diese Werte der Scherkraft an den Hakennägeln gründen sich auf die Annahme der üblichen Reibungszahl 0,25 bei Verwendung von Unterlegplatten. Vermutlich wird diese Zahl durch Eis zwischen Schiene und Unterlegplatte verringert, was eine gröfsere Scherkraft an den Hakennägeln ergeben würde.

Die Hakennägel sind nach den in Abb. 18 und 19, Taf. XLVI dargestellten Anordnungen geprüft worden. Bei der einen (Abb. 18, Taf. XLVI) hat der Block scharfe, bei der andern (Abb. 19, Taf. XLVI) abgerundete Schneiden. Es ist anzunehmen, dafs die Proben mit abgerundeten Schneiden der Wirklichkeit näher kommen, denn der Schienenfuß hat keine scharfe Schneide. Andererseits kann das gebohrte Loch in der Unterlegplatte auf der obern Seite, von welcher aus die Löcher gebohrt werden, einen scharfen Rand haben. Im ungünstigsten Falle bei ganz eckigen Rändern war die durchschnittliche einfache Scherkraft von mehreren geprüften Hakennägeln nach einigen Sachverständigen 8506 kg, nach andern ungefähr 7700 kg, während nach Angabe der Eisenbahngesellschaft einige einen Widerstand von nur 6532 kg leisteten. Die höheren Werte bieten daher bei einer Geschwindigkeit von ungefähr 97 km/St. eine fast dreifache Sicherheit, vorausgesetzt, dafs die ganze Kraft von nur einem Nagel aufgenommen wird, was bei einem Fehler im Gleise wohl möglich ist. In Wirklichkeit ist der Kopf des Hakennagels nicht einer reinen einfachen Abscherung ausgesetzt, der Kopf wird wahrscheinlich aufwärts gebogen und zugleich gegen eine scharfe Kante nach aufsen gedrängt, wobei die Zerstörung wohl früher stattfinden könnte, als nach Werkstattversuchen würde angenommen werden.

Bei zwei in jeder Hinsicht gleichen Lokomotiven, von denen die eine höhere Schwerpunktslage hat, als die andere, ist beim Durchfahren desselben Bogens mit derselben Geschwindigkeit die auf die Aufschiene wirkende Last für die erstere gröfser. Die früher auf der Bahn verwendeten 2.B.1-Dampflokomotiven hatten ein Gewicht von 86 t. Der ganze Achsstand betrug 8,41 m, der feste Achsstand 5,03 m und der Achsstand der Triebachsen 2,13 m. Die Höhe des Schwerpunktes war 1,85 m gegen 1,12 m bei den elektrischen Lokomotiven. Die auf die äufseren ersten Triebäder wirkenden Lasten waren bei den elektrischen und Dampflokomotiven bei verschiedenen Geschwindigkeiten folgende:

Geschwindigkeit . . . . . km/St.	64	80	97	113
Dampflokomotive . . . . . kg	11415	12195	14835	17098
Elektrische Lokomotive . . . . . kg	7598	7915	8439	9049

Der Reibungswiderstand zwischen Schiene und Unterlegplatte ist daher bei der Dampflokomotive mit dem hohen Schwerpunkte beträchtlich gröfser.

Für die Dampflokomotive sind von der Eisenbahngesellschaft folgende Werte angegeben:

Geschwindigkeit . . . . . km/St.	64	80	97	113
Wagerechter Druck am ersten äufsern Triebade . . . . . kg	2776	3379	5094	6981
Reibungswiderstand . . . . . kg	2849	3048	3706	4273
Scherkraft am Hakennagel . . . kg	—	331	1388	2708

Diese Werte sprechen im Vergleiche mit den oben für die elektrische Lokomotive angegebenen für die alten Lokomotiven.

Nach von Weber wird der Widerstand der Schienen gegen seitliche Verschiebung auf den Schwellen durch die Last auf den Schienen im Verhältnisse von 0,33 dieser Last vergrößert. Ist das der Fall, so hält die Lokomotive mit dem hohen Schwerpunkte das Gleis viel sicherer gegen Verschieben, als eine mit niedriger Schwerpunktslage. Hiernach lag der Schwerpunkt der elektrischen Lokomotiven zu niedrig.

Bei gewissen Geschwindigkeiten ist jedoch die von dem berechneten Drucke des Drehgestelles der Dampflokomotive herrührende Scherkraft gröfser, als die von den Triebädern der Dampflokomotive oder der elektrischen Lokomotive herrührende. Andererseits ist es eine Sache der Vermutung, wie weit diese Verhältnisse wirklich zutreffen, da ein gut eingerichtetes zweiachsiges Drehgestell stofsmildernd und zugleich in dem Sinne auf Verlegung des Schwerpunktes wirkt, dafs auf die äufsern Räder eine gröfsere Last kommt, wodurch die Scherkraft für die Hakennägel vermindert wird. B—s.

## Technische Litteratur.

**Die Dampflokomotiven der Gegenwart.** Betrachtungen über den Bau und Betrieb unter besonderer Berücksichtigung der Erfahrungen an den mit Schmidtschen Überhitzereinrichtungen gebauten Heißdampf-Lokomotiven der Preussischen Staatseisenbahnverwaltung. Von R. Garbe, Geheimem Baurate, Mitgliede der Kgl. Eisenbahn-Direktion Berlin. Mit 388 Textabbildungen und 24 lithographierten Tafeln. Berlin, J. Springer, 1907, Preis 24 M.

Das vorliegende Werk gehört in verschiedenen Beziehungen zu den bedeutungsvollsten Erscheinungen der letzten Zeit, es beruht auf gründlicher theoretischer Erkundung der Lokomotive, zugleich aber auf reicher eigener Erfahrung des Verfassers, und faßt dabei die Frage der wirtschaftlichen Gestaltung der Lokomotive bei allen Erörterungen scharf ins Auge, wird also allen grundlegenden Gesichtspunkten des Lokomotivbaues gerecht.

Die reiche im Betriebe erworbene Erkenntnis ermöglicht dem Verfasser eine sehr allgemeine Behandlung des arbeitsamsten Zugtieres unserer Kulturstufe, drängt ihn zugleich auch mit einer gewissen Entschiedenheit in die Vertretung einer bestimmten Richtung, die ihm nach seiner Erfahrung als die fruchtbare der Zukunft erscheint, und der er selbst mit dem Rufe Ausdruck gibt: »Zurück zur Einfachheit der Bauart und vorwärts in Leistung und Wirtschaftlichkeit muß ganz allgemein der leitende Gedanke im Lokomotivbau werden.«

Der Verfasser sucht diesen Gedanken in die Tat umzusetzen, indem er befürwortet, die durch Verwendung des gasförmigen Heißdampfes gewonnenen Vorteile, ja neuen Möglichkeiten in erster Linie zu tunlichster Vereinfachung der Gestaltung der Lokomotive zu verwerten, beispielsweise durch Aufgabe der mit der Verbundwirkung verbundenen Vielgestaltigkeit und Vielteiligkeit des Triebwerkes, und durch Verkleinerung der durch niedrige Dampfspannung bedingten Zahl und Größe der Zylinder.

So lehrreich auch der allgemeine Inhalt des Buches für jeden, für den akademischen wie für den handwerksmäßigen Vertreter des Lokomotivbaues, für den Anfänger, wie für den reifen Ingenieur ist, so erkennen wir seine Hauptbedeutung darüber hinaus in der angedeuteten Entschiedenheit, mit der sich der Verfasser vielen Vertretern dieses Zweiges der Eisenbahntechnik gegenüber stellt, und wir sehen hierin ein besonderes Verdienst. Denn wenn heute auch nicht bewiesen werden kann, wie weit der Verfasser mit seinen Anschauungen im Rechte oder Unrechte ist, so hat jede derart offene und gut begründete Vertretung einer bestimmten Auffassung die Herausforderung der Anhänger entgegenstehender Anschauungen zu ebenso eingehender Begründung ihrer Ansichten, und so die endgültige Klärung der behandelten Fragen zum fördernden Erfolge.

Wir sind überzeugt, daß das gründliche und reife Werk geeignet ist, auf diesem Wege zu einem besonders wohl abgewogenen Fortschritte zu führen, und empfehlen es deshalb besonders warm der allgemeinsten Benutzung.

**Der Eisenbetonbau** bei den neuen von der K. K. Eisenbahnbau-direktion ausgeführten Bahnlinien Österreichs, von Ingenieur A. Nowak, Baukommissär der K. K. Eisenbahnbau-direktion in Wien. Berlin, Ernst und Sohn, 1907. Preis 4,0 M.

Wenn auch vielleicht die Zahl der jetzt erscheinenden Werke über Eisenbetonbau auf den ersten Blick fast übergroß erscheint, so wird sie durch nähern Einblick doch wohl begründet, denn man findet fast stets andere Gesichtspunkte vertreten und betont, und das ist bei einem so in der Gärung der Reifeentwicklung begriffenen Gegenstande nicht zu verwundern, vielmehr ist diese Vielseitigkeit der Behandlung das Mittel, das uns schließlic zu feststehenden Grundsätzen sowohl in der Theorie der Verbundkörper in sich, als auch in der Anwendung der allgemeinen Statik auf solche führen muß. So ist denn auch die Vielheit der Veröffentlichungen zu begründen.

Was wir zur Darlegung der Eigenart dieses Werkes insbesondere hervorzuheben haben, das ist die Darstellung von ausgeführten Bauwerken aller Art in größeren Abmessungen und die Wiedergabe der zugehörigen Berechnungen unter Mitteilung der nötigen statischen Formeln bei den statisch unbestimmten Bauwerken. Mehrere Ausführungen sind auch auf verschiedenen Wegen berechnet, und auch so ist die Vielseitigkeit des zweifellos sehr nützlichen Buches gesteigert.

**Alphabetisches Sachverzeichnis** über sämtliche bis 31. Dezember 1906 in das Patentregister des K. K. Patentamtes eingetragenen Patente. Sonder-Abdruck aus dem Jahreskataloge des K. K. Patentamtes für das Jahr 1906. Wien, Lehmann u. Wentzel. Preis 2 Kronen.

Den am Gewerbe Beteiligten ist allgemein und nicht selten recht schmerzlic bekannt geworden, wie schwierig es ist, sich über die Frage zuverlässige Auskunft zu verschaffen, welche Patente auf einem bestimmten Gebiete oder auf einzelne Gegenstände und Gedanken erteilt sind. In dieser Lage kann der vorliegende Sonderdruck für Österreich-Ungarn wesentliche Hülfe gewähren. Er bringt ein buchstäblich geordnetes Verzeichnis der patentierten Gegenstände, mit den erforderlichen Unterteilungen unter jedem, und gibt jedesmal die Nummern der betreffenden Patente an, so daß das mühsame Suchen betreffs aller vor 1907 erteilten Patente unnötig geworden ist.

Bei den regen Handelsbeziehungen zwischen Österreich-Ungarn und dem Deutschen Reiche wird die Herausgabe dieses sehr übersichtlichen Verzeichnisses auch in den Gewerbekreisen des letztern mit Freude begrüßt.

**Handbuch der Ingenieurwissenschaften.** V. Teil. Der Eisenbahnbau. 4. Band. Anordnung der Bahnhöfe. Erste Abteilung. Einleitung, Zwischen- und Endstationen in Durchgangsform, Verschiebebahnhöfe, Güter- und Hafenhöfe. Bearbeitet von A. Goering† und M. Oder. Herausgegeben von F. Loewe, ord. Professor an der Technischen Hochschule in

München und Dr. H. Zimmermann, Wirklicher Geheimer Oberbaurat und vortragender Rat im Ministerium der öffentlichen Arbeiten in Berlin. Mit 420 Abb. im Text, 9 Texttafeln und 5 lithogr. Tafeln. Leipzig, W. Engelmann, 1907.

Ohne Übertreibung darf man wohl sagen, daß Deutschland hinsichtlich der Durchbildung neuer Bahnhofsanlagen schon geraume Zeit in der vordersten Reihe steht. Trotzdem hat es lange gedauert, wenn wir von älteren Versuchen absehen, bis wir eine umfassende Darstellung über Bahnhofsanlagen erhalten haben. \*)

Schon lange aber wurde aus der Feder des zu früh heimgegangenen, auf diesem Gebiete durch zahlreiche Veröffentlichungen weit bekannten Hochschullehrers A. Goering die Bearbeitung eines planmäßigen Lehr- und Handbuches erwartet. Seine Herausgabe verzögerte sich indessen durch Überlastung mit Amtsgeschäften. Nun erscheint nach seinem Tode der vorliegende Band des Handbuches der Ingenieurwissenschaften mit dem ersten von ihm selbst allein bearbeiteten Abschnitte über Zwischen- und Endstationen in Durchgangsform nebst einer Einleitung.

Daneben aber als Hauptteil des Bandes 287 von 385 Seiten in Anspruch nehmend eine Darstellung der Verschiebe- und Güterbahnhöfe auf Grund einer Erörterung der Grundzüge der Güterbeförderung aus der Feder des auf diesem Sondergebiete wohlbekannten Schülers und langjährigen Mitarbeiters Goerings, des Professors des Eisenbahnbaues an der Danziger Hochschule, M. Oder. Die Einleitung gibt eine vorzügliche Darstellung von Zweck und Wesen der Bahnhofsanlagen und der Entwicklung der für sie gültigen Grundsätze, die naturgemäß durch die Entwicklung der Eisenbahn-Verhältnisse in Deutschland bedingt werden. Vor Allem wird mit Recht immer wieder auf die Berücksichtigung der Beweglichkeit und Veränderlichkeit der Verkehrsverhältnisse hingewiesen, deren Durchführung im einzelnen durch den verfassungsgemäßen gesetzlichen Gang zur Erlangung der Bewilligung der Mittel bei unseren Staatsbahnen und die Enteignungsgesetze nicht unerheblich erschwert ist.

Als recht zweckmäßig muß es bezeichnet werden, daß bei der Darstellung von den einfachsten Verhältnissen ausgegangen ist und schrittweise die zusammengesetzteren entwickelt wurden. Besonders eingehend ist neben der Anknüpfung der Nebengleise die wichtige Frage der Lage der Überholungsgleise behandelt.

Im 2. Abschnitte wird die gründliche und klare Darstellung der Beförderung der Güter und der Güterwagen, des Güterzugbetriebes, und insbesondere die Erörterung des Zweckes der Verschiebeanlagen an verschiedenen Stellen des Bahnnetzes, ein schwieriger, bisher noch wenig geklärter Gegenstand, von allen Beteiligten, Lehrenden, Lernenden und Ausübenden mit Freude begrüßt werden. Besonders die vergleichenden Untersuchungen, die auch die wirtschaftliche Seite berücksichtigen, die Angaben über die Verkehrsgrößen, die Art des Betriebes, die Anführung der erwiesenen Mängel auf Grund von eigenen örtlichen Besichtigungen kann nicht genug anerkannt werden. Das ist

\*) Vergl. Eisenbahn-Technik der Gegenwart, Bahnhofsanlagen.

gerade was uns bisher gefehlt hat. Mit welchen Schwierigkeiten hierbei, trotz des gerühmten Entgegenkommens der Verwaltungen der Verfasser zu kämpfen gehabt haben mag, kann sich nur derjenige vorstellen, der selbst ähnliches versucht hat. Die Art und Weise der Behandlung des Gegenstandes, zuerst Begriff und Zweck, sowie die Anordnung der Hauptformen der Verschiebebahnhöfe an geeigneten Beispielen, Soest, Osterfeld, Dresden, Edgehill, Nürnberg, Pankow darzulegen, und dann erst eine ausführliche, planmäßige Erörterung anzuschließen, kann nur gebilligt werden. Die geschichtlichen Angaben über die Entwicklung der Ablaufberge sind bemerkenswert. Hiernach hat die erste Anwendung von Eselsrücken in Deutschland und zwar 1876 in Speldorf stattgefunden. Daß die grundlegenden Arbeiten von Albrecht, Blum und Anderen gebührend gewürdigt sind, bedarf kaum der Erwähnung.

Die Darstellung der Güter- und Hafengebäude behandelt in dem Abschnitte über Stückgutbahnhöfe die Anordnung der neueren Schuppenformen zur Vergrößerung der Leistungsfähigkeit eingehend. Die Gleisanlagen für den Umschlagverkehr sind an der Hand einer Reihe neuerer Beispiele erörtert. Auch die Einrichtungen für die Umladung und Aufstapelung der Massengüter sind behandelt, bei den Betriebsanlagen ist als Beispiel der Duisburger Hafen angeführt.

Ein vollständiges Quellen-, Namen- und Sachverzeichnis vervollständigt den Band. Dem Erscheinen der 2. Abteilung des vorzüglichen Werkes mit der Behandlung der größeren Personenbahnhöfe und mit der Darstellung vollständiger Anlagen darf man mit der Zuversicht entgegensehen, daß sie sich, im Geiste Goerings gehalten, der ersten würdig anreihen und in der eigentümlichen Art der Behandlung eine Lücke in dem eisenbahn-technischen Schrifttum ausfüllen wird. W—e.

**Tabellen zur schnellen Bestimmung der Querschnitte, Momente und Spannungen in Eisenbetonplatten** von M. Bazali, Ingenieur. Berlin 1907, W. Ernst und Sohn. Preis 1,2 M.

Die Tabellen beruhen auf der Grundlage der ministeriellen Bestimmungen für Preußen und bilden ein bequemes und einfaches Mittel zur Bestimmung von vollen Eisenbetonplatten in ihren Einzelmassen, auch unter Berücksichtigung der Betonzugspannungen in der von den Bestimmungen vorgesehenen Weise.

**Statistische Nachrichten und Geschäftsberichte von Eisenbahn-Verwaltungen.**

1. Statistischer Bericht über den Betrieb der unter Königlich Sächsischer Staatsverwaltung stehenden Staats- und Privat-Eisenbahnen mit Nachrichten über Eisenbahn-Neubau im Jahre 1906. Herausgegeben vom Königlich Sächsischen Finanz-Ministerium.

2. 35. Geschäftsbericht der Direktion und des Verwaltungsrates der Gotthardbahn, umfassend das Jahr 1906. Luzern, 1907, H. Keller.

# GRUNDLAGEN

ZU EINER

# THEORIE DER BETTUNGSZIFFER.

VON

ING. KARL BORSCHKE,

BAU-OBERKOMMISSÄR DER ÖSTERREICHISCHEN STAATSBAHNEN.

MIT 47 TEXTABBILDUNGEN.

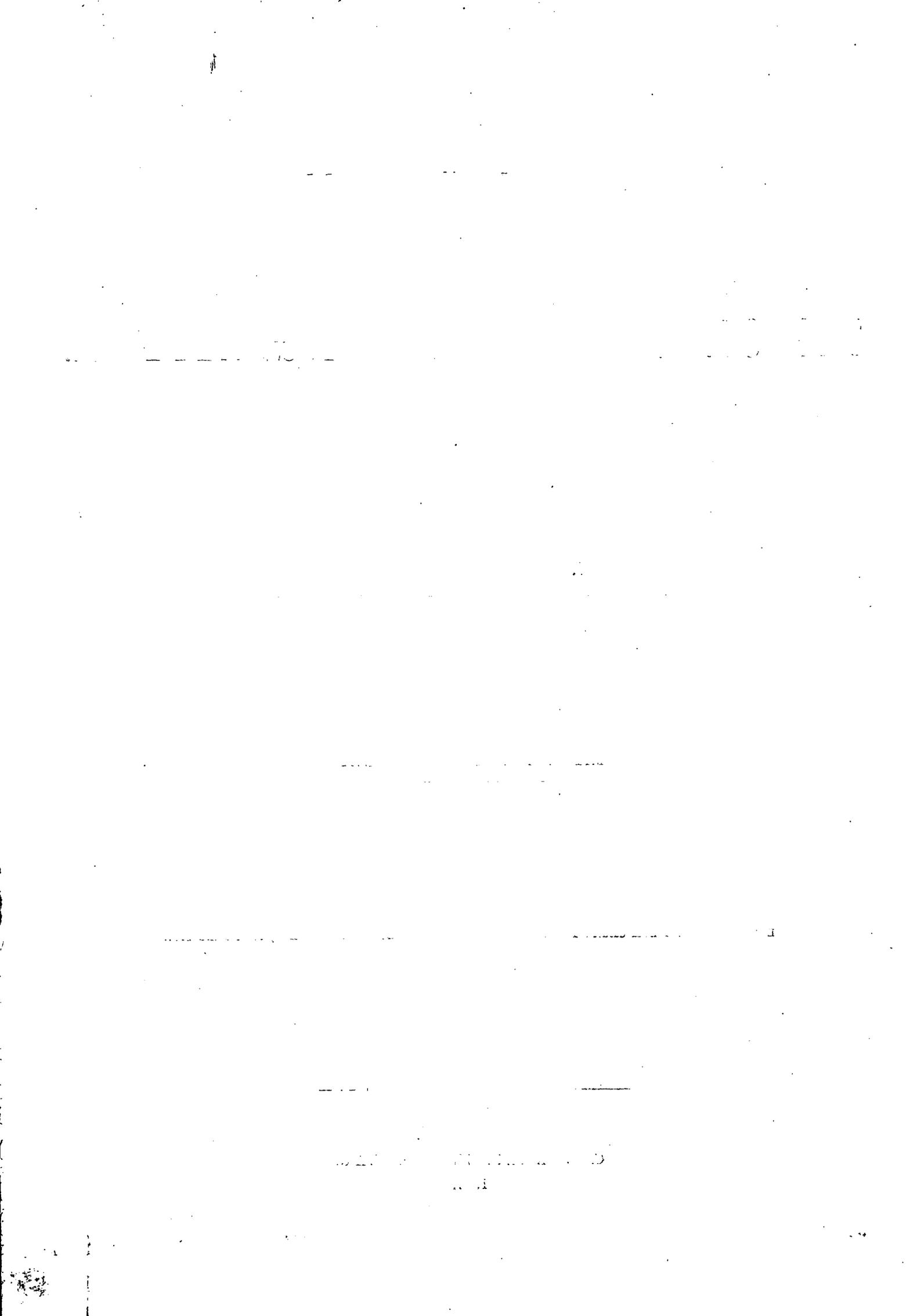
ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1907.

---

WIESBADEN.

C. W. KREIDEL'S VERLAG.

1907.



# Grundlagen zu einer Theorie der Bettungsziffer.

Von Ing. **Karl Borschke**, Bau-Oberkommissär der österreichischen Staatsbahnen.

## Vorwort.

Vorliegende Abhandlung ist ein Teil einer umfangreicheren Arbeit, die die Statik zusammenhaltloser Massen, einschliesslich der Druckverteilung und der Einwirkung beliebig gelagerter Lasten auf Stützmauern umfassen soll, und die durch die Ansichten des spanischen Ingenieurs Puig über die Druckverteilung im Schotterbette angeregt wurde.\*)

Da jedoch die Vollendung dieses Werkes noch geraume Zeit in Anspruch nehmen wird, glaubt der Verfasser, die im Verlaufe seiner Forschungen in Bezug auf die Bettung gefundenen, möglicherweise wertvollen Ergebnisse der Fachwelt schon jetzt mitteilen zu sollen. Die Aufhellung des Begriffes der Bettungsziffer wird der Öffentlichkeit umso mehr erwünscht sein, als grade auf diesem Gebiete eine von allen Forschern empfundene Willkür und Unsicherheit herrscht. Dafs der Verfasser auf voraussetzungsloser, wissenschaftlicher Grundlage zu Schlüssen kommt, die die bestehenden Bauweisen im allgemeinen rechtfertigen, kann nur auf den Einklang zwischen Lehrgebäude und Erfahrung hinweisen, ohne den Theorien leicht die greifbare Gestalt verlieren.

Der Theoretiker darf nie aus dem Auge verlieren, dafs

der Gedankengang der Mathematik den Stoff fast aller sinnlichen Eigenschaften entkleidet und uns eigentlich nur dessen wesenslose Schatten zeigt. Daher sagt d'Alembert in seinem »Discours préliminaire sur l'encyclopédie«: »cette science est le terme le plus éloigné où la contemplation des propriétés de la matière puisse nous conduire, et nous ne pourrions aller plus loin sans sortir tout à fait de l'univers matériel.«

Demgemäfs wurde auch hier der tatsächlichen Erkenntnis der gezielte Vorrang zugewiesen, sie bildet die Grundlage für den Aufbau der Theorie.

Diese Aufgabe kann nur die angewandte Mathematik des Ingenieurs in stetem Einklange mit Lockes Grundsatz: »nihil in intellectu, quod non ante in sensu« lösen.

Aus diesen Gesichtspunkten möge vorliegende Arbeit gewürdigt werden. Wenn sie den Weg zu neuen Versuchen ebnet und die Forschung fördert, so wird der Verfasser darin den besten Dank für die aufgewandte Mühe erblicken.

Wien, im März 1907.

**Borschke.**

## Inhalts-Übersicht.

I. Erfahrungs-Grundlagen . . . . . 266	VII. Lagerung der kleinsten Teile der Bettung . . . . . 278
II. Seitendruck ohne lotrechte Reibung . . . . . 266	VIII. Die Reibungstiefe und ihr Einfluß auf die Einsenkung . 280
III. Der Druckkörper . . . . . 270	IX. Die Grenzbelastungen . . . . . 282
IV. Die gefährliche Wagerechte . . . . . 272	X. Anwendung der Theorie . . . . . 285
V. Seitendruck mit lotrechter Reibung . . . . . 273	XI. Rückblick . . . . . 289
VI. Die Gestalt der E-Linie . . . . . 275	

## Bezeichnungen.

<p><math>D_a</math> Angriffs-Druck auf eine lotrechte Wand ohne lotrechte Reibung;</p> <p><math>D_p</math> Widerstands-Druck auf eine lotrechte Wand ohne lotrechte Reibung;</p> <p><math>\Theta_a</math> Angriffs-Druck auf eine lotrechte Wand mit lotrechter Reibung;</p> <p><math>\Theta_p</math> Widerstands-Druck auf eine lotrechte Wand mit lotrechter Reibung;</p> <p><math>\mathfrak{D}_a</math> Angriffs-Druck auf ein Wandteilchen mit lotrechter Reibung.</p> <p><math>\mathfrak{D}_p</math> Widerstands- « « « « » « «</p> <p><math>k</math> Unterstopfungsziffer;</p> <p><math>g</math> Gewicht der Raumeinheit der Bettung kg/cbcm;</p> <p><math>kg</math> « « unterstopften Bettung «</p> <p><math>G</math> « « durch Unterstopfung und Belastung verdichteten Bettung kg/cbcm;</p> <p><math>c'</math> Bettungsziffer;</p>	<p><math>p</math> Belastung von 1 qcm der Bettung, Bettungsspannung kg/qcm nach Zimmermann;</p> <p><math>C</math> bis zur Reibungstiefe <math>T</math> veränderliche Bettungsziffer;</p> <p><math>c</math> der kleinste Wert der Bettungsziffer in der Tiefe <math>T</math>;</p> <p><math>q</math> Bettungsspannung in der gefährlichen Wagerechten nach der abgeänderten Winklerschen Gleichung kg/qcm;</p> <p><math>q_1 = dgM</math> deren erster Grenzwert in der gefährlichen Wagerechten ohne Einsenkung;</p> <p><math>q_2</math> deren zweiter Grenzwert in der gefährlichen Wagerechten mit bleibender Senkung der Schwelle;</p> <p><math>\varepsilon</math> deren dritter Grenzwert, der die engste Lagerung herbeiführt und die Gültigkeit der Bettungsgleichung begrenzt;</p> <p><math>\varepsilon'</math> deren vierter Grenzwert;</p> <p><math>q - dgM</math> der die Senkung und Biegung der Schwelle verursachende Bettungs-Überdruck in der gefährlichen Wagerechten;</p>
---	--

\*) Zeitschrift für Eisenbahnen und Dampfschiffahrt 1896, Heft 14.

- $\varepsilon$  —  $dgM$  die Bettungszahl oder der die engste Lagerung erzeugende Bettungsüberdruck in der gefährlichen Wagerechten;
- H die Bettungstärke;
- $2(l + a)$  die Länge der Schwelle;
- b « Breite « « ;
- d « Einbettungstiefe der Schwelle;
- T die Reibungstiefe;
- $T - d$  die Entfernung der Nullwagerechten von der gefährlichen Wagerechten, zwischen welchen die Einsenkung und Biegung der Schwelle stattfindet;
- s die bis zur Tiefe T veränderliche Einsenkung;
- S der unveränderliche grösste Wert der Einsenkung in der Tiefe T oder  $H > T$ , wobei für denselben Wert  $q - dgM$  die Gleichung  $Cs = cS$  besteht;
- E Elastizitätszahl;
- $\tau$  Trägheitsmoment der Schwelle;

$\varrho \cdot \operatorname{tg} \varrho = a$ , Böschungs- und Reibungs-Winkel;  
 $\varrho', \operatorname{tg} \varrho' = a'$ , der in der lotrechten Mittelgrenze von  $H = d$  bis  $H = T - d$  veränderliche Wert der lotrechten Reibung.

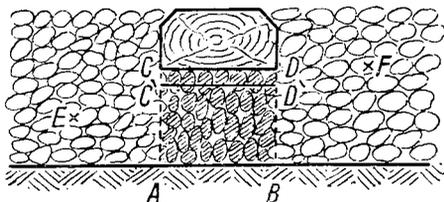
Die blofs von Winkelgröfsen abhängigen Werte sind:

- m für den Angriffs-Druck ohne lotrechte Reibung;
- n « « Widerstands- « « « « ;
- $M = \frac{n}{m} = n^2$ , zur Vereinfachung der Rechnung eingeführt;
- $\mu$  für den Angriffs-Druck mit lotrechter Reibung;
- $\nu$  « « Widerstands- « « « « ;
- $M = \frac{\nu}{\mu}$ , Rechnungsgröfse;
- $\mu_x$  } dieselben Werte für veränderliches  $a' = \operatorname{tg} \varrho'$  nur inner-
- $\nu_x$  } halb der Tiefen  $H = d$  und  $H = T - d$  von der gefähr-
- $M_x$  } lichen bis zur Null-Wagerechten vorkommend.

**I. Erfahrungs-Grundlagen.**

Durch das allseitige Unterstopfen werden die vom Gewichte des Oberbaues zunächst betroffenen Teilchen des Körpers ABCD (Textabb. 1) der Bettung gezwungen, sich in vorwiegend wage-

Abb. 1.



rechter Richtung zu verkeilen. Ausserhalb dieses Raumes, etwa in E oder F, ist keine wirksame Verkeilung möglich, da die Bettungsteilchen nach oben ausweichen können.

Bei der nachfolgenden Belastung durch die Betriebsmittel wird sich die Schwelle entsprechend der Höhe der Bettungsspannung\*) etwa bis C'D' einsenken. Hierdurch wird der Inhalt ABCD in ABC'D' gepreßt, also eine Art lotrechter Verkeilung hervorgerufen.

Die an die Bettung zu stellende Hauptforderung ist die Herstellung einer federnden Unterlage. Soll dieses Ziel in aller Strenge erreicht werden, so darf bei der Einpressung von ABCD in ABC'D' kein Schotter verdrängt werden, damit keine bleibende Senkung eintritt. Die Belastung darf also nur bis zu der Gröfse anwachsen, bei der eine lotrechte Verkeilung der bereits wagerecht verkeilten Teilchen noch möglich ist, und alle auftretenden lotrechten und seitlichen Drücke ohne Überschreitung der Festigkeitsgrenze des Bettungstoffes durch den Widerstand des Untergrundes und des unveränderten Teiles der Bettung aufgehoben werden.

Der belastete Teil ABCD der Bettung wird also durch die Verkeilungen sein Gewicht für die Raumeinheit ändern, und hierdurch zu einem wesentlich veränderten Mittel gemacht. Die Antwort auf die Frage nach dem Gleichgewichte wird

\*) Der Druck auf die Flächeneinheit der Bettung wird mit „Bettungsspannung“ bezeichnet.

daher im Ausgleiche der in den Begrenzungsflächen AC' und BD' beider Mittel auftretenden Druckkräfte gegen die in den unveränderten Teilen möglichen Widerstände zu suchen sein.

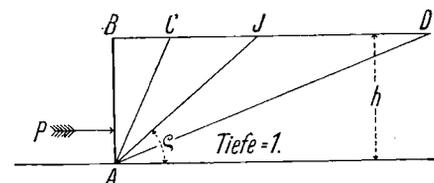
In den nachstehenden Ausführungen werden diese Mittelgrenzen, deren es bei jeder Querschwelle vier gibt, als lotrechte Ebenen angenommen, obwohl in Wirklichkeit nur eine regellose Reihe unzusammenhängender Berührungsflächen vorhanden ist. Dennoch liegen die die Berührung bewirkenden Teilchen alle in der Nähe dieser gedachten Ebenen, sodafs die in einzelnen Punkten und Flächenteilchen vereinigten Pressungen als auf die ganzen lotrechten Ebenen verteilt gedacht werden können. Das so erhaltene Ergebnis kann hierbei vom tatsächlichen nicht mehr abweichen, als dies bei der Lösung verwandter Aufgaben, beispielsweise bei der Bestimmung des Erddruckes auf eine Futtermauer, der Fall ist. Ausserdem ist diese Annahme eine unumgängliche Grundlage mathematischer Fassung.

Im nachfolgenden sollen die in diesen Ebenen sich treffenden Kräfte und Widerstände beleuchtet werden.

**II. Seitendruck ohne lotrechte Reibung.**

Denkt man sich ein nach rechts unbegrenztes Schotterbett (Textabb. 2) von der Höhe h und der Tiefe 1 bei AB

Abb. 2.

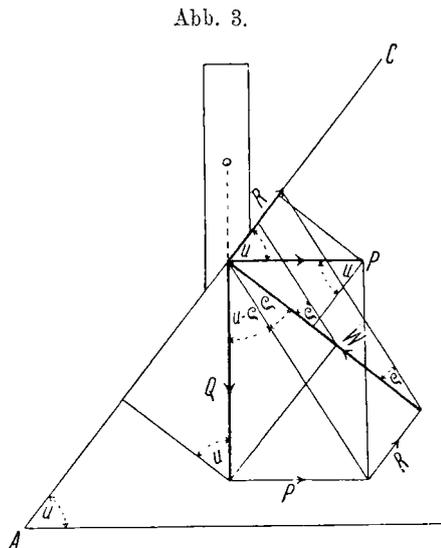


durch eine vorläufig reibungslos vorausgesetzte Wand abgeschlossen und durch eine hinreichend grofse Kraft P angepreßt, so erkennt man, dafs das Gleichgewicht nicht gestört wird, wenn P etwas verringert oder vergrößert wird. Im ersten Falle gelangt man zu einem Werte von P, bei dessen geringster Verminderung die Wand nach links ausweichen und der Schotter abstürzen wird. Dieser kleinste Wert von P, der gerade noch das Gleichgewicht erhält, heifse der Angriffs-

druck  $D_a$ . Im zweiten Falle erreicht man einen grössten Wert von  $P$ , der, um das geringste vermehrt, die Bewegung der Wand nach rechts verursachen würde. Dieser grösste Wert bei noch bestehendem Gleichgewichte ist der Widerstandsdruck  $D_p$ . Diese Gröfsen folgen also der Beziehung  $D_a < P < D_p$ .

Bei sonst ungeänderten Verhältnissen sind demnach die beiden Grenzwerte  $D_a$  und  $D_p$  unveränderlich, mag auch der Absturz tatsächlich im ersten Falle etwa in  $AC$ , oder die Ab-schiebung im zweiten Falle etwa in  $AD$ , oder in einer andern Ebene eintreten.

Zunächst soll nun  $D_a$  bestimmt werden. Auf der schiefen Ebene  $AC$  (Textabb. 3) von der Nei-gung  $u$  gegen die Wagerechte steht eine Last  $Q$ , die durch die kleinste Kraft  $P$  in Ruhe erhalten werden soll. Die einwirkenden Kräfte sind:  $P$ ,  $Q$ , der Widerstand der schiefen Ebene  $W$  und die Reibung  $R$ ; der Reibungswinkel sei  $\varrho$ . Da  $R$  von  $P$ ,  $Q$ , beziehungsweise von  $W$  und  $\varrho$  abhängt, sind nur  $P$  und  $W$  unbekannt: zu ihrer Bestimmung genügen also zwei Gleichungen, die man aus den Abzeichnungen der wirkenden Kräfte auf zwei rechtwinkelig zu einander stehende Achsen erhält. Die Reibung, die bei Verhinderung des Absturzes der Last mitwirkt, muß im Sinne der Kraft  $P$ , also längs  $AC$  nach oben gerichtet sein.

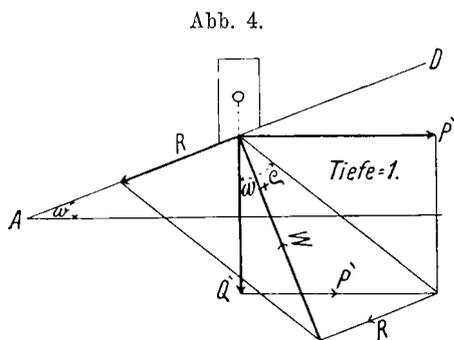


Die Gleichgewichtsbedingungen lauten:  
in  $AC$ :  $P \cos u + R - Q \sin u = 0$ ,  
rechtwinkelig  $AC$ :  $P \sin u + Q \cos u - W = 0$ .

Nun ist  $R = (P \sin u + Q \cos u) \operatorname{tg} \varrho$ ; durch Einsetzen dieses Wertes in die erste Gleichung ergibt sich:

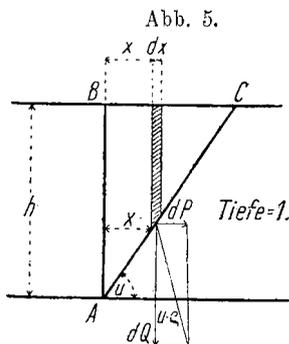
$$P \cos u + P \sin u \operatorname{tg} \varrho + Q \cos u \operatorname{tg} \varrho - Q \sin u = 0 \text{ oder } P = Q \operatorname{tg} (u - \varrho).$$

Bestimmt man nun für eine andere schiefe Ebene von der

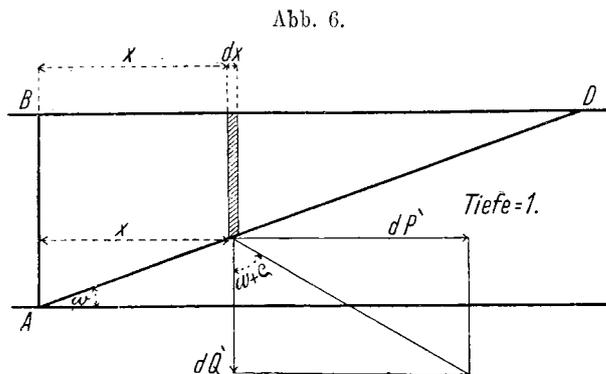


Neigung  $w$  (Textabb. 4) und der Last  $Q'$  die grösste Kraft  $P'$ , die noch Gleichgewicht zulässt, so gelten dieselben Ableitungen

mit dem Unterschiede, dass jetzt die Reibung im entgegengesetzten Sinne wirken muß, da sie die Verschiebung der Last  $Q'$  auf der schiefen Ebene  $AC$  im Sinne von  $P'$  nach oben hindert. Man braucht demnach nur das Vorzeichen von  $\varrho$  zu ändern und erhält:  $P' = Q' \operatorname{tg} (w + \varrho)$ .



Die Lasten  $Q$  und  $Q'$  ersetze man nun durch die Gewichte der kleinsten Teile von zusammenhaltlosen Bettungskörpern  $ABC$  (Textabb. 5) und  $ABD$  (Textabb. 6),  $dQ$  und  $dQ'$ , auch alle übrigen Kräfte verwandeln sich dann in ihre Differenziale und es entsteht  $dP = dQ \cdot \operatorname{tg} (u - \varrho)$  und  $dP' = dQ' \operatorname{tg} (w + \varrho)$ . Das Gewicht der Raumeinheit des Schotters sei  $g$ .



Da  $dQ = \frac{1}{2} g [2 (h - x \operatorname{tg} u) - dx \cdot \operatorname{tg} u] dx$  und  $dQ' = \frac{1}{2} g [2 (h - x \operatorname{tg} w) - dx \cdot \operatorname{tg} w] dx$  ist, so wird bei Vernachlässigung der höhern Potenzen des Differenziales  $dP = g (h - x \operatorname{tg} u) dx \cdot \operatorname{tg} (u - \varrho)$  und  $dP' = g (h - x \operatorname{tg} w) \cdot dx \cdot \operatorname{tg} (w + \varrho)$ . Durch Integration von  $dP$  und  $dP'$  innerhalb der Grenzen  $x_1 = 0$  und  $x_2 = \frac{h}{\operatorname{tg} u}$  beziehungsweise  $\frac{h}{\operatorname{tg} w}$  ergeben sich die Wirkungen der ganzen Körper  $ABC$  und  $ABD$ , nämlich

$$\int_{x_1=0}^{x_2=\frac{h}{\operatorname{tg} u}} dP = D_a = \int_{x_1=0}^{x_2=\frac{h}{\operatorname{tg} u}} (h - x \operatorname{tg} u) \cdot dx \cdot g \operatorname{tg} (u - \varrho) = g \operatorname{tg} (u - \varrho) \left( h x - \frac{x^2}{2} \operatorname{tg} u \right) \Big|_{x_1=0}^{x_2=\frac{h}{\operatorname{tg} u}}, \text{ oder}$$

Gl. 1) . . . .  $D_a = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\operatorname{tg} (u - \varrho)}{\operatorname{tg} u}$  und

Gl. 2) . . . .  $D_p = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\operatorname{tg} (w + \varrho)}{\operatorname{tg} w}$ ,

worin die Ausdrücke  $\frac{1}{2} \frac{g h^2}{\operatorname{tg} u}$  und  $\frac{1}{2} \frac{g h^2}{\operatorname{tg} w}$  das Gewicht der Körper  $ABC$  und  $ABD$  darstellen.

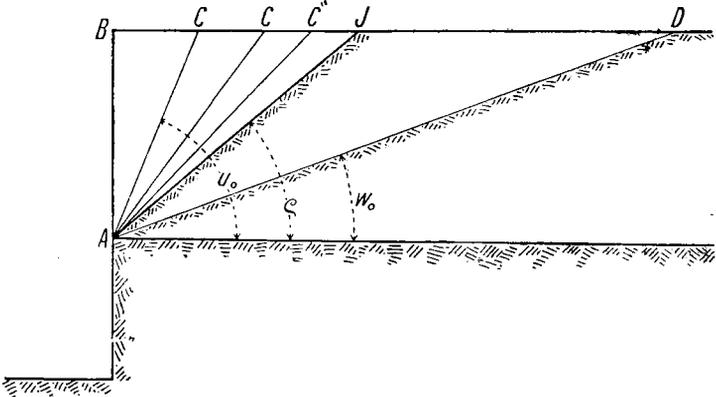
Da  $D_a$  und  $D_p$  unveränderlich sind, ebenso aber auch  $g$ ,  $h$  und  $\varrho$ , so müssen die Gröfsen  $f(u) = \frac{\operatorname{tg} (u - \varrho)}{\operatorname{tg} u}$  und  $f(w) = \frac{\operatorname{tg} (w + \varrho)}{\operatorname{tg} w}$

$= \frac{\operatorname{tg}(w + \varrho)}{\operatorname{tg} w}$  auch feste Werte annehmen,  $u$  und  $w$  können sich also nur als bestimmte Größen  $u_0$  und  $w_0$  ergeben, die man als Bruchwinkel bezeichnet.

Ohne weiteres ist nicht zu erkennen, welchen Wert  $u_0$  annehmen wird,  $u_0$  muß aber jedenfalls  $> \varrho$  sein, weil für  $u = \varrho$   $D_a = 0$  würde, während doch  $D_a$  in jedem Falle eine feststehende Größe hat. Es ist auch nicht möglich, den Bruchwinkel etwa durch Entfernung der Wand  $AB$  (Textabb. 7) zu messen, denn dann würde zwar das Prisma  $ABC$  abstürzen, allein zwischen der nun freien Wand  $AC$  und der natürlichen Böschung  $AJ$  muß sich notwendig und fast gleichzeitig eine zweite Bruchfläche  $AC'$  ausbilden, und dieser Vorgang setzt sich so lange fort, bis die natürliche Böschung  $AJ$  erreicht ist.

Anders verhält sich der Bruchwinkel  $w_0$  des widerstehenden Körpers  $ABD$  (Textabb. 7), der nach dem Abschieben

Abb. 7.



gemessen werden kann, und der sich auch aus der folgenden Betrachtung als Winkel der einzig möglichen Fläche des geringsten Widerstandes ergibt.

Die Bestimmung des Bruchwinkels  $u_0$  des angreifenden Körpers  $ABC$  enthält eine Unbestimmtheit; doch bietet das Ergebnis der analytischen Untersuchung insofern große Sicherheit, als für diesen Winkel  $u_0$  die Druckkräfte ihre Höchstwerte erreichen. Dies ergibt sich aus folgendem.

$$f(u) = \frac{\operatorname{tg}(u - \varrho)}{\operatorname{tg} u} \text{ wird für } u = \varrho \dots f(u = \varrho) = 0$$

und für  $u = 90^\circ \dots f(u = 90^\circ) = \frac{\operatorname{cotg} \varrho}{\infty}$  ebenfalls = 0; da nun für jeden andern Wert von  $u$ , nämlich  $90^\circ > u > \varrho \dots f(u)$  stets positiv bleibt, so muß innerhalb dieser Grenzen notwendig ein Wert  $u_0$  liegen, der  $f(u)$  zu einem größten Werte macht; man erhält dieses aus:

$$\frac{df(u)}{du} = \frac{\operatorname{tg} u \cdot \frac{1}{\cos^2(u - \varrho)} - \operatorname{tg}(u - \varrho) \cdot \frac{1}{\cos^2 u}}{\operatorname{tg}^2 u} = 0, \text{ woraus}$$

$$u = u_0 = 45^\circ + \frac{\varrho}{2} \text{ folgt.}$$

Ebenso erhält man den Bruchwinkel  $w_0$ . Da  $f(w) = \frac{\operatorname{tg}(w + \varrho)}{\operatorname{tg} w}$  für  $w = 0$  und  $(w + \varrho) = 90^\circ$  unendlich wird, für Zwischenwerte  $90^\circ > (w + \varrho) > 0$  stetig und positiv bleibt, so folgt ein  $w_0$ , das  $f(w)$  zu einem kleinsten Werte macht, aus:

$$\frac{df(w)}{dw} = \frac{\operatorname{tg} w \cdot \frac{1}{\cos^2(w + \varrho)} - \operatorname{tg}(w + \varrho) \cdot \frac{1}{\cos^2 w}}{\operatorname{tg}^2 w} = 0 \text{ mit}$$

$$w = w_0 = 45^\circ - \frac{\varrho}{2}.$$

Durch Einsetzen der Werte  $u_0$  und  $w_0$  in die Gl. 1) und 2) erhält man die bekannten Ausdrücke für den angreifenden und widerstehenden Druck ohne lotrechte Reibung:

$$\text{Gl. 3) } D_a = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\operatorname{tg}(u_0 - \varrho)}{\operatorname{tg} u_0} = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varrho}{2}\right)} = \frac{1}{2} g h^2 \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right),$$

$$\text{Gl. 4) } D_p = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\operatorname{tg}(w_0 + \varrho)}{\operatorname{tg} w_0} = \frac{1}{2} g h^2 \frac{\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varrho}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)} = \frac{1}{2} g h^2 \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varrho}{2}\right),$$

deren Ableitung hier der Übersicht halber wiederholt ist.

Gl. 4) folgt aus 3) durch Änderung des Vorzeichens von  $\varrho$ . Diese Umformung wird im folgenden zur Vermeidung weitläufiger Ableitungen häufig vorgenommen werden.

Die nur von den Winkelfunktionen abhängigen Werte  $\frac{\operatorname{tg}(u_0 - \varrho)}{\operatorname{tg} u_0} = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)$  und  $\frac{\operatorname{tg}(w_0 + \varrho)}{\operatorname{tg} w_0} = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varrho}{2}\right)$  heißen Druckziffern; sie werden  $m$  und  $n$  genannt und sollen zur besseren Vergleichung mit anderen Druckziffern als Funktion von  $\operatorname{tg} \varrho = a$  dargestellt werden.

$$m = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right) = \left(\frac{1 - \operatorname{tg} \frac{\varrho}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\varrho}{2}}\right)^2; \text{ nun ist}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\varrho}{2} = \frac{2 \operatorname{tg} \frac{\varrho}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2 \frac{\varrho}{2}} \text{ oder } \operatorname{tg} \frac{\varrho}{2} = -\frac{1}{\operatorname{tg} \varrho} + \sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \varrho} + 1}, \text{ und}$$

$$\text{da } \operatorname{tg} \varrho = a \text{ ist } \dots \operatorname{tg} \frac{\varrho}{2} = \frac{\sqrt{1 + a^2} - 1}{a}, \text{ also}$$

$$\text{Gl. 5) } m = \left(\frac{a + 1 - \sqrt{1 + a^2}}{a - 1 + \sqrt{1 + a^2}}\right)^2 = \frac{1}{(\sqrt{1 + a^2} + a)^2}$$

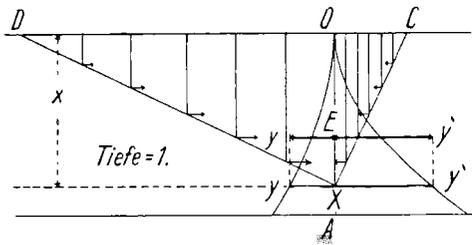
und durch Änderung des Vorzeichens von  $a$

$$\text{Gl. 6) } \dots n = \frac{1}{(\sqrt{1 + a^2} - a)^2} = \frac{1}{m},$$

die Druckformeln Gl. 3) und Gl. 4) lauten dann:  $D_a = \frac{1}{2} g h^2 m$  und  $D_p = \frac{1}{2} g h^2 n$ .

Setzt man  $D_a = Y$ ,  $D_p = Y'$ ,  $h = x$ , so werden die Druckveränderungs-Schaulinien  $Y = \frac{1}{2} g m x^2$  und  $Y' = \frac{1}{2} g n x^2$  Parabeln, deren Scheitel in  $x = 0$  liegt und deren Parameter  $p = \frac{2}{g m}$  und  $p' = \frac{2}{g n}$  sind (Textabb. 8).  $Y$  und  $Y'$  stellen

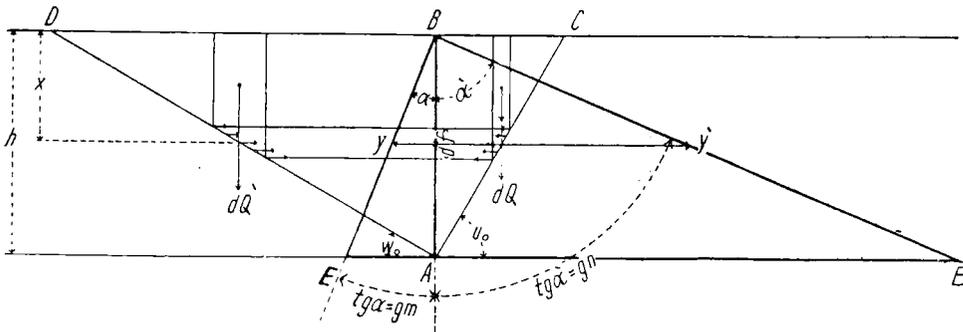
Abb. 8.



dabei immer den Druck auf die ganze Fläche  $OX \cdot 1$  dar, der im Druckmittelpunkte E für  $OE = \frac{1}{3} OX$  angreift. Da hier keine Stützwände, sondern nur Einzeldrücke auf lotrechte Flächenteile  $df = dx \cdot 1$  in Betracht kommen, so haben diese Parabeln für die hier durchzuführenden Untersuchungen keine unmittelbare Bedeutung.

Nun soll der gleichmäßig verteilt einzuführende Druck  $y$  auf das Flächenteilchen  $df$  (Textabb. 9) bestimmt werden.

Abb. 9.



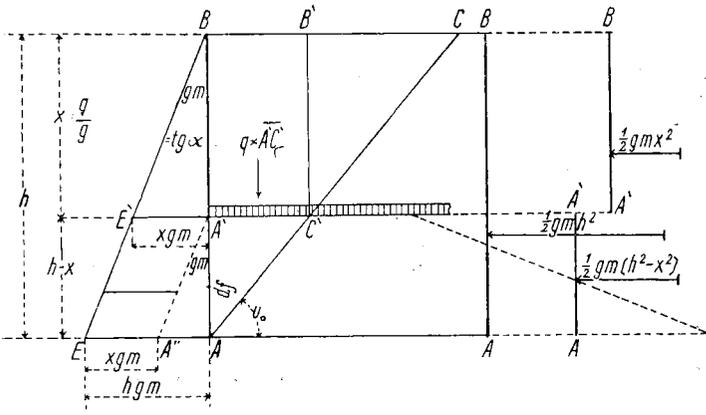
Man erhält diesen Druck durch Differenzierung der Werte  $Y$  und  $Y'$  nach  $x$ :

$$dY = y \cdot df = gm \cdot x \cdot dx \quad \text{und} \quad dY' = y' \cdot df = gn \cdot x \cdot dx, \quad \text{oder}$$

da  $df = dx \cdot 1 = dx$ ,  $y = x \cdot g \cdot m$  und  $y' = x \cdot g \cdot n$ , woraus sich ergibt, daß  $y$  und  $y'$  Anseiten rechtwinkliger Dreiecke sind, deren Höhen  $x$  und deren Winkel  $\alpha$  und  $\alpha'$  so zu wählen sind, daß  $tg \alpha = gm$  und  $tg \alpha' = gn$  wird. Summiert man alle Einzeldrücke auf die Flächenteilchen  $df$  von 0 bis  $h$ , so wird der ganze Druck durch die Körper  $ABE$  und  $ABE'$  dargestellt.

$ABE$  ist das Kraftprisma des Angriffs-Druckes von  $ABC$  und  $ABE'$  das des Widerstands-Druckes von  $ABD$ . In der Folge sollen in den Abbildungen statt der Winkel  $\alpha$  und  $\alpha'$  ihre Tangenten-Werte  $gm$  und  $gn$  angegeben werden.

Abb. 10.



Soll in  $A'B$  (Textabb. 10) eine Wand angebracht und nur der Druck auf die Fläche  $AA'$  bestimmt werden, so wird dieser durch den trapezförmigen Körper  $AEE'A'$  dargestellt, denn da  $AE = hgm$ ,  $A'E' = x \cdot gm$  und  $AA' = h - x$  ist, so wird  $AEE'A' = \frac{hgm + xgm}{2} (h - x) = \frac{1}{2} gm (h^2 - x^2)$ ,

worin  $\frac{1}{2} gmh^2$  den Druck auf die ganze Wand  $AB$  und  $\frac{1}{2} gm x^2$  den Druck auf den Wandteil  $A'B$  darstellen.

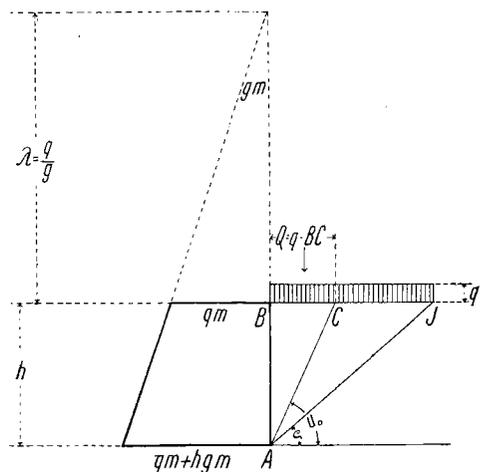
Würde die zusammenhaltlose Masse nur von  $A$  bis  $A'$  betrachtet, der über  $A'C'$  liegende Teil aber als gleichförmig verteilte Belastung angesehen, so wäre ihr Wanddruck allein auf  $AA' \dots = \frac{1}{2} gm (h - x)^2 = \triangle AA'A''$ ; demnach wird

$$\frac{1}{2} gm (h^2 - x^2) = \frac{1}{2} gm (h - x)^2 + x \cdot gm (h - x), \quad \text{der Druck}$$

des Absturzkörpers  $AA'C'$ , dargestellt durch  $AA'A''$  vermehrt um  $A''A'E'E$ ; letzterer Körperteil stellt daher den Einfluss der Belastung  $A'C'BB'$  des Absturzkörpers  $AA'C'$  auf den Seitendruck dar. Aus der Zeichnung folgt, daß dieser von der Belastung herrührende Teil  $A'A'E'E$  des Kraftkörpers für jedes Teilchen  $df$  der Fläche  $AA'$  gleich groß ist. Es ist also gleichgültig, ob der Raum  $A'C'BB'$  mit Schotter ausgefüllt oder ob längs  $A'C'$  eine andere gleichmäßig

verteilte Last (Textabb. 10) von derselben Wirkung angebracht wird. Zu diesem Zwecke muß nur die Belastung der Einheit der Grundfläche  $q = gx$  sein. Man kann daher den Einfluss irgend einer Belastung  $q$  (Textabb. 11) leicht erhalten, wenn man

Abb. 11.



sie so darstellt, als ob sie von einer Beschotterung von der Höhe  $\lambda = \frac{q}{g}$  herrührte, man braucht nur dem Kraftkörper die Höhe  $h + \lambda$  zu geben. Die Größe  $\lambda = \frac{q}{g}$  ist die verwandelte Lasthöhe.

Den ganzen Druck auf die Wand AB findet man, wenn man in Gl. 1) und 3) das Gewicht des Druckkörpers  $g \cdot I \cdot ABC$  um die Belastung  $q \cdot BC = q \cdot \frac{h}{\operatorname{tg} u_0}$  vermehrt; da  $g \cdot I \cdot ABC = \frac{1}{2} g \cdot AB \cdot \frac{AB}{\operatorname{tg} u_0} = \frac{1}{2} g \frac{h^2}{\operatorname{tg} u_0}$  ist, wird

$$\text{Gl. 7) } D_a = \left[ \frac{1}{2} g h^2 + q h \right] \frac{\operatorname{tg}(u_0 - \varrho)}{\operatorname{tg} u_0} = \left[ \frac{1}{2} g h^2 + q h \right] \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varrho}{2} \right) = \left[ \frac{1}{2} g h^2 + q h \right] m.$$

Die Mechanik bestimmte bisher den Druck auf die Wand AB nur für den Fall, daß die Belastung von B mindestens bis zum Punkte Y der natürlichen Böschung reichte. Endet die Belastung schon vorher, wie beim Querschwellen-Oberbau für größere Bettungstiefen (Textabb. 12), so liefert die ältere Theorie Rebhanns wie die neuere Erddrucklehre kein Verfahren zur Bestimmung des Druckes. Wie diese Aufgabe gelöst wird, zeigt der folgende Abschnitt.

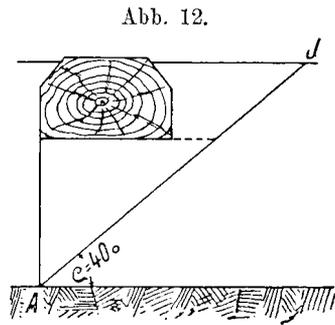


Abb. 12.

### III. Der Druckkörper.

Ein Satz betreffend den Druckkörper der eben begrenzten Säule aus Schüttstoff bildet die Grundlage der Statik der Bettung; er soll zunächst von Tatsachen ausgehend erläutert und dann rechnerisch bewiesen werden.

#### III. a. Erläuterung des Satzes.

Denkt man sich ein Gefäß  $AA'BB'$  mit zusammenhaltloser Masse gefüllt (Textabb. 13) und so aufgestellt, daß diese bei Entfernung der Wände frei abstürzen kann, so wird der von den Absturzkörpern ABC und  $A'B'C'$  auf die Wände AB und  $A'B'$  ausgeübte Druck durch die Kraftkörper ABE und  $A'B'E'$  dargestellt. Entfernt man nun die Wand AB, so wird zunächst der angreifende Druckkörper ABC und fast gleichzeitig auch die übrige Masse nach den Angaben zu Textabb. 7 bis zur natürlichen Böschung AJ abstürzen. Dasselbe geschieht, wenn statt AB die Wand  $A'B'$  entfernt wird, jetzt stürzt die Masse bis  $A'J'$  ab. Werden beide Wände gelöst, so wird nur der Teil ADA' stehen bleiben. Wird aus dem gefüllten Raume der Teil  $O_1O_2O_3$  entfernt und in  $O_1O_2$  eine Wand aufgestellt, so muß zur Wahrung des Gleichgewichtes auf diese Wand nach links derselbe Druck ausgeübt werden, der früher im

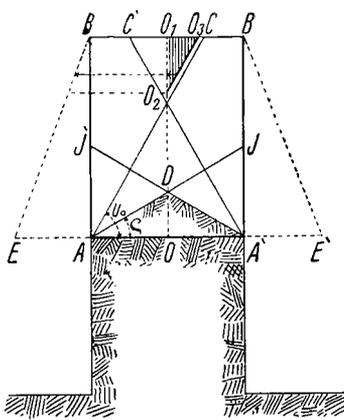


Abb. 13.

vollen Absturzkörper vom Teile  $O_1O_2O_3$  auf  $O_1O_2$  ausgeübt wurde. Dieser Druck wird durch die Masse auf die Wand AB ebenso übertragen, und hat daher dieselbe Gröfse, die er bei vollem Absturzkörper ABC hätte. Demnach ist die Stellung der Wand  $O_1O_2$  oder auch  $OO_1$  einflusslos, der Druck auf AB hat immer denselben Wert und ist unabhängig von der Breite  $BB'$  des Gefäßes. Bei nicht unendlich kleinem Korne der Schüttmasse muß diese Breite mindestens derart sein, daß sich Böschungs- und Bruch-Winkel in der Masse ausbilden können, was bei den üblichen Schwellenbreiten stets der Fall ist. Bei endlich begrenzter Korngröße könnte beispielsweise der Fall der Textabb. 14 nicht nach diesem Satze von der Schüttsäule behandelt werden.

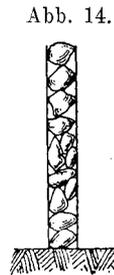


Abb. 14.

Das mit einer zusammenhaltlosen Masse gefüllte Gefäß ABCD (Textabb. 17) mit der Höhe h werde in eine beliebige Anzahl einzelner Gefäße (Textabb. 15) derart zerlegt, daß

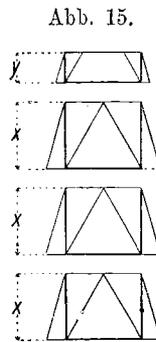


Abb. 15.

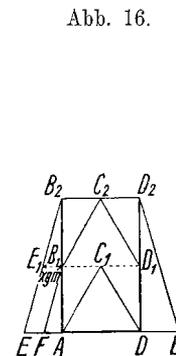


Abb. 16.

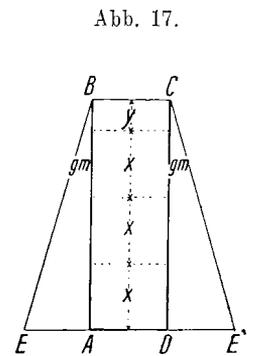


Abb. 17.

$h = nx + y$  wird; jedoch wird  $x$  so gewählt, daß sich die Begrenzungsebenen der auf beide Seitenflächen einwirkenden Absturzkörper in der Oberfläche der einzelnen Gefäße schneiden. Die entsprechenden Kraftkörper sind vor den Wänden angedeutet. Denkt man sich nun den Boden des zweiten Gefäßes entfernt und dieses auf das erste gestellt (Textabb. 16), so wird der Inhalt des zweiten Gefäßes auf das erste nach Textabb. 10 wie eine Belastung der Höhe  $x$  wirken, und zwar kommen auf die Druckkörper  $AB_1C_1$  und  $DD_1C_1$  die Lasten  $B_1B_2C_2C_1$  und  $C_1C_2D_2D_1$ . Nach dem zu Textabb. 10 Gesagten wird der Einfluss dieser Last auf die Wand  $AB_1$  durch den Körper  $EE_1B_1F$  der Breite  $E_1B_1 = x \cdot gm$  dargestellt. Wird damit der vom zweiten Gefäße herrührende Kraftkörper  $E_1B_1B_2$  vereinigt, so entsteht im ganzen der Kraftkörper  $EAB_2$  für den ganzen Druck auf die Wand  $AB_2$ . Durch fortgesetztes Aufsetzen aller  $n + 1$  Gefäße ergibt sich in ABE (Textabb. 17) der ganze Druck auf die Wand AB. Dies gilt auch für den widerstehenden Druck des Bruchwinkels  $w_0$ , wenn  $n$  statt  $m$  geschrieben und jede Druckkraft mit entgegengesetzter Richtung gezeichnet wird. Da nun  $x$  nach der beliebigen Breite des Gefäßes geregelt werden kann, so folgt aus dieser Betrachtung, daß der Druck auf die Wand AB oder CD von der Breite des Gefäßes unabhängig ist. Dasselbe gilt auch von den Stirnwänden. Diese vier Wände bilden bei der unterstopften Querschwellen die vier lotrechten Mittelgrenzen (Text-

Abb. 18.

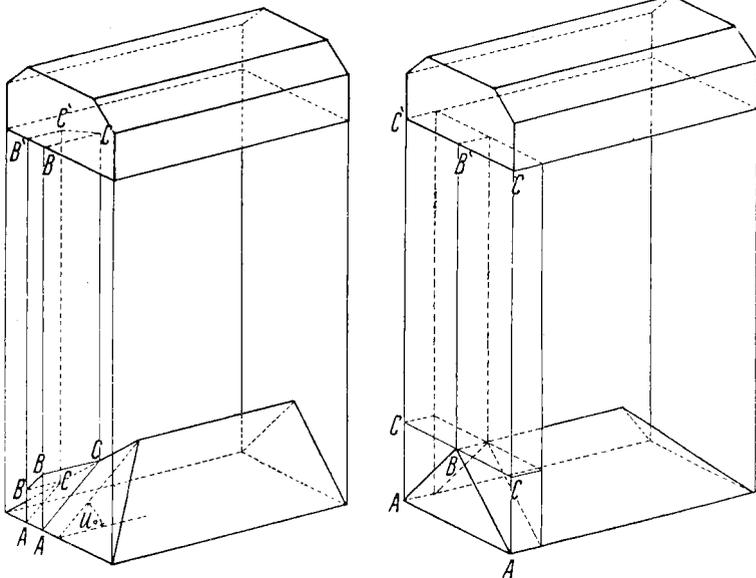


abb. 18). Die Schwelle ist hier lotrecht durchschnitten, um die maßgebenden Druckkörper besser zeichnen zu können. Die Tiefe des Schotterbettes ist beliebig.

III. b. Rechnerischer Beweis.

Das Gefäß (Textabb. 19) sei wieder bis  $B_{n+1}$  mit zusammenhaltloser Masse gefüllt und mit  $Q = q \cdot B_{n+1}$  belastet; die Last wird wieder durch eine Masse gleicher Art von der Höhe  $\lambda = \frac{q}{g}$  ersetzt gedacht.

Der Druck auf die Seitenflächen  $AB_{n+1}$  wird durch Vereinigung der Einzeldrücke  $D_1$  bis  $D_{n+1}$  auf die Flächen  $AB_1, B_1B_2, \dots, B_{n-1}B_n$ , deren Höhe  $x = b \tan u_0$  ist, und auf die Fläche  $B_nB_{n+1}$  mit der Höhe  $y$  erhalten. Ist der Druck  $D_1$  bestimmt, so denkt man sich den Teil  $AB_1B_1A$  weg und hat dann den Druck  $D_2$  auf  $B_1B_2$  in gleicher Art zu bestimmen; man braucht nur im Auge zu behalten, daß der Druckkörper im ersten Falle mit der Masse  $B_1C_1BC$ , im zweiten Falle mit der Masse  $B_2C_2BC$  belastet ist. Führt man in dieser Weise bis zur Wagerechten  $B_n$  fort, so ergibt sich:

$h = nx + y$  und nach Gl. 7)

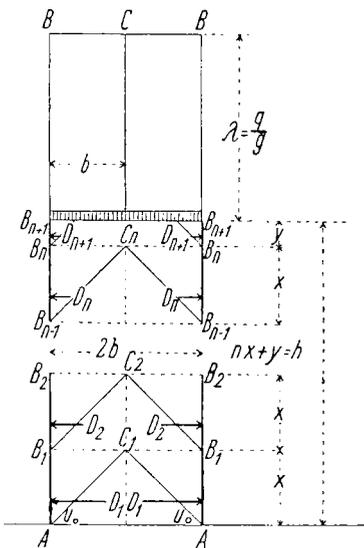
$$D_1 = \left[ \frac{1}{2} g x^2 + g (h - 1 \cdot x) x + qx \right] \cdot m,$$

$$D_2 = \left[ \frac{1}{2} g x^2 + g (h - 2 x) x + qx \right] m,$$

$$\vdots$$

$$D_n = \left[ \frac{1}{2} g x^2 + g (h - n x) x + qx \right] m,$$

Abb. 19.



$$D_{n+1} = \left[ \frac{1}{2} g y^2 + q y \right] m, \text{ somit der ganze Druck auf } AB_{n+1}$$

$$D_a = \sum_1^{n+1} D = \left[ n \cdot \frac{1}{2} g x^2 + n \cdot g h x - (n+1) \frac{n}{2} g x^2 + n \cdot qx + \frac{1}{2} g y^2 + q y \right] \cdot m = \left[ n g h x - \frac{n^2}{2} g x^2 + n q x + \frac{1}{2} g y^2 + q y \right] m,$$

und nach Einsetzen von  $h = nx + y$ :

$$D_a = \left[ n^2 g x^2 + n g x y - \frac{n^2}{2} g x^2 + \frac{1}{2} g y^2 + q (nx + y) \right] m,$$

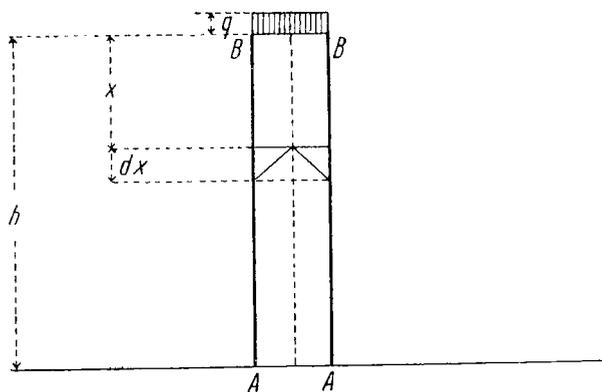
$$D_a = \left[ \frac{1}{2} g (nx + y)^2 + q (nx + y) \right] m = \left[ \frac{1}{2} g h^2 + q h \right] m \quad \text{(Gl. 7),}$$

womit  $D_a$  hier bei der Breite  $2b$  des Gefäßes ebenso groß wird, wie in Textabb. 11, wo die Breite unbegrenzt angenommen wurde.

Absichtlich wurde dieser von endlichen Flächen  $AB_1 = B_1B_2 = B_2B_3 \dots = x$  ausgehende Beweis vorangestellt, obwohl der im folgenden mitzuteilende einfacher ist, jedoch mit dem zu Textabb. 14 Gesagten in scheinbarem Widerspruche steht.

Führt man als Höhe eines Teiles  $dx$  statt  $x$  ein (Textabb. 20),

Abb. 20.



so ist nach Gl. 7)  $dD = \left( \frac{1}{2} g dx^2 + qx dx \right) \cdot m$ , wobei  $qx = gx + q$  zu setzen ist.

Bei Vernachlässigung der Differentiale zweiten Grades wird  $D_a = \int_0^h dD = \int_0^h (g \cdot x + q) m dx = \left( \frac{1}{2} g x^2 + qx \right) \cdot m = \left( \frac{1}{2} g h^2 + q h \right) m$  wie früher = dem Drucke des Druckkörpers ABC in Textabb. 11.

Der Satz vom Druckkörper lautet demnach: der Angriffs- und Widerstands-Druck auf eine Wandfläche ist unabhängig von der Breite der Schüttung, wenn die Breite so groß ist, daß sich der Bruchwinkel ausbilden kann.

Alle Druckformeln enthalten einen bloß von Winkelfunktionen abhängigen Wert  $m$ , demnach ist dieser Satz ganz allgemein für beliebig geneigte Wandflächen und für wagerechte, geneigte, geradlinig-gebrochene und krumme Oberflächen und für Angriffs- und Widerstands-Druck gültig.

Bei wagerechter Oberfläche liegt der Vergleich mit Wasserdruck nahe; für diesen ist  $q = \rho = 0$ , also  $m = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\rho}{2} \right)$ .

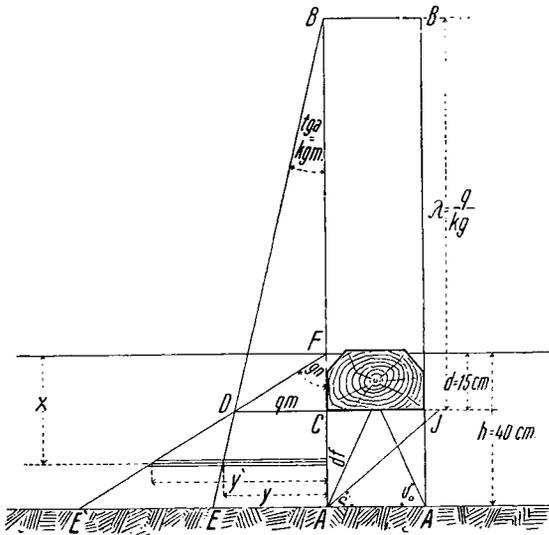
und  $n = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\rho}{2}\right) = 1$ . Bei tropfbaren Flüssigkeiten sind Angriffs- und Widerstands-Druck gleich, die Bruchwinkel sind  $u_0 = w_0 = 45^\circ$ .

In der Tat läßt sich der Boden- und Seitendruck einer Flüssigkeit nur bei Annahme von unter  $45^\circ$  angeordneten gleichen kugelförmigen Teilchen erklären, wovon man sich leicht überzeugen kann.

**IV. Die gefährliche Wagerechte.**

Um die Gleichgewichtsverhältnisse zu übersehen sind Kraft- und Widerstands-Körper in einer Seitenflanke der Schwelle gezeichnet (Textabb. 21). Die Schwelle greift  $d$  cm in die

Abb. 21.



Bettung ein und die Bettungsspannung in kg/qcm wurde so geregelt gedacht, daß sich die Begrenzungen der Kraft- und Widerstands-Körper in der Höhe CD schneiden. Das durch die Unterstopfung verdichtete Schotterbett wiegt für die Raumeinheit  $k \text{ kg/qcm}$ , wobei  $k$  die Verdichtungsziffer ist. Hierdurch wird der Winkel des Kraftkörpers so geändert, daß  $\operatorname{tg} \alpha = k \cdot g \cdot m$  wird, während  $\operatorname{tg} \alpha' = g \cdot n$  für den Widerstandskörper des unbelasteten Schotterbettes ungeändert bleibt. Die Werte sind in Zusammenstellung I angegeben. Nach Textabb. 21 kommt bei 26 cm Schwellenbreite und 40 cm Bettungstiefe der Satz vom Druckkörper in Frage, weil die Belastung nicht bis zum Punkte J reicht. Die verwandelte Lasthöhe wird in diesem Falle  $\lambda = \frac{q}{gk}$ . Warum hier von der Einsenkung der Schwellen abgesehen wird, kann erst später klar werden.

In der Tiefe  $x$  wird der auf  $d$  einwirkende Angriffs-Druck  $y = (x + \lambda - d) \text{ kg m}$ , während der Widerstand bis auf  $y' = x \cdot gn$  gesteigert werden kann. Der volle Widerstand der Bettung kann nicht überall ausgenutzt werden. Nur in CD wird die Angriffskraft bei der gewählten Bettungsspannung gerade gleich der Widerstandskraft. Die Störung des Gleichgewichtes wird in CD zuerst eintreten. Diese Wagerechte heißt daher die gefährliche. Um die Grenzbelastung zu erhalten braucht man nur die Linie CD aus den

beiden Dreiecken CDB und CDF zu bestimmen. Aus CDB wird  $CD = \lambda \text{ kgm} = \frac{q}{\text{kg}} \cdot \text{kgm} = q \text{ m}$  und aus CDF  $CD = dg n$ .

Durch Gleichsetzung beider Werte erhält man  $q = dg \frac{n}{m}$ , für  $n : m = \mathfrak{M}$  ist also der Grenzwert  $q_1 = dg \mathfrak{M}$ . Nach Zusammenstellung I ist dieser Grenzwert für einen natürlichen Böschungswinkel von  $40^\circ$  schon durch die Bettungsspannung von  $0,49 \text{ kg/qcm}$  erreicht. Da nun der wirkliche Bettungsdruck, unter Annahme der auf Hauptbahnen üblichen Verhältnisse zwischen 1 und  $2 \text{ kg/qcm}$  liegt, also zwei bis viermal so groß ist, wie der hier erhaltene Grenzwert, und weil andererseits unter den Querschwellen, trotz der wesentlich höhern Bettungsspannung keine Verdrängungen vorkommen, so kann  $q = dg \mathfrak{M}$  nicht der wahre Grenzwert sein; er muß durch eine neu hinzutretende Kraft vermehrt werden können, und diese ist die lotrechte Reibung, welche im nächsten Abschnitte besprochen werden soll. Die Größe  $q_1 = dg \mathfrak{M}$  hat aber eine andere wichtige Bedeutung, sie soll als der erste Grenzwert bezeichnet werden.

Die Zusammenstellung I enthält alle Werte, die ohne Berücksichtigung der lotrechten Reibung in Betracht kommen. Da die Winkel  $\alpha$  und  $\alpha'$  oder  $\operatorname{tg} \alpha = k g m$  und  $\operatorname{tg} \alpha' = g n$  für die Zeichnungen regelmäßig viel zu klein werden (etwa  $\alpha = 0^\circ 1' 16''$ ,  $\alpha' = 0^\circ 30' 24''$ ), so ist ihr 500faches angegeben, die Ergebnisse beziehen sich also auf die Tiefe von 500 cm statt von 1 cm. Die Kräfte müssen also in einem 500 mal größeren Maßstab gemessen werden. Gilt also für  $q$  und  $g$  ein Maßstab mit der Einheit 1, so muß die Einheit des Kraftmaßstabes zu  $L = 500 \text{ l}$  angenommen werden, wodurch zugleich eine 500 mal größere Genauigkeit erzielt wird. Ebenso kann die Größe  $\lambda = \frac{q}{\text{kg}}$ , die in allen Fällen

Zusammenstellung I.

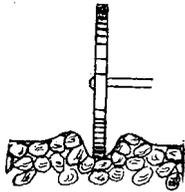
$\rho =$	$38^\circ$	$40^\circ$	$42^\circ$
$u_0$ . . . . .	$64^\circ$	$65^\circ$	$66^\circ$
$w_0$ . . . . .	$26^\circ$	$25^\circ$	$24^\circ$
$m_0 = \frac{1}{n_0}$ . . . . .	0,2378831	0,217442	0,1982285
$n_0 = \frac{1}{m_0}$ . . . . .	4,203745	4,598910	5,044682
$\frac{n_0}{m_0} = n_0^2 = \mathfrak{M}$ . . . . .	17,67147	21,14998	25,44881
$q_1 = dg \mathfrak{M}$ für $d = 15 \text{ cm}$	0,41085	0,49174	0,59168
$g \text{ kg/qcm}$ . . . . .		0,001550	
$500 gn =$ Tangente des Winkels . . . . .	—	$74^\circ 19' 38''$	—
$500 gm =$ Tangente des Winkels . . . . .	—	$10^\circ 30' 25''$	—
$\frac{1}{g(\mathfrak{M} - k)}$ . . . . .	38,9320	32,1776	26,4966
$kgd$ für $d = 15 \text{ cm}$ . . . . .		0,025575	
$a = \operatorname{tg} \rho$ . . . . .	0,7812855	0,8390996	0,9004039
$g(\mathfrak{M} - k)$ . . . . .	0,0256858	0,0310775	0,0377406
Für eiserne Schwellen $d = 5 \text{ cm} \dots dg \mathfrak{M} =$	0,13695	0,16391	0,19722

zwischen 600 und 1400 cm schwankt, nicht gut im Längsmaße aufgetragen werden. Diese Schwierigkeit kann leicht umgangen werden, wenn man zuerst aus Textabb. 21  $CD = qm$  berechnet und etwa mit dem Maßstabe  $1\text{ kg} = 250\text{ mm}$  in die Zeichnung einträgt. Ebenso berechnet und zeichnet man  $AE = (h - d + \lambda)\text{ kgm} = (h - d)\text{ kgm} + qm$ , um nach Ziehen der Linie DE alle Zwischenwerte bequem abmessen zu können. Die Verdichtungsziffer  $k$  wurde in Zusammenstellung I = 1.1 eingeführt. Über diesen Wert wird später Näheres mitgeteilt.

V. Seitendruck mit lotrechter Reibung.

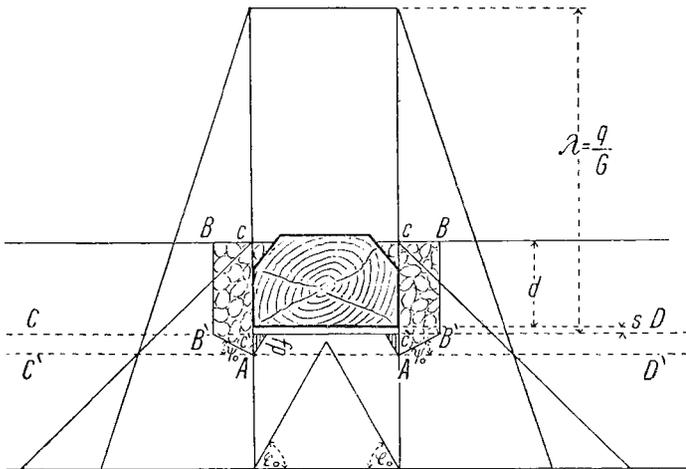
Wenn ein hinreichend belasteter Wagen auf einer zusammenhanglosen Masse fährt, so entsteht unter seitlicher Verdrängung und Hebung der Masse eine Furche (Textabb. 22).

Abb. 22.



Dasselbe tritt bei der Schwelle ein, wenn die Bettungsspannung so vermehrt wird, daß Kraft- und Widerstands-Körper sich unter der gefährlichen Wagerechten CD etwa in C'D' s schneiden (Textabb. 23), denn auf das Flächenelement  $df$  wirkt jetzt ein Druck,

Abb. 23.

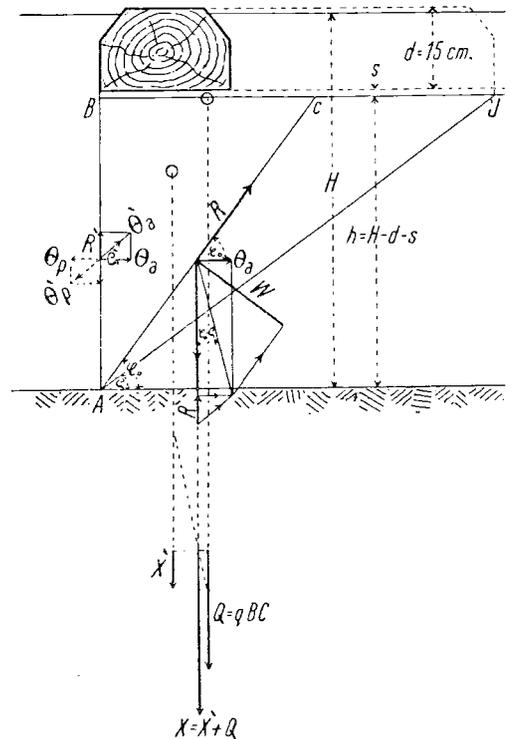


der größer ist als der mögliche Widerstand. Da nun längs des Schwelleneingriffes  $d$  in  $cc'$  kein seitlicher Druck auftreten kann, so wird sich dieser Druck nur auf  $df = Ac'$  geltend machen und ein Abschieben, eine seitliche Verdrängung und Hebung des Körpers  $AB'BC$  auf der schiefen Ebene  $AB'$  bewirken. Zu diesem Zwecke muß aber zuerst die lotrechte Reibung in  $df$ ,  $BB'$  und  $cc'$  überwunden werden. Die Vertikalreibung in  $BB'$  und  $cc'$  bleibt als nur vom Drucke

der unbelasteten Bettung stammend im Folgenden unberücksichtigt, weil  $AB'BC$  kein fester Körper ist, der sich gleichzeitig auf  $AB'$ ,  $B'B$  und  $Ac$  bewegt, vielmehr werden die Teilchen des überstrichelten Druckkörpers nach Überwindung der lotrechten Reibung in den Raum  $AB'c'$  eindringen, dessen Teilchen auf  $AB'$  heben und nach oben treiben, wobei schon eine bleibende Senkung der Schwellen eintreten muß. Erst bei weiterer Drucksteigerung durch Zunahme von  $q$  wird sich dieses Auftreiben nach oben bis  $Bc$  fortpflanzen und zum Aufquellen der Bettung führen. Da nun hier dieser bei geringem Anwachsen eine bleibende Senkung verursachende Grenzdruck vornehmlich Beachtung verdient, so muß die Reibung längs  $BB'$  und  $cc'$  als erst in späterem Zustande mitwirkend unberücksichtigt gelassen werden.

Vorläufig wird angenommen, daß der Reibungswinkel  $\alpha'$  in allen Teilen der Fläche  $AB$  (Textabb. 24) derselbe sei.

Abb. 24.

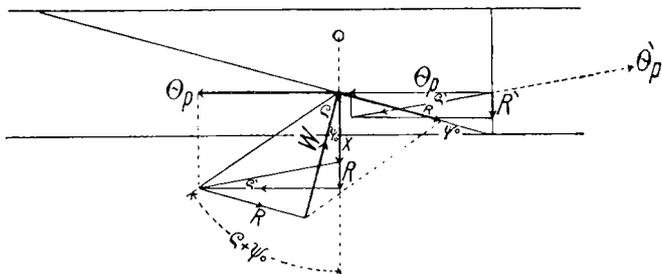


Das Gewicht  $kg$  der Raumeinheit des unterstopften Schotterbettes wird durch die elastische Einenkung der Schwelle auf  $G$  erhöht. Die nach der Senkung  $s$  unter der Schwelle verbleibende Tiefe der Bettung sei  $h = H - d - s$  (Textabb. 24), wo  $H$  die ursprüngliche Tiefe der unbelasteten Bettung ist, deren Widerstand das Gleichgewicht herstellt.

Nach dem Satze vom Druckkörper ist der von der belasteten Schwelle auf  $AB$  ausgeübte Druck grade so groß, wie er bei Ausdehnung derselben Bettungsspannung bis  $J$  wäre. Bei Bestimmung des ganzen Druckes  $\Theta_u$  auf  $AB$  muß gemäß Gl. 1) (Textabb. 5) das Gewicht des ganzen, belasteten Absturzkörpers  $ABC = X$  in Betracht gezogen werden, wobei nur zu berücksichtigen ist, daß  $\Theta_u$  sich in der Mittelgrenze

AB mit der lotrechten Reibung  $R' = \Theta_a \cdot \operatorname{tg} \varrho'$  zu einem schiefen Drucke  $\Theta_a' = \Theta_a \sec. \varrho'$  zusammensetzt, welcher, da er nicht rechtwinkelig zur Krafttrichtung X steht, das Gewicht X des belasteten Absturzkörpers, die Mittelkraft, aus X' und Q um  $R = \Theta_a \operatorname{tg} \varrho' = \Theta_a' \cdot \sin \varrho'$  vermindern muß. Demnach ergibt sich das in Textabb. 24, gemäß Textabb. 3, gezeichnete Kräfteck. Das Kräfteck für den voll beanspruchten Widerstandsdruck mit lotrechter Reibung zeigt Textabb. 25;

Abb. 25.



man braucht nur alle Reibungsgrößen in entgegengesetzter Richtung aufzutragen. Hierbei wird das Gewicht X des Abschubkörpers ABD um den Betrag R' der lotrechten Reibung vermehrt.

Man erhält nach Gl. 1):

$$\Theta_a = [X - \Theta_a \operatorname{tg} \varrho'] \operatorname{tg} (\varphi - \varrho) \text{ oder } \Theta_a = \frac{X \operatorname{tg} (\varphi - \varrho)}{1 + \operatorname{tg} \varrho' \operatorname{tg} (\varphi - \varrho)}$$

$$X = x' + q \cdot BC = \frac{1}{2} G \frac{h^2}{\operatorname{tg} \varphi} + q \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi}, \text{ mithin}$$

$$\text{Gl. 8) } \Theta_a = \left( \frac{1}{2} G h^2 + q h \right) \cdot \frac{\operatorname{tg} (\varphi - \varrho)}{\operatorname{tg} \varphi [1 + \operatorname{tg} \varrho' \operatorname{tg} (\varphi - \varrho)]}$$

Der nur von Winkelgrößen abhängende Wert wird nach

$$\text{der Umformung } f(\operatorname{tg} \varphi) = \frac{1}{\operatorname{tg} \varphi \left[ \frac{1}{\operatorname{tg} (\varphi - \varrho)} + \operatorname{tg} \varrho' \right]} \text{ für}$$

$\varphi = \varrho$  und für  $\varphi = 90^\circ$  gleich Null; da er zwischen diesen Grenzen  $90^\circ > \varphi > \varrho$  positiv bleibt, so muß es einen Wert  $\varphi_0$  geben, der  $f(\operatorname{tg} \varphi)$  und damit auch  $\Theta_a$  zu einem größten Werte macht. Werden  $\operatorname{tg} \varphi = x$ ,  $\operatorname{tg} \varrho = a$  und  $\operatorname{tg} \varrho' = a'$  gesetzt,

$$\text{so wird } f(\operatorname{tg} \varphi) = \frac{x - a}{x [1 + (a + a') x - a a']} \text{ und der größte}$$

$$\text{Wert folgt aus: } \frac{d f(\operatorname{tg} \varphi)}{d x} = 0 = \frac{x [1 + (a + a') x - a a'] - (x - a) [1 + (a + a') x - a a' + (a + a') x]}{[x [1 + (a + a') x - a a']]^2}$$

Der Nenner kann zwischen den Grenzen nicht  $= \infty$  werden, also muß  $-(a + a') x^2 + a + 2 a (a + a') x - a^2 a' = 0$  oder

$$x = a \pm \sqrt{\frac{a(1 + a^2)}{a + a'}} = \operatorname{tg} \varphi_0 \text{ sein; da } \varphi_0 > \varrho \text{ oder } \operatorname{tg} \varphi_0 > a$$

sein muß, so ist mit den + Zeichen zu rechnen. Demnach wird der Bruchwinkel für den Angriffs-Druck  $\operatorname{tg} \varphi_0$

$$= \sqrt{\frac{a(1 + a^2)}{a + a'}} + a \text{ und der des Widerstands-Druckes}$$

$$\text{durch Änderung des Zeichens von } a \text{ und } a', \operatorname{tg} \psi_0$$

$$= \sqrt{\frac{a(1 + a^2)}{a + a'}} - a.$$

Durch Einsetzen von  $x$  in  $f(\operatorname{tg} \varphi)$  erhält man die Druckziffer für den Angriffs-Druck mit lotrechter Reibung

$$\text{Gl. 5a) } \mu_x = \frac{\sqrt{a(1 + a^2)}}{[\sqrt{a(1 + a^2)} + a \sqrt{a + a'}] [1 + \sqrt{a(1 + a^2)}(a + a') + a(a + a') - a a']} \\ \mu_x = \frac{1}{[\sqrt{1 + a^2} + \sqrt{a(a + a')}]^2}$$

und durch Änderung des Vorzeichens der Reibungsgrößen  $a$  und  $a'$  für den Widerstands-Druck mit lotrechter Reibung

$$\text{Gl. 6a) } \dots \nu_x = \frac{1}{[\sqrt{1 + a^2} - \sqrt{a(a + a')}]^2}.$$

Setzt man in  $\mu_x$  und  $\nu_x$  die lotrechte Reibung, also  $a' = 0$ , so gehen diese Ausdrücke wieder in  $m$  und  $n$  (Gl. 5) und 6)] über.

$$\text{Für } a' = a \text{ wird } \mu_0 = \frac{1}{[\sqrt{1 + a^2} + a \sqrt{2}]^2} \text{ und } \nu_0$$

$$= \frac{1}{[\sqrt{1 + a^2} - a \sqrt{2}]^2}, \text{ der Vergleich mit den Werten } m_0$$

und  $n_0$  aus Gl. 5) und 6) zeigt, daß  $\mu_0 < m_0$  und  $\nu_0 > n_0$  ist.

Die Werte für verschiedene  $\varrho$  enthält Zusammenstellung II, deren Berechnung erfolgt nach  $\mu_0 = \left( \frac{1}{\cos \varrho} + \sqrt{2} \operatorname{tg} \varrho \right)^2$

$$= \left( \frac{\cos \varrho}{1 + \sqrt{2} \sin \varrho} \right)^2, \nu_0 = \left( \frac{1}{\frac{1}{\cos \varrho} - \sqrt{2} \operatorname{tg} \varrho} \right)^2 \\ = \left( \frac{\cos \varrho}{1 - \sqrt{2} \sin \varrho} \right)^2, M_0 = \frac{\nu_0}{\mu_0} = \left( \frac{1 + \sqrt{2} \sin \varrho}{1 - \sqrt{2} \sin \varrho} \right)^2.$$

Zusammenstellung II.

$\varrho =$	$38^\circ$	$40^\circ$	$42^\circ$
$\varphi_0$ . . . . .	59° 12' 59"	60° 25' 32"	61° 37' 54"
$\psi_0$ . . . . .	6° 3' 12"	4° 47' 58"	2° 55' 31"
$\mu_0$ . . . . .	0,177462	0,1610194	0,1457909
$\nu_0$ . . . . .	37,12883	70,92455	191,4667
$M_0 = \frac{\nu_0}{\mu_0}$ . . . . .	209,2399	440,4719	1313,297
$g M_0 =$ . . . . .	0,3243	0,6827	2,0356
$\gamma_I = d g M_0$ für $d = 15 \text{ cm}$	4,8648	10,2409	30,5341
$\gamma_{II} = d g M$ für $d = 5 \text{ cm}$	1,6216	3,4136	10,1780

In Textabb. 26 wird der Druck auf BC unter der Voraussetzung, daß längs dieser Fläche überall die ganze lotrechte

$$\text{Reibung } a' = a \text{ wirkt nach Gl. 8): } \Theta_a = \left( \frac{1}{2} G x^2 + q x \right) \mu_0,$$

und für das folgende  $dx$  ist der Einzeldruck  $\vartheta_x$  auf den Flächenteil  $dx \cdot 1$  in der Tiefe  $x$ :  $d \Theta_a = \vartheta_x \cdot dx = [G x + q] \mu_0 \cdot dx$ , woraus  $\vartheta_x = [G x + q] \cdot \mu_0$  folgt.

Für  $x = 0$  wird der Druck in der gefährlichen Wage-

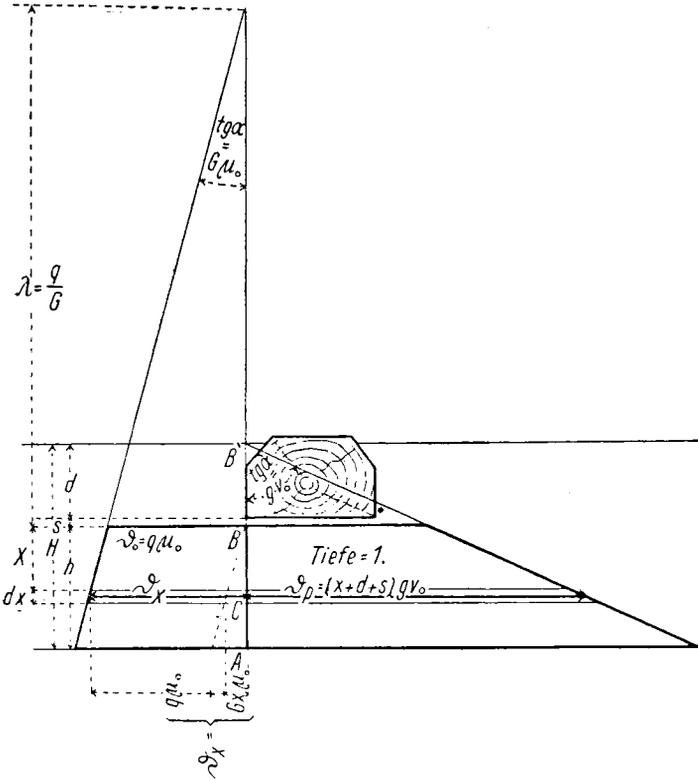
$$\text{rechten } \vartheta_0 = q \mu_0, \text{ für } x = h \text{ in der Tiefe } h \dots \vartheta_h = (G h + q) \mu_0.$$

Daraus ergibt sich  $\frac{\vartheta_0}{\vartheta_h} = \frac{q}{G h + q} = \frac{\lambda}{\lambda + h}$ , weil  $\lambda = \frac{q}{G}$ .

Auch hier kann also der Druck auf bekannte Weise durch den Kraftkörper mit dem obern Winkel  $\operatorname{tg} \alpha = G \mu_0$  dargestellt werden.

Den vollen Widerstands-Druck auf die Fläche  $AB' = H$  findet man unter der vorläufigen Annahme, daß auch der ganze Widerstand mit  $a' = a$  aufgezehrt wird, aus Gl. 4).

Abb. 26.

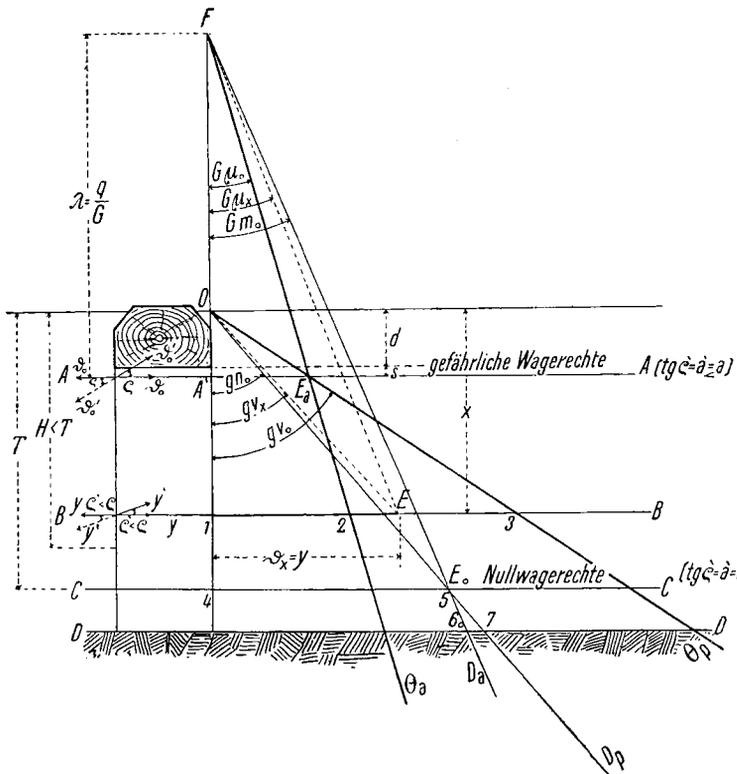


$$\Theta_p = \frac{1}{2} g H^2 \cdot \nu_0; \text{ man kann also auch diesen Widerstand}$$

durch den Widerstandskörper mit dem Scheitelwinkel  $\text{tg } \alpha' = g \nu_0$  anschaulich machen.

In Textabb. 27 sind die Kraftkörper für  $\Theta_a$  und  $D_a$  und

Abb. 27.



die Widerstandskörper für  $\Theta_p$  und  $D_p$  auf derselben Seite der Mittelgrenze gezeichnet.

In der gefährlichen Wagerechten A sei  $\vartheta_0 = q \mu_0$  gleich dem vollen möglichen Widerstande, dann muß in diesem höchsten Teilchen der volle Reibungsbetrag zur Wirkung kommen;  $\vartheta_0$  schließt mit dem schiefen Drucke  $\vartheta_0'$  den Reibungswinkel  $q$  ein.

In der Wagerechten B ist  $\vartheta_a$  durch 1—2 dargestellt, wenn auch hier die ganze lotrechte Reibung in Anspruch genommen würde. Dies ist jedoch nicht möglich, weil bei Aufzehrung der ganzen lotrechten Reibung der Widerstands-Druck 1—3 größer würde, als die Kraft  $\vartheta_a = 1—2$ .  $\vartheta_a$  muß also eine solche Größe  $y$  erhalten, daß der hervorgerufene Widerstand gleich  $y$  wird und in derselben Geraden entgegengesetzt wirkt. Das ist nur möglich, wenn die hier auftretende lotrechte Reibung  $q' < q$  wird. Wird aber die lotrechte Reibung kleiner als  $q$ , dann dreht sich die Linie  $\Theta_a$  je nach der Tiefenlage der betrachteten Wagerechten allmählich gegen  $D_a$ , das heißt der Angriffs-Druck wird größer, und die Linie  $\Theta_p$  bewegt sich gegen  $D_p$ , der Widerstands-Druck wird kleiner. Da, wo diese beiden sich um O und F drehenden Linien schneiden, etwa in der Wagerechten B, ist der Punkt E, dessen Entfernung  $y = 1 E$  von der Mittelgrenze die Größe der hier wirkenden Einzelkraft und ihres Widerstandes angibt. Wenn man für jede Wagerechte diesen Punkt E aufsucht und alle so erhaltenen Punkte verbindet, so erhält man eine Linie, deren Bestimmung der nächste Abschnitt enthält.

In C erreicht man die wichtige Wagerechte, in der keine lotrechte Reibung mehr beansprucht wird, weil in ihr schon der volle Angriffs-Einzeldruck 4—5 ohne lotrechte Reibung durch den vollen Widerstands-Druck ohne lotrechte Reibung aufgehoben wird. In noch tieferen Wagerechten, etwa in D, ist stets ein Überschuss 6—7 nicht ausgenutzten Widerstands-Druckes ohne lotrechte Reibung vorhanden. Diese bemerkenswerte Wagerechte C in der Tiefe T, in der die lotrechte Reibung mit ( $\text{tg } q' = a' = 0$ ) verschwindet, heißt Nullwagerechte. Ihre Bedeutung wird bei der Behandlung der Schwellensenkung klar werden.

### VI. Die Gestalt der E-Linie.

Bei Vergleichung des Kraftkörpers mit dem entsprechenden Widerstandskörper ohne lotrechte Reibung (Textabb. 21) wurde bereits betont, daß der Widerstands-Druck nur bis zur Größe des herrschenden Angriffs-Druckes auftreten kann; unter der gefährlichen Wagerechten wird also ein beträchtlicher Teil des Widerstandes nicht ausgenutzt.

Ähnliches findet auch bei Inanspruchnahme der lotrechten Reibung statt, nur werden sich hier Kraft und Widerstand nach Abschnitt V in der Linie E ausgleichen. Somit muß die Einzelkraft  $\vartheta_x = y$  von den beiden Veränderlichen  $x$  und  $a'$  (Textabb. 27) abhängen.

Aus = 0 1 E (Textabb. 27) folgt:

Gl. 9) . . . .  $y = x \cdot g \nu_x$  und aus  $\triangle F 1 E$ .

Gl. 10) . . .  $y = (x - d - s + \lambda) G \mu_x$ , somit

Gl. 11)  $x \cdot g \nu_x = \{ [x - (d + s)] G + q \} \mu_x$ , weil  $\lambda = \frac{q}{G}$  ist.

Ein Schotterkörper, dessen Querschnitt 1 qcm und dessen Höhe T - d ist, hat nach dem Unterstopfen ein Gewicht von kg (T - d). Dieses Bettungsäulchen wird durch die elastische Einsenkung um s<sup>cm</sup> verkürzt, dadurch geht das Gewicht seiner Raumeinheit in G und seine Höhe in T - d - s über. Mithin ist kg (T - d) = (T - d - s) G, also  $G = \frac{kg(T-d)}{T-d-s}$  und diese Größe ist für irgend eine vorhandene Bettungstiefe T oder H unveränderlich, so lange der Eingriff d der Schwellen und die die Einsenkung s hervorrufende Bettungsspannung unverändert bleiben.

Werden in Gl. 11) die Unveränderlichen von den Veränderlichen gesondert und erstere zur Vereinfachung = L, also L = q - (d + s) G, gesetzt, so folgt:

Gl. 11a) . . . . . x . g ν<sub>x</sub> = (G . x + L) μ<sub>x</sub>.

Nach Gl. 5a) und 6a) ist:  $\nu_x = \frac{1}{[\sqrt{1+a^2} - \sqrt{a(a+a')}]^2}$

und  $\mu_x = \frac{1}{[\sqrt{1+a^2} + \sqrt{a(a+a')}]^2}$

Zur Vereinfachung der weiteren Rechnung, werde  $\sqrt{1+a^2} = \omega$  und  $\sqrt{a(a+a')} = \zeta$  gesetzt, sodafs sich ζ mit a' ändert, dann ist:  $\nu_x = \frac{1}{(\omega - \zeta)^2}$  und  $\mu_x = \frac{1}{(\omega + \zeta)^2}$ , also nach Gl. 11a):

$\frac{g x}{(\omega - \zeta)^2} = \frac{G x + L}{(\omega + \zeta)^2}$ , somit  $\frac{\omega + \zeta}{\omega - \zeta} = \sqrt{\frac{G x + L}{g x}}$ . Wird die Wurzelgröße = z gesetzt, so ist weiter  $\omega + \zeta = \omega z - \zeta z$ , oder

Gl. 12) . . .  $\zeta = \omega \frac{z-1}{z+1} = \omega \frac{\sqrt{G x + L} - \sqrt{g x}}{\sqrt{G x + L} + \sqrt{g x}}$ .

In der gefährlichen Wagerechten mit a' = a mufs nun  $\zeta = \sqrt{a(a+a')}$  in  $\zeta_a = a\sqrt{2}$ , und in der Nullwagerechten für a' = 0 in  $\zeta_0 = a$  übergehen:

1) Bei voller Ausnutzung der lotrechten Reibung in der gefährlichen Wagerechten erhält man (Textabb. 27) den Grenzwert q<sub>2</sub> = A' E<sub>a</sub> ebenso wie q<sub>1</sub> in Abschnitt V aus q<sub>2</sub> μ = (d + s) g ν, wobei für a' = a,  $\mu = \mu_x = \frac{1}{[\sqrt{1+a^2} + a\sqrt{2}]^2}$

und  $\nu = \nu_x = \frac{1}{[\sqrt{1+a^2} - a\sqrt{2}]^2}$  ist. In der gefährlichen Wagerechten wird x = d + s, somit

$\zeta_a = \omega \frac{\sqrt{G(d+s)} + q_2 - G(d+s) - \sqrt{g(d+s)}}{\sqrt{G(d+s)} + q_2 - G(d+s) + \sqrt{g(d+s)}}$

=  $\omega \frac{\sqrt{q_2} - \sqrt{g(d+s)}}{\sqrt{q_2} + \sqrt{g(d+s)}}$ ; nun ist q<sub>2</sub> = (d + s) g  $\frac{\nu}{\mu}$ , wird

$\frac{\nu}{\mu} = M$  gesetzt, q<sub>2</sub> = (d + s) g M, damit wird:  $\zeta_a = \omega \frac{\sqrt{M} - 1}{\sqrt{M} + 1}$

und  $M = \frac{\nu}{\mu} = \left( \frac{\sqrt{1+a^2} + a\sqrt{2}}{\sqrt{1+a^2} - a\sqrt{2}} \right)^2$ ;  $\zeta_a = \omega \frac{2a\sqrt{2}}{2\sqrt{1+a^2}} = a\sqrt{2}$ , was bewiesen werden sollte.

2) Für die Nullwagerechte ist x = T zu setzen; somit wird

$\zeta_0 = \omega \frac{\sqrt{GT} + q_2 - (d+s)G - \sqrt{gT}}{\sqrt{GT} + q_2 - (d+s)G + \sqrt{gT}}$

=  $\frac{\sqrt{(T-d-s)G + q_2} - \sqrt{gT}}{\sqrt{(T-d-s)G + q_2} + \sqrt{gT}}$ , (T - d - s) G war

= kg (T - d) und aus der Auflösung der Druckgröße 4 E<sub>0</sub> in der Nullwagerechten (Textabb. 27) aus den beiden Dreiecken 4 E<sub>0</sub> O und 4 E<sub>0</sub> F folgt T g n = (T - d - s + λ) G m = [(T - d - s) G + q<sub>2</sub>] m oder für  $\frac{n}{m} = \mathfrak{M}$ .

(T - d - s) G + q<sub>2</sub> = T g  $\mathfrak{M}$ ; damit wird

$\zeta_0 = \omega \frac{\sqrt{gT\mathfrak{M}} - \sqrt{gT}}{\sqrt{gT\mathfrak{M}} + \sqrt{gT}} = \omega \frac{\sqrt{\mathfrak{M}} - 1}{\sqrt{\mathfrak{M}} + 1}$ ; hierin ist  $\mathfrak{M} = \frac{n}{m} = \frac{\nu_x \text{ für } a'=0}{\mu_x \text{ für } a'=0}$  also  $\mathfrak{M} = \left( \frac{\sqrt{1+a^2} + a}{\sqrt{1+a^2} - a} \right)^2$  und man erhält

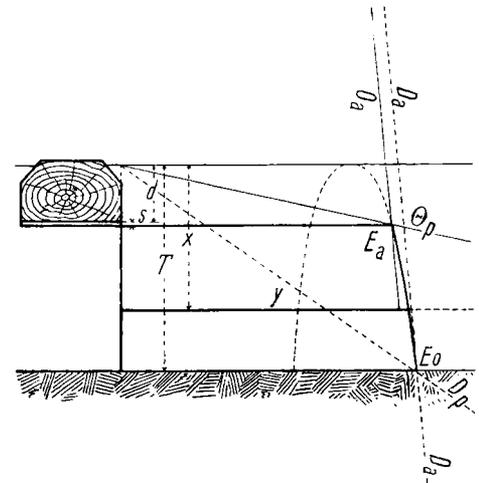
schliesslich:

$\zeta_0 = \omega \frac{\sqrt{1+a^2} + a - \sqrt{1+a^2} - a}{\sqrt{1+a^2} + a + \sqrt{1+a^2} - a} = \omega \frac{2a}{2\sqrt{1+a^2}}$

=  $\omega \frac{a}{\omega} = a$ , was bewiesen werden sollte.

Der Ausdruck für ζ enthält also schon die Bedingungen, dafs die zu suchende Linie durch die Punkte E<sub>a</sub> und E<sub>0</sub> (Textabb. 27 und 28) geht. Für eine andere Tiefe H des

Abb. 28.



Schotterbettes statt T ist diese einzuführen und wenn in der gefährlichen Wagerechten der Grenzwert q<sub>2</sub> nicht auftreten sollte, sondern etwa q < q<sub>2</sub>, sind statt μ und ν, für a' = a, die Werte μ<sub>a'</sub> und ν<sub>a'</sub>; für a' < a, als Ausgangswerte der Linie der E zu benutzen. Ist dabei die Bettungstiefe H < T, so sind für den Endwert nicht m und n, sondern μ<sub>H</sub> und ν<sub>H</sub> einzuführen, in welchen a' noch nicht = 0 werden kann.

In diesem Falle ändern sich die unveränderlichen Bestimmungsgrößen der Linie nur wenig, sie können durch entsprechende Einsetzung der geänderten Werte leicht erhalten werden.

Um nun y als F(x) zu erhalten, braucht man nur ζ aus Gl. 12) in eine der Gl. 9) oder 10) einzusetzen; etwa in die einfachere Gl. 9):  $y = g x \cdot \nu_x = g x \cdot \frac{1}{(\omega - \zeta)^2}$ , nach Gl. 12)

$\omega - \zeta = \frac{2\omega\sqrt{g x}}{\sqrt{G x + L} + \sqrt{g x}}$ ,  $y = \frac{g x [\sqrt{G x + L} + \sqrt{g x}]^2}{4\omega^2 g x}$

=  $\frac{1}{4\omega^2} (\sqrt{G x + L} + \sqrt{g x})^2$  oder  $4\omega^2 y = G x + L + g x + 2\sqrt{(G x + L) g x} = (G + g) x + L + 2\sqrt{G g x^2 + L g x}$ ,

sohin  $[4 \omega^2 y - (G + g)x - L]^2 = 4(Gg x^2 + Lgx)$  und durch Entwicklung und Ordnung der Veränderlichen:

Gl. 13) . . . . .  $(G - g)^2 x^2 + 16 \omega^4 y^2 - 8 \omega^2 (G + g)xy + 2L(G - g)x - 8 \omega^2 Ly + L^2 = 0.$

Das ist die Gleichung eines Kegelschnittes von der allgemeinen Form:

Gl. I) . .  $Ax^2 + A'y^2 + 2Bxy + 2Cx + 2Dy + F = 0$  in der  $A = (G - g)^2$ ,  $A' = 16 \omega^4$ ,  $B = -4 \omega^2 (G + g)$ ,  $C = L(G - g)$ ,  $D = -4 \omega^2 L$ ,  $F = L^2$  ist. Da der kennzeichnende Ausdruck  $B^2 - AA' = 16 \omega^4 (G + g)^2 - 16 \omega^4 (G - g)^2 = 64 \omega^4 Gg$  positiv ist, so stellt Gl. 13) eine Hyperbel dar (Textabb. 28). Der Anfang wird durch  $x = x_1 + \xi$  und  $y = y_1 + \eta$ , um  $\xi$  und  $\eta$  von  $O$  nach  $O_1$  verlegt. Die auf den Ursprung  $O_1$  bezogene Gleichung I lautet:

Gl. II)  $Ax_1^2 + A'y_1^2 + 2Bx_1y_1 + 2(A\xi + B\eta + C)x_1 + 2(A'\eta + B\xi + D)y_1 + (A\xi^2 + A'\eta^2 + 2B\xi\eta + 2C\xi + 2D\eta) + F = 0.$

Die Verschiebungen  $\xi$  und  $\eta$  werden nun so gewählt, daß die Glieder mit den ersten Potenzen der Veränderlichen  $x_1$  und  $y_1$  verschwinden,  $O_1$  ist dann der Mittelpunkt der Hyperbel und ihre auf diesen bezogene Gleichung:

Gl. III) . .  $Ax_1^2 + A'y_1^2 + 2Bx_1y_1 + F' = 0.$

Die Lage des Mittelpunktes erhält man aus Gl. II), wenn

$A\xi + B\eta + C = 0$   
 $A'\eta + B\xi + D = 0$  gesetzt wird, woraus

Gl. IV) . .  $\left\{ \begin{aligned} \xi &= \frac{A'C - BD}{B^2 - AA'} = -\frac{L}{2G} \\ \eta &= \frac{AD - BC}{B^2 - AA'} = +\frac{L(G-g)}{8\omega^2 G} \end{aligned} \right\}$  folgt.

Für die Lage von  $O_1$  ist zu beachten, daß  $\xi$  negativ wird.

Nach Gl. III) ist:

$F' = (A\xi^2 + A'\eta^2 + 2B\xi\eta + 2C\xi + 2D\eta) + F;$

wird die Klammergröße mit Bezug auf die Gl. IV) umgeformt, so ergibt sich:  $F' = [(A\xi + B\eta + C)\xi + (A'\eta + B\xi + D)\eta + C\xi + D\eta] + F = C\xi + D\eta + F.$  Die Mittelpunkts-gleichung III enthält noch ein Glied mit  $xy$ ; um die auf die Hauptachsen der Hyperbel bezogene Mittelpunkts-gleichung zu erhalten, muß das Gl. III) entsprechende Achsenkreuz noch um einen Winkel  $\gamma$  so gedreht werden, daß das Glied mit  $xy$  wegfällt. Dabei wird  $x_1 = X \cos \gamma - Y \sin \gamma$ ,  $y_1 = X \sin \gamma + Y \cos \gamma$  und damit Gl. III):

Gl. V) . . .  $\left. \begin{aligned} (A \cos^2 \gamma + A' \sin^2 \gamma + 2B \sin \gamma \cos \gamma) X^2 \\ + (A \sin^2 \gamma + A' \cos^2 \gamma - 2B \sin \gamma \cos \gamma) Y^2 \\ + 2[\sin \gamma \cos \gamma (A' - A) + B(\cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma)] XY \\ + C\xi + D\eta + F \end{aligned} \right\} = 0.$

Es muß danach  $2 \sin \gamma \cos \gamma (A' - A) + 2B(\cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma) = 0$ , oder  $\sin 2\gamma (A' - A) = -2B \cos 2\gamma$ , oder  $\text{tg } 2\gamma = -\frac{2B}{A' - A} = +\frac{8 \omega^2 (G + g)}{16 \omega^4 - (G - g)^2}$  sein.

Da  $\gamma$  positiv wird, folgt die Richtigkeit des Sinnes der angenommenen Drehung.

In Gl. V) wird:

$C\xi + D\eta + F = -\frac{L^2(G-g)}{2G} - \frac{4w^2 L^2(G-g)}{8w^2 G} + L^2 = \frac{L^2 g}{G}$  und somit Gl. V):

$(A \cos^2 \gamma + A' \sin^2 \gamma - 2B \sin \gamma \cos \gamma) X^2 + (A \sin^2 \gamma + A' \cos^2 \gamma - 2B \sin \gamma \cos \gamma) Y^2 + \frac{L^2 g}{G} = 0;$

durch Vergleich mit der Hyperbelgleichung  $\beta^2 X^2 - \alpha^2 Y^2 - \alpha^2 \beta^2 = 0$  folgt, daß zur Bestimmung der beiden Hauptachsen  $\alpha$  und  $\beta$  drei Gleichungen, also eine zuviel, bestehen. Daher muß Gl. V) noch mit einem Werte  $K$  multipliziert werden, wodurch sich drei Gleichungen mit den drei Unbekannten  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $K$  ergeben:

Gl. VI)  $\left\{ \begin{aligned} -(A \cos^2 \gamma + A' \sin^2 \gamma + 2B \sin \gamma \cos \gamma) K &= \beta^2, \\ + (A \sin^2 \gamma + A' \cos^2 \gamma - 2B \sin \gamma \cos \gamma) K &= +\alpha^2, \\ + \frac{L^2 g}{G} K &= +\alpha^2 \beta^2. \end{aligned} \right.$

Hieraus wird  $\alpha^2 - \beta^2 = K(A + A')$  und

$\alpha^2 + \beta^2 = K[-A(\cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma) + A'(\cos^2 \gamma - \sin^2 \gamma) - 4B \sin \gamma \cos \gamma] = K[(A' - A) \cos 2\gamma - 2B \sin 2\gamma] = K \cos 2\gamma [(A' - A) - 2B \text{tg } 2\gamma]$

und da  $\cos 2\gamma = \frac{1}{\sec 2\gamma} = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 2\gamma}}$  und, wie vorher

gefunden,  $\text{tg } 2\gamma = \frac{-2B}{A' - A}$  ist, so wird

$\alpha^2 + \beta^2 = \frac{K(A' - A)}{\sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2}} \left[ \frac{(A' - A)^2 + 4B^2}{(A' - A)} \right] = K \sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2}.$

Die drei Gleichungen VI), in denen vorläufig  $\frac{L^2 g}{G} = F'$

gesetzt wird, geben somit die drei Beziehungen:

- a)  $\alpha^2 - \beta^2 = K(A + A')$ ,
- b)  $\alpha^2 + \beta^2 = K \sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2}$ ,
- c)  $\alpha^2 \beta^2 = K F'.$

Wird  $K$  aus c) in a) + b) eingesetzt, so folgt:

$2\alpha^2 = \frac{\alpha^2 \beta^2}{F'} [(A' + A) + \sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2}]$

und ebenso aus b) - a):

$2\beta^2 = \frac{\alpha^2 \beta^2}{F'} [\sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2} - (A' + A)];$  somit wird

$\beta^2 = \frac{2F'}{\sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2} + (A' + A)},$

$\alpha^2 = \frac{2F'}{\sqrt{(A' - A)^2 + 4B^2} - (A' + A)}$

und wenn die Werte aus Gl. I) eingesetzt werden:

$\alpha = \sqrt{\frac{2L^2 g}{G \{ \sqrt{[16 \omega^4 - (G-g)^2]^2 + 64 \omega^4 (G+g)^2} - [16 \omega^4 + (G-g)^2] \}}}$

$\beta = \sqrt{\frac{2L^2 g}{G \{ \sqrt{[16 \omega^4 - (G-g)^2]^2 + 64 \omega^4 (G+g)^2} + [16 \omega^4 + (G-g)^2] \}}}$

Die Achse  $\alpha$  wird bedeutend größer als  $\beta$  und da der Winkel  $\gamma$  sehr klein wird,  $\gamma = 0^\circ 1' 39,1''^*$ , so kann die  $x$ -Achse der Hyperbel lotrecht angenommen werden.

\*) Dieser Wert von  $\gamma$  wurde wie folgt berechnet:  $\text{tg } 2\gamma = \frac{8 \omega^2 (G + g)}{16 \omega^4 - (G - g)^2}$ , wobei  $\omega^2 = 1 + a^2 = 1 + \text{tg}^2 \rho = 1 + \text{tg}^2 40^\circ = 1,7040880$ ,  $a = 0,8390996$ ;  $G = 0,0017257$  erhält man aus  $kg(H - d) = (H - d - s)G$  für  $H = 40 \text{ cm}$ ,  $d = 15 \text{ cm}$ ,  $s = 0,3 \text{ cm}$ ,  $g = 0,00155$  und  $k = 1,1$ ; wenn man die sehr kleine Größe  $(G - g)^2$  vernachlässigt, so wird  $\text{tg } 2\gamma = \frac{G + g}{2 \omega^2} = \frac{0,0032757}{3,408176} = 0,000961130$  und  $\log 0,000961130 = 6,9827821 - 10$ , woraus  $2\gamma = 0^\circ 3' 18,2''$  und  $\gamma = 0^\circ 1' 39,1''$  folgt.

Aus Gl. I) folgt

$$y = -\frac{Bx + D}{A'} \pm \sqrt{\frac{(Bx + D)^2 - A'(Ax^2 + 2Cx + F)}{A'^2}}$$

oder, weil  $D^2 - A'F = 0$  ist,

$$y = \frac{1}{A'} \left[ -Bx - D \pm \sqrt{(B^2 - AA')x^2 + 2(BD - A'C)x} \right]$$

und wenn die Werte eingesetzt und vereinfacht werden:

$$\text{Gl. VII) } y = \frac{1}{4\omega^2} [(G + g)x + L \pm 2\sqrt{Ggx^2 + gLx}];$$

soll nun  $y$  für ein positives  $x$  zu Null werden, so müßte

$$[(G + g)x + L]^2 = 4Ggx^2 + 4gLx \text{ oder}$$

$(G - g)^2 x^2 + 2L(G - g)x = -L^2$  werden, was unmöglich ist. Daher bestehen für jedes positive  $x$  zwei positive Werte von  $y$ , und es muß festgestellt werden, welcher Ast der Hyperbel den Bedingungen der Aufgabe entspricht. Geht man von einem bekannten Werte von  $y$ , etwa vom Werte in der gefährlichen Wagerechten  $(d + s)g\nu = q\mu = y_a$  aus, so muß  $y$  mit  $x = d + s$  denselben Wert  $q\mu$  ergeben:

$$y = \frac{1}{4\omega^2} [(G + g)x + L \pm 2\sqrt{Ggx^2 + gLx}], \text{ wobei } L = q$$

$$-(d + s)G, \frac{\nu}{\mu} = M \text{ und } (d + s)g = \frac{q}{M}, \text{ somit } y_a = \frac{1}{4\omega^2} [(G + g)$$

$$(d + s) + q - (d + s)G \pm 2\sqrt{Gg(d + s)^2 + g[q - (d + s)G](d + s)}$$

$$= \frac{1}{4\omega^2} \left[ \frac{q}{M} + q \pm 2\sqrt{\frac{q^2}{M}} \right] = \frac{q}{4\omega^2} \left[ \frac{1 + M}{M} \pm 2\sqrt{\frac{1}{M}} \right]$$

$$= \frac{q}{4\omega^2} \left[ \frac{(\sqrt{1 + a^2} + a\sqrt{2})^2 + (\sqrt{1 + a^2} - a\sqrt{2})^2}{(\sqrt{1 + a^2} + a\sqrt{2})^2} \right]$$

$$\pm 2\sqrt{\frac{1 + a^2 - a\sqrt{2}}{\sqrt{1 + a^2} + a\sqrt{2}}} = \frac{2 + 6a^2 \pm 2(1 - a^2)}{(\sqrt{1 + a^2} + a\sqrt{2})^2} \cdot \frac{q}{4\omega^2}$$

$$= \frac{1 + 3a^2 + (1 - a^2)}{(\sqrt{1 + a^2} + a\sqrt{2})^2} \cdot \frac{q}{2(1 + a^2)}. \text{ Da nach Gl. 5 a) } \mu =$$

$$\frac{1}{(\sqrt{1 + a^2} + a\sqrt{2})^2} \text{ und } \omega^2 = \sqrt{(1 + a^2)^2} = 1 + a^2 \text{ ist, so}$$

$$\text{wird } y = \frac{1 + 3a^2 + (1 - a^2)}{2(1 + a^2)} q\mu = q\mu, \text{ somit ist für jede}$$

Wagerechte das größere  $y$  mit der positiven Wurzel zu nehmen.

Wenn man in Gl. VII)  $x = 0$  setzt, so ergibt sich nur ein einziger Wert von  $y_0 = \frac{L}{4\omega^2}$ , welcher in der differenzierten

$$\text{Gl. I): } Ax dx + A'y dy + Bx dx + Bx dy + C dx + D dy = 0,$$

$$\text{für } x = 0, y = y_0 \cdot \frac{dy}{dx} = -\frac{By_0 + C}{A'y_0 + D} = \frac{2Lg}{4\omega^2 L - 4\omega^2 L} =$$

$\infty$  gibt; die Hyperbel berührt also stets die Oberfläche der Bettung, welche Werte  $L$  und  $\omega$  auch immer annehmen mögen.

Hiermit ist die Lage des Hyperbelastes, der den Kraftkörper bei Inanspruchnahme der lotrechten Reibung begrenzt, vollkommen bestimmt.

Wenn man die Druckkraft in der mittleren Wagerechten einmal nach Gl. VII) berechnet, einmal zwischen den Kräften in der gefährlichen und der Null-Wagerechten geradlinig zwischenrechnet, so wird der Unterschied in der Regel so gering, daß man ohne merklichen Fehler statt der Hyperbel  $E$ , die Gerade  $E_a E_0$  benutzen kann. Dies gilt namentlich für Querswellen, deren Bettungsspannung kaum die Größe von

2 kg/qcm erreicht und deren Bettungstiefe verhältnismäßig gering ist. Bei größeren Tiefen und Belastungen ist es jedoch angezeigt, die Hyperbel zu zeichnen, weil die Gerade die Werte der Druckgrößen zu klein angibt. Dies gehört jedoch in das Gebiet der Statik der Stützmauern mit an beliebigen Stellen der Hinterschüttung befindlicher Belastung. Bei den jetzt üblichen Oberbauanordnungen kann stets das Zeichnen dieser sehr flachen Hyperbel, deren kleine Achse  $\beta$  sehr stark von der Achse  $\alpha$  verschieden ist, unterbleiben, ein wichtiges Ergebnis der vorgenommenen Festlegung der genauen Linie.

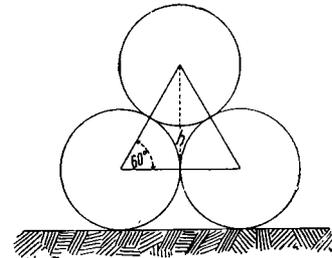
### VII. Lagerung der kleinsten Teile der Bettung.

Vor der Besprechung der Schwelleneinsenkung muß noch einiges über die Lagerung der Schottersteine vorausgeschickt werden.

Ein mit Schotter gefülltes Gefäß, dessen Eigengewicht  $T$  und dessen Rauminhalt  $V$  ist, wird abgewogen; sein ganzes Gewicht ist  $B = T + gV$ . Nun wird so lange Wasser hinzugegossen, bis alle Zwischenräume ausgefüllt erscheinen, dann ist das ganze Gewicht  $B_1 = T + gV + W$ , und man findet aus  $B_1 - B$  Inhalt oder Gewicht des hinzugegossenen Wassers  $W$ , das den Rauminhalt der Zwischenräume angibt. Rebhann erhielt aus diesem Versuche das Verhältnis  $\frac{W}{V} = 0,4$ ; die Zwischenräume betragen somit bei ungezwungen gelagertem Schotter 40 % vom ganzen Inhalte.

Bei Annahme kugelförmiger Bettungsteilchen würden sich nach Textabb. 29 ebenfalls etwa 40 % Zwischenräume er-

Abb. 29.



geben. Denn, wenn diese Kugeln vom Durchmesser  $d$  in ein würfelförmiges Gefäß von der Seitenlänge  $n \cdot d$  in der gezeichneten Lage eingebracht werden, so ist die Kugelanzahl der Grundsicht  $n^2$  und diese Schicht kommt im Würfel so oft

vor, wie  $h = d \sin 60^\circ = \frac{d}{2} \sqrt{3}$  in der Höhe  $n \cdot d$  enthalten

ist; somit enthält der Würfel  $\frac{2n^3}{\sqrt{3}}$  Kugeln vom Inhalte

$$\frac{2n^3}{\sqrt{3}} \cdot \frac{d^3 \pi}{6} = \frac{n^3 d^3 \pi^*}{3\sqrt{3}}, \text{ die Zwischenräume betragen also}$$

$$n^3 d^3 - \frac{n^3 d^3 \pi}{3\sqrt{3}} = n^3 d^3 \left( 1 - \frac{\pi}{3\sqrt{3}} \right) = 0,395 n^3 d^3.$$

Die unregelmäßigen rundlichen Bettungsteilchen sind zwar keine Kugeln, allein die Übereinstimmung vorstehenden Versuches mit der in Textabb. 29 gemachten Annahme ist so gut, daß es sich verlohnt, den betretenen Weg weiter zu verfolgen.

\*) Hierbei ist angenommen, daß auch halbe und Viertel-Kugeln zur Verfügung stehen, um den Kasten voll auszusetzen.

Die dichteste Lage der Kugeln, bei der keine weitere Verkeilung durch Belastung oder Stopfen möglich ist, zeigt Textabb. 30 in Auf- und Grundrifs. Dabei ist die Anzahl der Kugeln der Grundschrift = der Kugelanzahl in der Höhe nach Textabb. 29, somit  $= \frac{2n^2}{\sqrt{3}}$ ; nun ist  $AC = \frac{d}{2 \sin 60^\circ}$

$= \frac{d}{3} \sqrt{3}$  und  $h = \sqrt{d^2 - AC^2} = d \sqrt{\frac{2}{3}}$ , also gehen nun  $\frac{n d}{d \sqrt{\frac{2}{3}}} = n \sqrt{\frac{3}{2}}$  wagerechte Schichten in den Würfel.

Im Würfel sind demnach  $n^3 \sqrt{2}$  Kugeln vom Inhalte  $n^3 \sqrt{2} \cdot \frac{d^3 \pi}{6}$  und mit den Zwischenräumen  $n^3 d^3 \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{6} \cdot \pi\right) = 0,26 n^3 d^3$ .

Der Grundrifs in Textabb. 31 stellt eine scheinbar andere Ergebnisse liefernde mehr durch lotrechte Verkeilung der Teilchen infolge der Belastung hervorgerufene Lagerung dar. Die Anzahl der Kugeln der Grundschrift ist  $n^2$ ;  $AC = \frac{d}{2} \sqrt{2}$  und  $h = \sqrt{d^2 - \frac{d^2}{2}} = \frac{d}{2} \sqrt{2}$ , also kommt die Grundschrift in diesem Würfel  $\frac{n d}{2 \sqrt{2}} = n \sqrt{2}$  mal vor, die Kugelanzahl

ist  $n^3 \sqrt{2}$ , die Zwischenräume sind dem der Textabb. 30 also gleich, Textabb. 30 und 31 stellen die engste mögliche Lage-

Abb. 30.

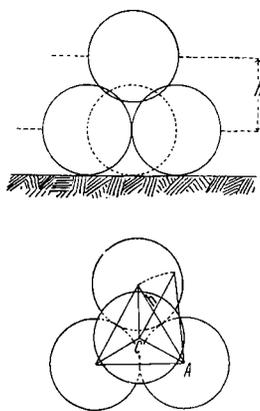
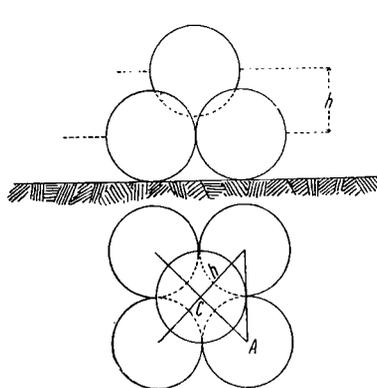


Abb. 31.



rung von Kugeln dar. Ungezwungen gelagerter Schotter enthielt 40% Zwischenraum, wie die Lagerung der Kugeln nach Textabb. 29, diese Lagerung läßt sich durch Verschieben der Kugeln auf Textabb. 30 oder 31 mit dem Bruchwinkel  $60^\circ$  und 26% Zwischenraum bringen, also ist der Schlufs gerechtfertigt, daß man ungezwungen gelagerten Schotter durch Stopfen und Belasten um  $40 - 26 = 14\%$  verdichten kann.

Durch die Stopfarbeit, bei der die 4 kg schwere Stopfhau aus etwa 50 cm Fallhöhe auf kleine Flächen wirkt, wird in Bezug auf die Verdichtung eine stärkere Wirkung erzielt, als durch die Bettungsspannung von 1 bis 2 kg/qcm mit höchstens 0,5 cm Arbeitshöhe. Demnach wurde die Stopfziffer  $k = 1,1$  angenommen.

Dadurch verliert der ursprüngliche Raum schon 10%,

4% bleiben für die Einsenkung unter der Belastung. Sind auch diese 4% aufgezehrt, so kann eine nochmalige Steigerung der Belastung keine weitere sogenannte elastische Einsenkung hervorrufen, da die Teilchen sich in der engst möglichen Lagerung befinden.

Wie das Gesagte zeigt, ist diese Feststellung nur näherungsweise richtig; genaue Werte für verschiedene Bettungsarten kann man nur durch Versuche im Einzelfalle erhalten.

Wenn man das lotrechte Spiel der Schwellen unter den Rädern betrachtet, so kommt man allerdings in Versuchung, diese Einsenkungen als elastische zu bezeichnen. Dennoch können diese Bewegungen nicht als elastisch bezeichnet werden, weil die Elastizität des Gesteines nur eine ganz untergeordnete Rolle spielt. In der Tat würde die bloß von elastischer Zusammendrückung herrührende Einsenkung bei 25 cm unter der Schwelle tiefer Bettung, 1,8 kg/qcm Bettungsspannung und der Elastizitätszahl 300000 kg/qcm nur  $\frac{25 \cdot 1,8}{300000} = 0,00015$  cm betragen, also nicht sichtbar sein. Den bisher elastisch genannten Einsenkungen müssen daher andere nicht elastische Vorgänge zu Grunde liegen.

An der Grenzfläche der beiden Mittel müssen die Bettungsteilchen, die durch die Stopfarbeit wagerecht verkeilt werden, ihre kleinsten Achsen mehr oder weniger wagerecht stellen (Textabb. 1).

Wird nun die Belastung so gesteigert, daß das Gleichgewicht nur mit Hilfe der lotrechten Reibung hergestellt werden kann, so muß bei dieser, jetzt lotrechten Verkeilung die gegenteilige Bewegung der Steine eintreten. Dabei wird die lotrechte Reibung in den Grenzflächen dem Bestreben der seitlichen Verdrängung und Hebung entgegnetreten und so eine Drehung der Steine um diese Berührungsfächen bewirken, um so mehr, als in den Mittelgrenzen jetzt unter dem Winkel  $\varrho^*$  geneigte schiefe Drücke und Widerstände vorhanden sind.

Diese Drehung der Steine in den Grenzflächen und im Innern der belasteten Bettung ist die wahre Ursache der Einsenkung, die deshalb Lagerung-Senkung genannt werden soll, während die Bezeichnung »elastische Einsenkung« nur für den Fall beibehalten wird, daß bereits die engste Lagerung der Schottersteine eingetreten ist.

Da aber die lotrechte Reibung nur bis zu einer gewissen Tiefe  $T$  (Textabb. 27) zwischen der gefährlichen und der Null-Wagerechten wirken kann, so wird bei noch größerer Bettungstiefe auch keine größere Einsenkung eintreten können, als sie bei Vorhandensein der Tiefe  $T$ , der »Reibungstiefe«, beträgt. Unterhalb der Null-Wagerechten wirkt eben die lotrechte Reibung nicht mehr, weil die durch die Stopfarbeit bereits wagerecht gestellten Teilchen nur von wagerechten Kräften und Widerständen beeinflusst werden, und keine Veranlassung haben, sich um die Berührungsfächen zu drehen.

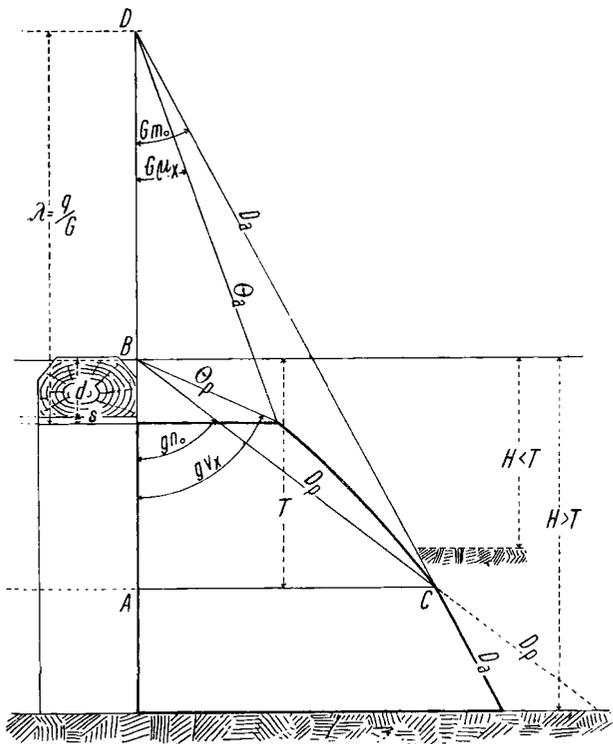
Die Lagerungsenkung wird daher nur innerhalb der Tiefe  $T - d$  (Textabb. 27) stattfinden, und zwar werden sich die Verdrehungen von Stein zu Stein fortpflanzen, da ja keine Hohlräume auftreten können. Dabei tritt in den oberen Schich-

\*) Abschnitt V, Seite 273.

ten wegen  $\varrho'_1 < \varrho'_2$  das Bestreben der Verdrehung stärker auf, wird jedoch durch die Berührung mit den unteren, sich wegen  $\varrho'_2 < \varrho'_1$  weniger drehenden Steinen etwas eingeschränkt, während die  $\varrho'_2$  entsprechende Drehung ein wenig vergrößert wird.

Durch diese Ausgleichung wird sich also eine mittlere Lagerungsenkung in der ganzen Tiefe  $T - d$  (Textabb. 32)

Abb. 32.



herausstellen, die so lange von der Tiefe  $H - d$  abhängt, wie  $(H - d) \gg (T - d)$  bleibt.

Die Einsenkung der Schwelle setzt sich nun, abgesehen von der zu vernachlässigenden elastischen, aus drei Teilen zusammen:

1. der Lagerungsenkung ohne seitliche Verdrängung,
2. der bleibenden Senkung mit seitlicher Verdrängung und etwaiger Zermalmung des Gesteines,
3. der Senkung des Untergrundes.

Die bleibende Senkung soll vermieden werden und hat nur für den Grenz-Druck Bedeutung. Die Senkung des Untergrundes darf dagegen bei Beobachtungen nicht außer Acht gelassen werden\*), weil sie ja bei erdiger Beschaffenheit denselben Gesichtspunkten folgt, wie die zusammenhaltlose Bettung. Durch Hinzutritt der Bindekraft, der die gefährliche Wagerechte sehr tief legt, und zwar bis unter die sogenannte Kohäsionshöhe, wird jedoch diese Senkung stets bedeutend vermindert. Auch kann die Senkung der Unterbaukrone fast ganz ausgeschaltet werden, wenn man die Beobachtungen auf felsigem Untergrunde anstellt. Aus diesen Gründen wird die Erörterung auf die Besprechung der Lagerungsenkung beschränkt.

Wäre das Schotterbett gemäß  $k = 1$  gar nicht gestopft, so müßte die Bettung unter der Schwelle durch die Bettung-

\*) Siehe Bastian, Organ 1906, S. 269.

spannung allein um die vollen 14 % bis zur engsten Lagerung verdichtet werden. In diesem Falle werden die Einsenkungen und die Anstrengungen des Oberbaues mit Ausnahme der Schwellen bedeutend größer. Die Unterstopfung hat also vornehmlich den Zweck, die Einsenkungen und damit auch die Beanspruchung der Schienen und die Rückwirkungen auf die Fahrzeuge auf ein zulässiges Maß einzuschränken. Die Schwelle wird hierbei bei geringeren Einsenkungen etwas mehr beansprucht, während bei der Schiene gerade das Gegenteil eintritt. Da der Schiene als wichtigstem Teil der Vorrang gebührt, und weil die Schwelle einerseits noch lange nicht an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt ist, andererseits aber ihre tatsächlich noch viel geringere Beanspruchung später nachgewiesen wird, so kann wohl die Einschränkung dieser Einsenkungen auf das unvermeidlichste Maß als anzustrebendes Ziel hingestellt werden.

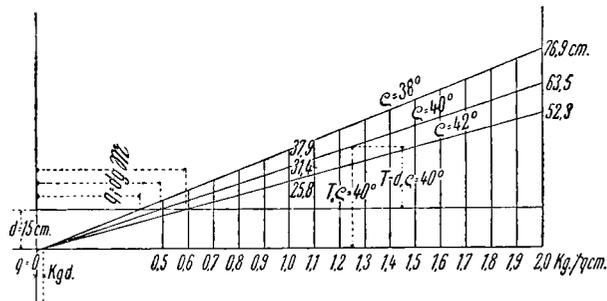
### VIII. Die Reibungstiefe und ihr Einfluß auf die Einsenkung der Schwellen.

Die Größe der Reibungstiefe  $T$  ergibt sich (Textabb. 32)\*) aus der Bestimmung und Gleichsetzung der gemeinschaftlichen Grundlinie  $AC$  der beiden Dreiecke  $ABC$  und  $ADC$ :  $AC = T \cdot g \cdot n = (T - d - s + \lambda) \cdot G \cdot m$ ; nun ist (S. 276)  $k \cdot g \cdot (T - d) = (T - d - s) \cdot G$  und  $\lambda = \frac{q}{G}$ , also  $T \cdot g \cdot n = k \cdot g \cdot (T - d) \cdot m + q \cdot m$  und wenn  $\frac{n}{m}$  wieder  $M$  gesetzt wird:

$$\text{Gl. 14) } T \cdot g \cdot M = k \cdot g \cdot (T - d) + q \text{ oder } T = \frac{q - k \cdot g \cdot d}{g \cdot (M - k)}$$

In Textabb. 33 wurde diese geradlinige Beziehung zwischen

Abb. 33.



$T$  und  $q$  mit Hilfe der in Zusammenstellung I enthaltenen Werte für  $d = 15 \text{ cm}$  und die drei Reibungswinkel  $\varrho = 38^\circ, 40^\circ$  und  $42^\circ$  dargestellt. In Zusammenstellung III sind die Werte  $T$  vom ersten Grenzdruck  $q = 0,5$  bis  $q_1 = 2 \text{ kg/qcm}$  geordnet angegeben. Auch kann aus Textabb. 33 die für die Lagerungsenkung maßgebende Tiefe  $T - d$  abgegriffen werden. Die Darstellungen zeigen, daß  $T$  bei zunehmendem natürlichem

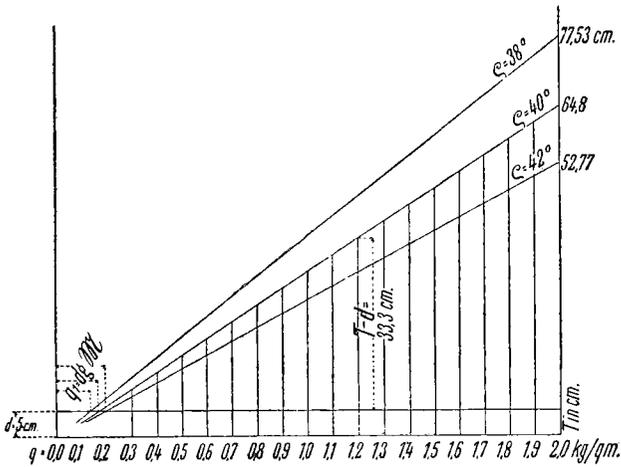
\*) Die Fußzeichen von  $m_0$  und  $n_0$ , die in den Rechnungen fortgelassen sind, deuten an, daß die Oberfläche wagerecht ist. Da in der gefährlichen Wagerechten nicht gerade der Grenzwert  $q_2 \cdot \mu_0 = (d + s) \cdot g \cdot \mu_0$  wo in  $\mu_0$  und  $\mu_0 \dots a' = a$  ist, eintreten muß, erhielten die entsprechenden Werte das Zeichen  $\mu_x$  und  $\mu_x$ , um anzudeuten, daß in diesen auch  $a' < a$  sein kann.

Zusammenstellung III.  
Reibungstiefe für hölzerne Querswellen.  
Schwelleneingriff d = 15 cm.

e =	38°	40°	42°
Bettungsspannung kg/qcm	T in cm =		
0,5	18,5	—	—
0,6	22,4	18,5	—
0,7	26,3	21,7	17,9
0,8	30,1	21,9	20,5
0,9	34,0	28,1	23,2
1,0	37,9	31,4	25,8
1,1	41,8	34,6	28,5
1,2	45,7	37,8	31,1
1,3	49,6	41,0	33,8
1,4	53,5	44,2	36,4
1,5	57,4	47,4	39,1
1,6	61,3	50,7	41,7
1,7	65,2	53,9	44,4
1,8	69,1	57,1	47,0
1,9	73,0	60,3	49,7
2,0	76,9	63,5	52,3

Böschungswinkel kleiner und bei wachsender Bettungsspannung größer wird. In Textabb. 34 sind die Reibungstiefen für

Abb. 34.



d = 5 cm dargestellt. Die Vergleichung mit Textabb. 33 ergibt nur geringe Unterschiede, weil der Einfluss von d in der kleinen Größe d g M gering ist.

Wird Gl. 14) auf T — d umgeformt, so ist

$$\text{Gl. 14a) } \dots \dots T - d = \frac{q - d g M}{g (M - k)},$$

worin das Glied d g M den auf S. 272 zu Textabb. 21 besprochenen ersten Grenzwert q<sub>1</sub>, Zusammenstellung I, darstellt. Ist nun in Gl. 14a) q = q<sub>1</sub> = d g M, so wird T — d = 0, in diesem Falle ist also unter den Schwellen keine Reibungstiefe vorhanden, demnach kann auch keine Lagerungssenkung eintreten. Diese beginnt erst, wenn q > q<sub>1</sub> ist. Sie wird als Vereinigung aller Drehungen der Teilchen an der Mittelgrenze und im Innern der belasteten Bettung nach Abschnitt VII in geradem Verhältnisse zur Bettungstiefe unter den Schwellen H — d stehen, aber nur solange H — d < T — d ist. Der

größte Wert der Senkung tritt bei der Bettungsspannung ein, bei der H = T wird. Für H > T bleibt der Höchstwert der Senkung unverändert, weil unter der Nullwagerechten keine lotrechte Reibung, also keine Drehung der Teilchen auftreten kann. Die bisherige Bettungsgleichung q = c's erhält demnach die Form q — d g M = C s, worin aber die Bettungsziffer C eine andere Bedeutung hat.

Die hier eingeführte innerhalb gewisser Grenzen veränderliche Bettungsziffer C\*) kann durch einen Vergleich aus der Elastizitätslehre erläutert werden. Wird ein lotrechter Stab vom Querschnitte 1 und der Länge L durch eine Kraft P lotrecht gedrückt und an jeder Ausbiegung verhindert, so ist seine Verkürzung bei der Elastizitätszahl E aus  $\frac{P}{E} = \frac{x}{L}$  oder  $P = \left(\frac{E}{L}\right) x$  zu entnehmen.

In dieser Gleichung spielt E:L dieselbe Rolle wie C in Gl. 15) . . . . . q — d g M = C s.

Beide Größen, E:L und C, sind unveränderlich, so lange in der Stabgleichung L und in Gl. 15) die Tiefe H — d unverändert bleiben; sie ändern sich, wenn L oder H — d, letzteres aber nur innerhalb der Grenzen von 0 bis T — d, andere Werte annehmen.

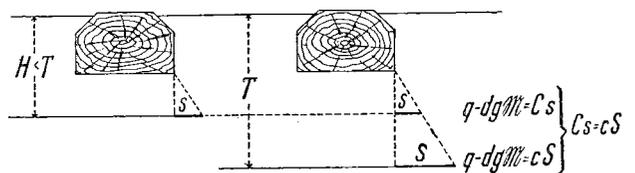
Hierbei ist die Gültigkeit der Stabgleichung durch den Wert von P an der Elastizitätsgrenze und die der Gl. 15) durch den Wert des Überdruckes q — d g M begrenzt, der die engste Lagerung der Bettungsteilchen hervorruft.

Die Bettungsziffer C ist bislang wenig sicher und im Einzelfalle überwiegend durch Schätzung festgelegt. Aus den Versuchen der Reichseisenbahnen wurden die Ziffern 3 und 8 entnommen\*\*), Winkler\*\*\*) gab 4 bis 45, im Mittel 9 an, alle diese Zahlen sind aber nicht das Ergebnis einwandfreier Feststellung.

Bei dem Vergleiche der Gleichung der Bettungsziffer mit der der elastischen Längenänderung eines Stabes ist jedoch daran zu erinnern, daß erstere nicht aus Elastizitätsverhältnissen, sondern im wesentlichen durch Lageänderungen der belasteten Bettungsteilchen entstanden ist.

In Textabb. 35 wirkt dieselbe Kraft q einmal auf eine

Abb. 35.



Bettung von der Tiefe H, das andere Mal auf eine solche von der Tiefe T. Am Ende des VII. Abschnittes ist erklärt,

\*) Daß die Bettungsziffer mit der Tiefe der Bettung abnimmt, geht schon aus den Versuchen der deutschen Reichseisenbahnen hervor, bei denen man unter sonst gleichen Verhältnissen bei Vorhandensein einer Packlage c' = 8, ohne diese c' = 3 fand.

\*\*) Organ 1899, S. 141, 194, 227.

\*\*\*) Siehe Winkler, E. Dr. Der Eisenbahn-Oberbau. Prag 1875. § 196.

warum bei Vorhandensein der vollen Reibungstiefe  $T$  die Einsenkung  $S$  größer sein muß, als ihr Wert  $s$  bei der Bettungstiefe  $H < T$ .

Im ersten Falle besteht die Gleichung  $q - d g \mathfrak{M} = C s$ , im zweiten  $q - d g \mathfrak{M} = c S$ , woraus  $C s = c S$  folgt.

Hierin sind  $c$  und  $S$  unveränderliche Größen, die auch bei weiterer Senkung der Unterbaukronen auf  $H > T$  so lange weiter bestehen, als  $q$  unverändert bleibt. Wenn die dem Drucke  $q$  entsprechende Bettungstiefe  $T$  beibehalten wird und nun  $q$  auf  $Q$  zunimmt, so bleibt  $c$  auch unveränderlich,\*) wohl aber wird  $S$  größer:  $Q = c S'$ , und zwar bis  $Q$  den Wert  $\varepsilon$  erreicht, der die engste Lagerung der Bettungsteilchen erzeugt. Wird auch der Wert  $\varepsilon$  überschritten, so erfolgt keine weitere Einsenkung.

Nun ist zu untersuchen, wie sich  $s$  für verschiedene Bettungsstärken von  $H - d = 0$  bis  $T$  ändert. Kennt man den Verlauf dieser Änderung, so ist damit auch das Gesetz der Änderung von  $C$  gegeben. Nach dem im VII. Abschnitte Gesagten suchen sich die Teilchen rechtwinkelig auf die unter dem Reibungswinkel  $\varrho'$  gegen die Wagerechte geneigte Druckkraft  $\vartheta_x$  zu stellen. Da  $\varrho'$  von der gefährlichen Wagerechten bis zur Reibungstiefe von  $\varrho'$  bis  $0$  abnimmt, so ist diese Drehung in den tieferen Schichten geringer als in den höheren. Die Veränderung von  $s$  bei gleichbleibendem  $q$  wird daher nach einer Linie ähnlich der im V. Abschnitte gefundenen Hyperbel  $E$  stattfinden. Da jedoch durch den Zusammenhalt der geprefsten Bettungsteilchen die in höheren Schichten liegenden wegen stärkerer Drehung die Drehung der tieferen vergrößern, während diese wieder auf jene zurückhaltend wirken, so wird diese Linie so flach verlaufen, daß man ohne merkliche Fehler  $\frac{s}{S} = \frac{H - d}{T - d}$  und weil  $C s = c S$  ist,  $\frac{s}{S} = \frac{c}{C} = \frac{H - d}{T - d}$  setzen kann.

Nach Abschnitt VII kann die unterstopfte Bettung nur noch um 4% verdichtet werden, also kann man die Belastung unter Gültigkeit von Gl. 15) nur soweit steigern, daß sich  $T - d$  um  $\frac{T - d}{25}$  verkürzt. Diese Bettungsspannung,  $\varepsilon$  genannt, entspricht somit der Gleichung  $\varepsilon - d g \mathfrak{M} = c \frac{T - d}{25}$ . Vom Eintritte des Wertes  $\varepsilon$  an bleibt bei weiterer Steigerung der Bettungsspannung die Einsenkung  $\frac{T - d}{25}$  unverändert; hierüber folgt näheres im IX. Abschnitte.

Somit wird in der Tiefe  $H \dots q - d g \mathfrak{M} = C s$

und in der Tiefe  $T \dots \varepsilon - d g \mathfrak{M} = c \frac{T - d}{25}$ ,

woraus  $\frac{q - d g \mathfrak{M}}{\varepsilon - d g \mathfrak{M}} = \frac{C}{c \frac{T - d}{25}} \cdot s$  und weil  $c (T - d) =$

$C (H - d)$  ist

Gl. 16)  $\dots q - d g \mathfrak{M} = \frac{25 (\varepsilon - d g \mathfrak{M})}{H - d} \cdot s$

\*) NB. Wenn die Bettungshöhe  $H$  für einen bestimmten Fall gleich der Reibungstiefe  $T_{kl}$  der kleinsten auftretenden Bettungsspannung, oder kleiner ist,  $H < T_{kl}$ , so kann für die Berechnung dieser Schwelle überall  $C$  als unveränderlich angenommen werden.

folgt, die Bettungsziffer wird demnach durch  $C = \frac{25 (\varepsilon - d g \mathfrak{M})}{H - d}$

festgelegt. Die Größe  $\varepsilon - d g \mathfrak{M}$  vertritt hierbei die Stelle der Elastizitätszahl  $E$  der Stabgleichung und wird hier als Senkungszahl eingeführt.

Die von allen Schriftstellern aus Winklers grundlegender Annahme übernommene Gleichung  $q' = c' s$  ist also aus folgenden Gründen unrichtig:

1) Die Gleichung  $q' = c' s$  ist eine reine Elastizitätsgleichung, weil für  $q' = 0$  auch  $s = 0$  wird, was mit der Tatsache im Widerspruche steht, daß eine bis zum Grenzwerte  $q_1 = d g \mathfrak{M}$  anwachsende Belastung keine Einsenkung in das Schotterbett hervorruft, und daß ein  $q' < q_1$  schon eine meßbare Senkung erzeugen müßte, während man grade die Spurbildung, also Senkung und Verdrängung der Bettung, auf Landstraßen seit jeher durch eine Pflasterung mit hinreichendem Eingriffe  $d$  zu verhindern suchte.\*)

2) Die Bettungsziffer  $c'$  hat keine feststehenden Werte, wie man aus den Versuchen der Reichseisenbahnen folgern zu können glaubte. Sie ändert sich vielmehr mit der Tiefe bis zu deren größtem Wert,  $T - d$  unter der Schwelle, und sie muß für hölzerne Querschwellen bei  $d = 15 \text{ cm}$  unter sonst gleichen Verhältnissen einen andern Wert haben, als für eiserne mit kleinerem Eingriffe  $d$ , gleichgültig, ob letztere Lang- oder Querschwellen sind. Bei den Versuchen wurden aber die Ergebnisse des Holzschwellenoberbaues mit den über Hilfs-Oberbau erhaltenen durcheinander gemengt, und so unrichtige Ergebnisse erzielt.

Wenn wir nun die für hölzerne Querschwellen mit  $d = 15 \text{ cm}$  und  $H - d = 25 \text{ cm}$  erhaltenen Werte der Bettungsziffer  $c$  aus der unrichtigen Gleichung  $q = c' s$  in die richtige  $q - d g \mathfrak{M} = C s$  setzen, so ergibt sich  $C = c' - \frac{d g \mathfrak{M}}{s}$ , die nach dem bisherigen Verfahren erhaltenen Werte der Bettungsziffer sind also um  $\frac{d g \mathfrak{M}}{s}$  größer, als die theoretisch einwandfreieren Werte  $C$ .

## IX. Die Grenzbelastungen.

Im IV. Abschnitte wurde der in der gefährlichen Wagerechten auftretende erste Grenzwert  $q_1 = d g \mathfrak{M}$  besprochen. Da er keine Lagerungsenkung hervorbringen kann, hat er nur für die Bettungsgleichung 16) Bedeutung.

Zur Erklärung der übrigen möglichen Grenzwerte dient Textabb. 35 bei der Annahme, daß der die Senkung erzeugende Überdruck  $q - d g \mathfrak{M}$  so gesteigert wird, daß die vorhandene Bettungstärke grade gleich der Reibungstiefe  $T$

\*) In Wahrheit kann auch  $q_1 = d g \mathfrak{M}$  bei endlicher Korngröße nicht  $= 0$  werden, weil das kleinste  $d$  nicht  $= 0$ , sondern der Eingriffstiefe der obersten Schotterschicht gleich zu setzen ist. Hat die Bettung, wie beispielsweise Sand, eine sehr kleine Korngröße, so überzeugt man sich leicht, daß schon ein geringes Gewicht  $q'$  ausreicht, um, auf die Oberfläche gelegt, schon eine sichtbare bleibende Einsenkung hervorzurufen. Hier wird eben ein kleiner Eingriff  $d$  durch wahrnehmbare Verdrängung erzeugt, um der Gleichgewichtsbedingung  $q = d g' \mathfrak{M}'$  zu entsprechen;  $g'$  und  $\mathfrak{M}'$  sind dabei mit den für Sand zu ermittelnden Werten einzusetzen.

ist. Bei weiterm Anwachsen dieses Druckes können nun drei Fälle eintreten:

a) Die gefährliche Wagerechte senkt sich allmähig, bis der in ihr auftretende Seitendruck  $q\mu$  gleich dem größtmöglichen Widerstande  $(d + s)g\nu$  wird (Textabb. 26). Bei der weitem Drucksteigerung tritt eine bleibende Senkung und Abschiebung mit Furchenbildung ein (Textabb. 22 und 23). Dieser Druck heiße Grenzwert  $q_2$ , er folgt aus  $q_2\mu = (d + s)g\nu$  und weil  $\frac{\nu}{\mu} = M$  ist

Gl. 17) . . . . .  $q_2 = (d + s)gM$ .

b) Bevor  $q_2$  eintritt, wird ein Grenzwert  $\varepsilon$  erreicht, von dem ab die erreichte Lagerungsenkung unveränderlich bleibt, weil die Bettungsteilchen ihre engstmögliche Lage erreicht haben; nach Abschnitt VIII ergibt sich dieser Wert aus

Gl. 18) . . . . .  $\varepsilon - dgM = c \frac{T - d}{25}$ .

Sobald  $\varepsilon$  eintreten kann, ist die Möglichkeit eines Grenzwertes  $q_2$  ausgeschlossen und umgekehrt kann  $\varepsilon$  in einem bestimmten Falle nicht eintreten, wenn schon vorher  $q_2 < \varepsilon$  die Abschiebung eingeleitet hat.

c) Nach Eintritt der Bettungsspannung  $\varepsilon$  kann diese derart gesteigert werden, daß der Seitendruck bei ungeänderter Lage der gefährlichen Wagerechten eine Größe  $\varepsilon'$  erreicht, die bei geringster Steigerung eine bleibende Senkung, Abschiebung und Furchenbildung erzeugt. Dieser vierte Grenzwert ist demnach:

Gl. 19) . . . . .  $\varepsilon' = \left(d + \frac{T - d}{25}\right)gM$

unabhängig von der Bettungsziffer; er kann nur dann eintreten, wenn vorher  $\varepsilon$  eingetreten ist.

Von den vier Grenzwerten  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $\varepsilon$  und  $\varepsilon'$  sind die drei letzteren deshalb wichtig, weil die geringste Überschreitung von  $q_2$  und  $\varepsilon'$  bleibende Gleissenkungen verursacht und weil  $\varepsilon$  die Gültigkeit der Bettungsgleichung beendet.

Um über die wichtige Bedeutung des Grenzwertes  $\varepsilon$  klar zu werden, dient folgende Überlegung. Die Senkung  $s$  wird durch eine Kraft  $q$  erzeugt, die bei der Annäherung des Rades von 0 bis zum größten Werte  $q$  bei der Stellung auf der Schwellenachse anwächst, dann wieder mit der Entfernung des Rades bis 0 abnimmt. Beim allmählichen Anwachsen wird daher der die Senkung verursachende Bettungsdruck eine Arbeit leisten, die durch  $\int_0^s (q - dgM) \delta s$  ausgedrückt wird. Da aber früher  $q - dgM = \frac{25(\varepsilon - dgM)}{H - d} \cdot s$  nachgewiesen ist, so wird, wenn  $\frac{25(\varepsilon - dgM)}{H - d}$  die Bezeichnung  $\omega$  erhält,  $q - dgM = \omega \cdot s$  und  $\int_0^s (q - dgM) \delta s = \omega \int_0^s s \delta s = \frac{\omega s^2}{2}$  = der Senkungsarbeit des Bettungsüberdruckes.

Diese Arbeit schwingt also zwischen den Grenzen 0,  $\frac{\omega s^2}{2}$ , 0. Ist nun  $q > \varepsilon$  so muß die Arbeit schon bei Erreichung der dem Eintritte des Wertes  $\varepsilon$  entsprechenden Senkung  $\sigma < s$

ihren höchsten Wert erreichen. Die Senkungsarbeit kann daher nur den Wert  $\int_0^s [\varepsilon - dgM] \delta \sigma = \omega \int_0^s \sigma \delta \sigma = \frac{\omega \sigma^2}{2}$  erreichen, während zur vollen Ausschwingung der Kraftleistung des Druckes  $q$  die Arbeit  $\frac{\omega s^2}{2}$  erforderlich wäre. Der Unterschied  $\omega \left(\frac{s^2}{2} - \frac{\sigma^2}{2}\right)$  kann daher nur von der rückwirkenden Festigkeit des Bettungsgesteines aufgenommen werden und muß sich wegen der oben geschilderten Unterbrechung der Ausschwingung der Kraftleistung als Stoß auf das Rad äußern.

Obwohl nun stets  $\varepsilon' > \varepsilon$  sein muß, bleibt nach den obigen Ausdrücken das Verhältnis zwischen  $q_2$  und  $\varepsilon$  zunächst unbestimmt; die nachfolgende Untersuchung löst diesen Zweifel.

Zu diesem Zwecke sollen  $q_2$  und  $\varepsilon$  als f(C) dargestellt werden. Wenn  $s$  aus der Bettungsgleichung 15)  $q_2 - dgM = Cs$  in die Gleichung  $q_2 = (d + s)gM$  eingesetzt wird, so ergibt sich:

Gl. 20) . . . . .  $q_2 = dgM \frac{C - gM}{C - gM}$  oder

$Cq_2 - gMq_2 - dgMC + dg^2M = 0$ ; wird  $C = x$ ,  $q_2 = y$  gesetzt, so entsteht

Gl. 20 a) . . . . .  $xy - gMy - dgMx + dg^2M = 0$ ,

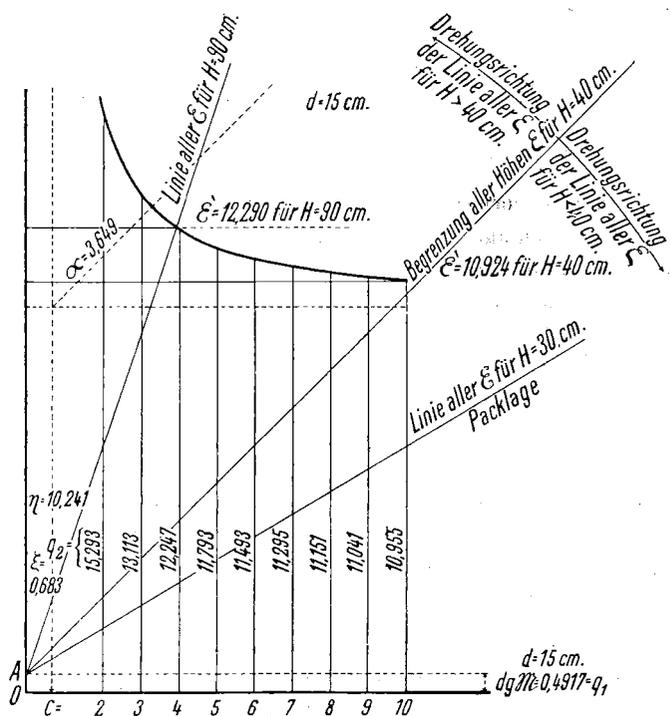
die Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel bezogen auf das zu ihren Asymptoten gleichgerichtete Achsenkreuz. Denn wenn man den Ursprung der Asymptotengleichung der gleichseitigen

Hyperbel:  $x_1 y_1 = \frac{a^2}{2}$  um die Größen  $\xi$  und  $\eta$  verschiebt, also  $\left\{ \begin{matrix} x_1 = x - \xi \\ y_1 = y - \eta \end{matrix} \right\}$  (Textabb. 36) setzt, so erhält man die Gleichung

$xy - \eta x - \xi y + \left(\xi\eta - \frac{a^2}{2}\right) = 0$ ,

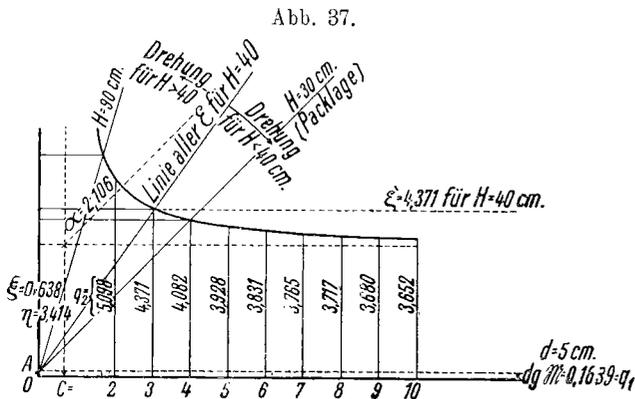
die der Gleichung 20 a) entspricht; demnach ist:

Abb. 36.



$\eta = dgM$ ,  $\xi = gM$  und  $a = \sqrt{2 dg^2 M (M - \mathfrak{M})}$ , womit die Hyperbel bestimmt ist.

In Textabb. 36 wurde diese Hyperbel für hölzerne Querschwellen  $d = 15$  cm und in Textabb. 37 für eiserne Schwellen



$d = 5$  cm unter Zuhilfenahme der Zusammenstellungen I und II und unter Annahme eines Reibungswinkels von  $\varrho = 40^\circ$  gezeichnet.

In beiden Textabbildungen erscheint weiter die von A ausgehende Gerade  $\varepsilon = dgM + c \frac{T-d}{25}$ , die man auch  $\varepsilon = dgM + C \cdot \frac{H-d}{25}$  schreiben kann, weil nach Abschnitt VIII  $c(T-d) = C(H-d)$  ist. Die Tangente des Neigungswinkels dieser Geraden gegen die Längsachse  $\frac{H-d}{25}$  ändert sich mit der Bettungstiefe H. Ihre Höhen stellen den Grenzwert  $\varepsilon$  dar, der bekanntlich einer Art Elastizitätsgrenze für Druck entspricht.

Die der  $f(\varepsilon')$  entsprechende Linie erscheint als eine zur X-Achse gleichlaufende Linie, die wegen  $\varepsilon' = dgM + \frac{T-d}{25} gM$  stets höher als  $\eta = dgM$ , also in allen Fällen über der X-Asymptote liegt und von der Bettungsziffer unabhängig ist.

Wenn in a)  $s = \frac{T-d}{25}$  wird, so geht  $q_2$  in  $\varepsilon'$  über, da aber  $\varepsilon'$  ohne vorheriges Eintreten von  $\varepsilon$  nicht stattfinden kann, ein tatsächlich auftretendes  $\varepsilon$  aber wieder  $q_2$  unmöglich macht, so folgt daraus, daß sich diese drei Linien, die Hyperbel, die Linie  $\varepsilon'$  und die Linie  $\varepsilon$ , in einem Punkte schneiden müssen.

Die Linie der Beziehung  $\varepsilon = dgM + c \frac{T-d}{25}$ , die  $\varepsilon$ -Linie, teilt also die Hyperbel in zwei Äste: in einen linken, wo wegen  $\varepsilon < \varepsilon' < q_2$  das Eintreten von  $q_2$  unmöglich wird und wo die Bettungsgleichung Gl. 15) nur bis zur Erreichung der Druckgröße  $\varepsilon$  gilt, und in einen rechten, wo immer  $q_2 > \varepsilon$  ist,  $\varepsilon$  und folglich  $\varepsilon'$  stets ausgeschlossen sind, und die Bettungsgleichung in vollem Umfange in Geltung bleibt. Die Linie  $\varepsilon'$  ist daher nur im linken Aste eingezeichnet.

In den Textabb. 36 und 37 sind alle Grenzwerte als abhängige der Bettungsziffer eingezeichnet.  $H = 40$  cm wird als Regelfall betrachtet. Wird H kleiner, so dreht sich die

$\varepsilon$ -Linie nach rechts, und die Bettungsziffern schreiten nach rechts vor; bei zunehmendem H gilt das Gegenteil.

Aus diesen Figuren erhellt:

**A. Hölzerne Querschwellen,  $d = 15$  cm.** (Textabb. 36.)

a) Bettungstiefe  $H = 40$  cm. Hier gilt der linke Ast der Hyperbel für die Bettungsziffern von 2 bis 10,  $q_2$  ist ausgeschlossen.

Für  $C = 3, 5$  oder  $8$  wird die Bettungsgleichung bei Erreichung einer Bettungsspannung von  $\varepsilon = 3,49, 5,49$  und  $8,49$  kg/qcm außer Gültigkeit gesetzt;  $\varepsilon'$  ist unveränderlich  $= 10,924$  kg/qcm.

b) Bettungstiefe  $H = 90$  cm. Von  $C = 2$  bis  $3,93$  ist der linke, für größere Bettungsziffern der rechte Hyperbelast in Betracht zu ziehen. Da aber die Bettungsziffer mit zunehmendem H kleiner wird, so soll sie hier auf die Größen 2 bis 5 beschränkt werden. Man erhält für

$$C = 3 \dots \varepsilon = dgM + c \frac{T-d}{25} = 0,4917 + 3 \frac{9-15}{25} = 6,4917 \text{ kg/qcm und } \varepsilon' = 12,290 \text{ kg/qcm};$$

$$C = 5 \dots q_2 = 11,783 \text{ kg/qcm.}$$

c) Bettungstiefe  $H = 30$  cm. Dieser Fall gilt auch für eine 10 cm Packlage im üblichen Schotterbette von 40 cm ganzer Tiefe. Hier gilt nur der linke Ast, und wegen der geringern Tiefe sind die höheren Bettungsziffern maßgebend. Für  $C = 5, 7$  oder  $9$  kg/qcm wird  $\varepsilon = 3,4917, 4,6917$  und  $5,8917$  kg/qcm,  $\varepsilon' = \left( d + \frac{T-d}{25} \right) gM = \eta + \frac{30-15}{25} \xi = 10,241 + 0,6 \cdot 0,683 = 10,65$  kg/qcm.

**B. Eiserne Schwellen,  $d = 5$  cm.** (Textabb. 37.)

a) Bettungstiefe  $H = 40$  cm. Der Fall liegt ähnlich wie A<sub>b</sub>. Für  $C = 3$  wird  $q_2 = \varepsilon = \varepsilon' = 4,371$  kg/qcm, für  $C = 5$  folgt  $q_2 = 3,928$  kg/qcm.

b) Bettungstiefe  $H = 90$  cm. Nur der rechte Hyperbelast gilt.  $C = 3$  und  $4$  kg/qcm liefert  $q_2 = 4,371$  und  $4,082$  kg/qcm.

c) Bettungstiefe  $H = 30$  cm, übliche Bettung mit 10 cm Packlage. Entgegen dem Falle A<sub>c</sub> gilt hier wegen der größern Bettungsziffern vorwiegend der rechte Hyperbelast  $C = 5, 7$  und  $8$  kg/qcm entspricht  $q_2 = 3,928, 3,765$  und  $3,717$  kg/qcm.

Durch Verminderung des Eingriffes d der Schwelle werden also die Grenzwerte kleiner. Da jedoch die bei den ungünstigsten Verhältnissen auftretenden Bettungsspannungen kaum eine Größe von  $1,9$  kg/qcm erreichen\*), während die für bleibende Senkung und Furchenbildung maßgebenden Grenzwerte  $\varepsilon'$  und  $q_2$  niemals kleiner werden können, als die Asymptoten-Höhen  $\eta$  der Hyperbeln, im Falle A also nie  $10,241$  kg/qcm und im Falle B nie  $3,414$  kg/qcm unterschreiten, so können diese Grenzwerte unter gewöhnlichen Verhältnissen und bei den derzeitigen Raddrücken nicht leicht eintreten. Höchstens könnte dies im Falle B bei einseitigen Belastungen durch die Schwankungen der Fahrzeuge und beim Befahren ungleichmäßig unterkrampter Gleisstellen vorkommen. Dasselbe gilt auch von  $\varepsilon$ , dessen Auf-

\*) W. Ast: Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Materiale. Wien 1892, Beilage 1.

treten stets einen Stofs auf die Fahrzeuge bewirken mufs, sobald die Bettungsspannung von 0 beginnend über  $\varepsilon$  hinaus wächst.

Dieses Bild der Grenzwerte ändert sich jedoch bei Verminderung der Reibung durch Feuchtigkeit. Fällt der Reibungswinkel nur um  $2^\circ$  von  $40^\circ$  auf  $38^\circ$ , so ändern sich die wichtigen Werte  $M$  von 440,4719 auf 209,2399,  $\eta_I$  von 10,2409 auf 4,8648 und  $\eta_{II}$  von 3,4136 auf 1,6216 (Zusammenstellung II).

Nun wird im Falle B aus Gl. 17) für  $C = 4, 5$  und  $6 \dots$   $q_2 = 1,75, 1,72$  und  $1,70$  kg/qcm, welche Grenzwerte umso leichter erreicht werden können, als die Lagerungsenkungen bei verminderter Reibung durch die geringere Verdrehung der Bettungsteilchen geringer, die Bettungsziffern und Bettungsspannungen daher gröfser werden.

Bei dem geringen Schwelleneingriffe von 5 cm können daher die Grenzspannungen  $q_2$  namentlich bei Vorhandensein einer Packlage und den heute üblichen Raddrücken an vielen Stellen der Schwelle überschritten, also das Losrütteln der unterstopften Schwellen und weiter bleibende Gleissenkungen verursacht werden.

Im Falle A können jedoch die Grenzwerte unter den heutigen Radlasten kaum eintreten, wie aus Textabb. 36 hervorgeht, weil die Bettung wegen des Stopfens nie schwächer als  $30 \text{ cm}, 15 \text{ cm}$  unter der Schwelle, werden darf.

Nur in einem einzigen Falle ist dies möglich. Wird das Gleis ohne Strömung überflutet, so sinkt  $M$ , wie früher, um mehr als die Hälfte und das Gewicht  $g = 0,00155$  auf  $0,00055$ , auf etwa  $30\%$ , so dafs  $\eta_I = 1,62$  kg/qcm, etwa  $17\%$  seines Wertes, wird.\*)

Wie weit die Bettungsspannungen bei künftigen Verstärkungen des Oberbaues wegen Steigerung der Lasten gesteigert werden dürfen, zeigen die Textabb. 36 und 37. Hierbei sind immer die Fälle  $A_c$  und  $B_c$  als die ungünstigsten unter gleichzeitiger Annahme der Reibungsverminderung durch Nässe in Betracht zu ziehen. Im Falle  $A_c$  würde beispielsweise bei einer Bettungsziffer  $C = 7^{**}$ ) schon bei Überschreitung einer Spannung  $\varepsilon = d g M + C \frac{30 - 15}{25} = 4,61$  kg/qcm das federnde Spiel der Bettung aufhören. Im Falle  $B_c$  folgt schon vorher für  $C = 6$  ( $q_2 = 1,70$ , woraus hervorgeht, dafs Schwellen von so geringem Eingriff überhaupt keine weitere Steigerung der Bettungsspannungen zulassen, wenn die Grenzwerte vermieden werden sollen. Bemerkenswert ist aber, dafs für  $d = 2 \text{ cm}$  (Eingriff der obersten Schotterschicht) und  $C = 4$ ,  $q_2 = 1,45$  wird, dafs es also vom Standpunkte der Statik der Bettung bei den heute üblichen Belastungen zulässig ist, die Schwellen oben auf die Bettung zu legen, wie dies auf amerikanischen Bahnen und bei Notbauten oft geschieht. Allerdings werden

\*) Hier würde sich  $\varepsilon$  wegen der Kleinheit der Veränderlichen  $d g M$  nur wenig ändern, und da die Hyperbel bedeutend hinunterrückt, gilt nur ihr rechter Ast, so dafs auch nur der Grenzwert  $q_2$  eintreten kann.

\*\*) Die Versuche der Reichseisenbahnen ergaben in diesem Falle  $c' = 8$ ; wir haben bereits früher aufmerksam gemacht, dafs unser hier aufgestelltes  $C$  um die Gröfse  $\frac{d g M}{s}$  geringer ist; daher ist  $C = 7$  anzunehmen, bis entsprechende Versuche genauere Unterlagen geliefert haben.

hier die Grenzwerte sofort eintreten, aber dies hat nur zur Folge, dafs allmählig ein tieferliegendes Schwellenlager ausgebildet wird, bis der Schwelleneingriff die zur Herstellung des Gleichgewichtes erforderliche Gröfse erlangt hat. Dafs die Unterstopfung durch diese Verdrängung leiden mufs, ist aus Vorstehendem klar und wird auch durch die Abkehr der amerikanischen Bahnen von dieser Bauart bestätigt, wenn sie auch noch nicht verschwunden ist.\*)

Dieser Abschnitt über die Grenzwerte lehrt, dafs deren Eintritt bei den heute üblichen Belastungen und bei einem Schwelleneingriffe von mindestens 15 cm noch lange nicht zu befürchten ist. Wenn nun im Verlaufe des Betriebes dennoch bleibende Senkungen eintreten, so können sie nur durch andere nicht statische Gründe entstanden sein. Diese Ursachen sind:

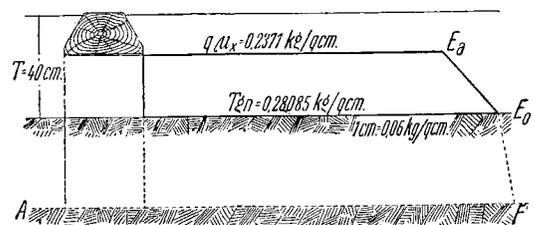
- 1) mangelhafte Unterstopfung;
- 2) ungleichmäfsige, einseitige und auflockernde Drücke durch Schwankungen der Fahrzeuge;
- 3) der Umstand, dafs die Bettungsteilchen nach der Entlastung nicht genau in die frühere Lage zurückkehren können, was sich namentlich bei starkem Verkehre geltend machen mufs;
- 4) der Einflufs der das Gefüge auflockernden Fröste;
- 5) bleibende Senkung des Untergrundes.

#### X. Anwendung der Theorie.

Im Folgenden soll an einigen von Zimmermann berechneten Fällen gezeigt werden, wie diese Ergebnisse gemäfs der vorliegenden Theorie abgeändert werden müfsten, wenn sie vom Standpunkte der Bettungsstatik unanfechtbar sein sollen.

Die Druckverhältnisse in einer Mittelgrenze einer 2,7 m langen, 0,31 m breiten Schwelle bei der grölsten Bettungsspannung  $q = 1,25$  kg/qcm in der Nähe des Lastpunktes zeigt

Abb. 38.



Textabb. 38. Hierbei ergibt sich für  $c' = 8$  eine Senkung von  $0,16 \text{ cm}$ .\*\*)

\*) Anlässlich des letzten internationalen Geologenkongresses von 1906 schreibt Professor C. Diener wörtlich:

„Der Oberbau der mexikanischen Zentrabahn ist selbst für amerikanische Verhältnisse schlecht. Auf den dem Bahnraum lose aufliegenden Schwellen sind die Schienen nur ungenügend befestigt, sodass bei dem Darüberfahren des Zuges das Gleis in Schwingungen gerät, die auf den Passagier eine ähnliche Wirkung ausüben, wie eine Schiffsahrt auf stürmischer See. Zwischen Chihuahua und El Paso sahen wir nicht weniger als drei entgleiste Lastzüge neben dem Gleise liegen.“ — Gewiss keine gute Empfehlung für diese billige Bauart!

\*\*) Siehe Beziehungen zwischen Gleis und rollendem Materiale von W. Ast, Wien 1892, Beilage 1, Post 8. Die zugehörige Schiene des Querschnittes D ist 9 m lang, hat  $35,34 \text{ kg/m}$  Gewicht,  $J = 951 \text{ cm}^4$  und liegt auf 12 Schwellen.

Zunächst ist die Spannung in der gefährlichen Wagerechten von Bedeutung, wobei in  $M_x = \frac{\nu_x}{\mu_x}$  der Tangentenwert  $a' < a$  sein muß, weil bei dieser Bettungsspannung noch kein Grenzwert eintreten kann.

Aus Gl. 17) folgt . . .  $q = (d + s) g M_x$ , somit  $M_x = \frac{1,25}{15,16 \cdot 0,00155} = 53,196$ ; aus Abschnitt VI folgt, daß  $\frac{\omega + \zeta}{\omega - \zeta} = \sqrt{M_x} = \sqrt{53,196} = 7,29355$  somit  $\zeta = \frac{\omega (\sqrt{M_x} - 1)}{\sqrt{M_x} + 1} = 0,990607$ , wobei  $\omega = \sqrt{1 + a^2} = \sec \varrho = \frac{1}{\cos \varrho} = \frac{1}{\cos 40^\circ} = 1,305407$  und  $\zeta$  von  $a'$  abhängig, nämlich  $= \sqrt{a(a + a')}$  ist.

Bekanntlich ist  $\mu_x = \frac{1}{(\omega + \zeta)^2}$ , also  $= 0,189692$ , somit ist die Spannung in der gefährlichen Wagerechten  $q \mu_x = 1,25 \cdot 0,189692 = 0,237115$ , für  $q = 1,25$  wird nach Zusammenstellung III die Reibungstiefe  $T = 39,4$  cm, also  $T < H = 40$  cm.

Um die Spannung  $y_0$  in der Nullwagerechten zu erhalten, gebraucht man am bequemsten die Gleichung für A C in Textabbildung 32 . . . .  $y_0 = T g n = 0,28085$ . Wäre  $H < T$ , so ergibt sich die Spannung in der Unterbankrone aus:  $[kg(H - d) + q] \mu_H = H g \nu_H$ , woraus wie oben  $M_H$ ,  $\zeta_H$  und  $\mu_H$  zu bestimmen sind. Unterhalb der Nullwagerechten in Textabb. 27 wird keine lotrechte Reibung in Anspruch genommen, daher muß die Spannung in der Unterbankrone aus dem Kraftkörper (Textabb. 27) ohne lotrechte Reibung berechnet werden; man erhält sie aus:  $[kg(H - d) + q] m$ . Diese Berechnung ist im vorliegenden Falle überflüssig, da der Unterschied  $H - T$  nur 6 mm beträgt. Läge die Unterbankrone noch tiefer, etwa in A F, so würde der Druck unter der Nullwagerechten nach der Linie  $E_0 F$  verlaufen. Diese Linie hat nach Zusammenstellung I gegen die Lotrechte die Neigung  $tg \alpha = 500$  kg/m (Textabb. 21 und 27). Nach dem am Schlusse des Abschnittes VI Gesagten kann die Verbindung der Punkte  $E_a$  und  $E_0$ , deren Achsen-Abstände ebenfalls 500mal verzerrt erscheinen, gezogen und die Zeichnung der Hyperbel vermieden werden.

Um die Biegsamkeit der Schwelle in Betracht zu ziehen, soll Beilage 6 aus dem oben bezeichneten Werke von W. Ast als Grundlage gewählt werden.

Die Textabb. 39 und 40 zeigen die 2,7 m lange Schwelle, die von allen maßgebenden Fachmännern mit Recht als die geeignetste erkannt worden ist, während die Textabb. 41 und 42 die vorher übliche 2,4 m lange darstellen.

Unter Zugrundelegung der Zimmermannschen Bettungsdrücke  $p$  ist zu bemerken, daß diese Werte nur vom Schienendrucke, also ohne Berücksichtigung des Eigengewichtes des Oberbaues  $\Sigma$  kg/m abgeleitet wurden. Für vorliegende Theorie ist aber diese Größe  $\Sigma$  deshalb wichtig, weil der erste Grenzwert in der gefährlichen Wagerechten  $q_1 = dg \mathfrak{M}$  diese Größe mit enthalten soll. Der die Lagerungsenkung und demnach auch die Biegung herbeiführende Überdruck ist, wenn  $\sigma$  die aus  $\Sigma$  folgende, gleichmäßig verteilte Bettungsspannung bedeutet,  $q = (dg \mathfrak{M} - \sigma)$ . Hieraus wäre  $(dg \mathfrak{M} - \sigma)$  für jede Ober-

Abb. 39.

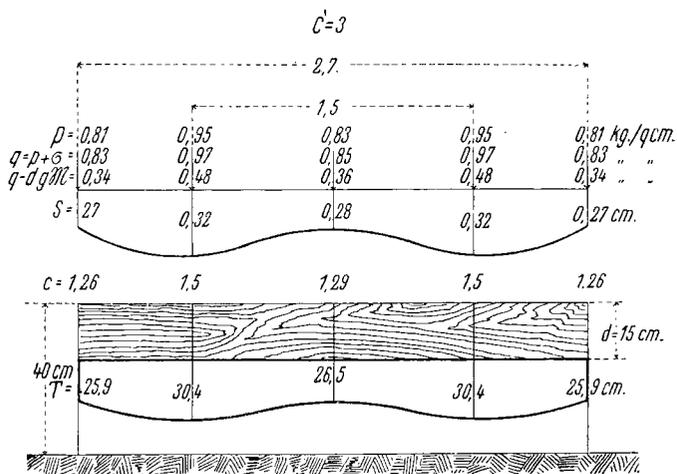


Abb. 40.

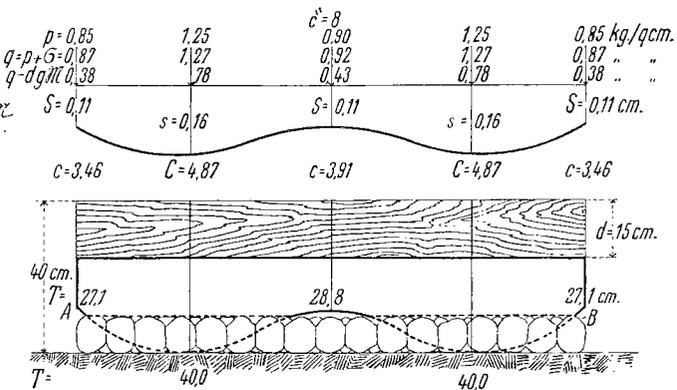


Abb. 41.

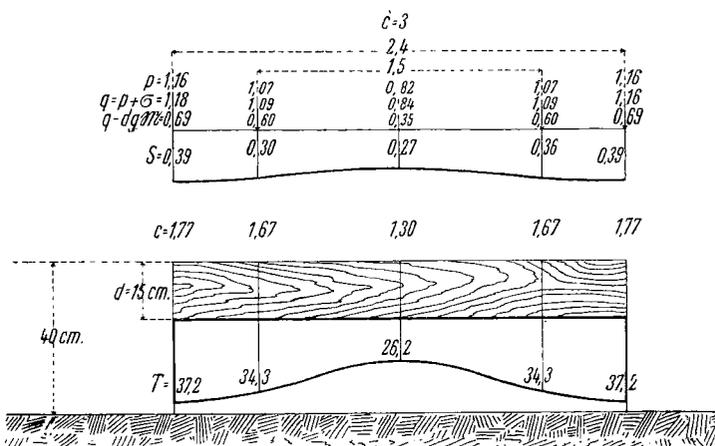
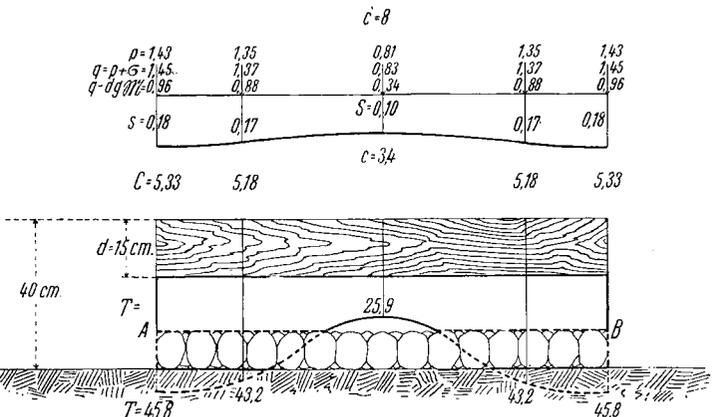


Abb. 42.



bauart besonders zu berechnen, die Zusammenstellung I hätte keine allgemeine Gültigkeit. Um dieses zu vermeiden, sind gleich die Drücke  $p + \sigma$  in die Zeichnung eingetragen, die vorläufig die nach Zimmermann berechneten Werte  $p$  enthält, für diese berichtigten Spannungen  $p + \sigma$  findet man aus Zusammenstellung III die zwischengerechneten Reibungstiefen und aus  $(p + \sigma) - d g \mathfrak{M} = C$ , die jeweilige veränderliche Bettungsziffer oder deren Grenzwert  $c$  aus  $q - d g \mathfrak{M} = c$ . Alle Werte sind aus den Abbildungen zu entnehmen. Wenn die Schwelle  $l$  lang,  $b$  breit ist, ist  $\sigma = \frac{\Sigma}{l \cdot b}$ ;  $\Sigma$  wurde in Textabb. 39 und 40 mit 156 kg und in Textabb. 41 und 42 mit 144 kg angenommen, woraus im ersten Falle für  $b = 31$ ,  $l = 270$  cm,  $\sigma = 0,0186$  kg/qcm, im zweiten für  $b = 31$ ,  $l = 240$  cm,  $\sigma = 0,0172$  kg/qcm folgt. Durch Verbindung der Endpunkte aller Reibungstiefen ergibt sich deren Umhüllungslinie  $T$ . In Wirklichkeit sind diese nach 2 : 1 verzerrt gezeichneten Linien noch flacher. Die  $T$ -Linien haben in allen Höhen  $Y = T - d$  viel steilere Neigungen als die vorgezeichneten Biegungslinien an denselben Stellen, weil letztere sich aus  $y = \frac{q - d g \mathfrak{M}}{C}$ ,

somit  $\frac{\delta y}{\delta x} = \frac{1}{C} \frac{\delta q}{\delta x}$ \*) und erstere aus  $Y = T - d = \frac{q - d g \mathfrak{M}}{g(\mathfrak{M} - k)}$  und  $\frac{\delta Y}{\delta x} = \frac{\delta(T - d)}{\delta x} = \frac{1}{g(\mathfrak{M} - k)} \frac{\delta q}{\delta x}$  ergibt, wobei  $\frac{1}{g(\mathfrak{M} - k)}$  nach Zusammenstellung I, gemäß dem Reibungswinkel zwischen 38,9 und 26,5 liegt. Für  $\varrho = 40^\circ$  ist somit  $\frac{\delta(T - d)}{\delta x} = 32,1776 \cdot C \cdot \frac{\delta y}{\delta x}$ .

Aus diesen Ausdrücken für die Neigungen folgt, daß die  $T$ -Linie zugleich mit der Biegungslinie alle größten und kleinsten Werte erreicht, also auch die Wendepunkte, für die die zweiten Differenzialquotienten aufzustellen wären, in denselben Punkten liegen müssen.

Die  $T$ -Linien haben aber noch eine andere bemerkenswerte Eigenschaft. Aus  $T - d = \frac{q - d g \mathfrak{M}}{g(\mathfrak{M} - k)}$  folgt  $q - d g \mathfrak{M} = g(\mathfrak{M} - k)(T - d)$ ; wenn also die Höhen  $T - d$  hier mit dem Maßstabe  $1 : 10 \cdot \frac{1}{g(\mathfrak{M} - k)}$  gemessen werden, so stellen sie zugleich die Lastverteilung der die Biegung verursachenden Drücke  $q - d g \mathfrak{M}$  dar.

Aus den Textabb. 39 bis 42 sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- 1) Bei Textabb. 39 und 41 würde eine Verschiebung der Unterbaukrone nach unten, also eine größere Bettungstiefe, keinen Einfluß auf die Senkung ausüben, weil die  $T$ -Linie die Unterbaukrone nicht schneidet.
- 2) Bei Textabb. 40 und 42 muß die Entfernung der Packlage eine größere Einsenkung und eine kleinere mittlere Bettungsziffer hervorrufen, was durch die Versuche der

\*) Hier ist  $C$ , als mittlere Bettungsziffer gedacht, unveränderlich angenommen.

Reichseisenbahnen bestätigt wird, die ohne Packlage  $c' = 3$  und mit Packlage  $c' = 8$  ergaben.

Damit ist also auch der Einfluß der Bettungstiefe auf die Einsenkung klargestellt.

Die Textabb. 43 und 44 zeigen die Umhüllungslinien der

Abb. 43.

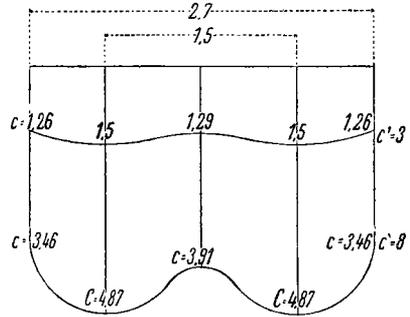
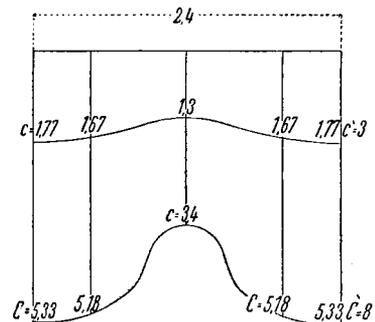


Abb. 44.



Bettungsziffern für 2,7 m und 2,4 m lange Querschwellen. Die obere Linie entspricht der üblichen Bettungstärke, die untere der niedrigen Bettung mit Packlage.

Da  $q - d g \mathfrak{M} = C s$ , also  $C = \frac{q - d g \mathfrak{M}}{s} = g(\mathfrak{M} - k)$

$\frac{T - d}{s}$  ist, folgt  $\frac{\delta C}{\delta x} = \frac{g(\mathfrak{M} - k)}{s} \frac{\delta(T - d)}{\delta x} = \frac{C}{s} \frac{\delta y}{\delta x}$ , worin, wie in diesen vier Fällen,  $C$  und  $s$  weder 0 noch unendlich werden dürfen. Unter dieser Voraussetzung ist also die  $C$ -Linie, wie vorher die  $T$ -Linie, ihrem Verlaufe nach ähnlich der Biegungslinie, auch hier gilt das bei Besprechung der  $T$ -Linie Erwähnte.

Da  $g(\mathfrak{M} - k)$  nach Zusammenstellung I je nach der Größe von  $\varrho$  sehr klein ist, nämlich 0,0257, 0,0311 und 0,0377, so wird diese Linie viel flacher, als die  $T$ -Linie, aber steiler, als die Biegungslinie verlaufen.

Die Linien zeigen, daß ein mittleres  $C$  vorhanden ist, das aber keinen festen Wert hat, sondern für jede Schwellenart anders wird;  $C$  muß sich ferner mit der Reibungstiefe und sowohl mit der Bettungsspannung, als auch mit der Größe des Schwelleneingriffes  $d$  ändern, wie aus Vorhergehendem hervorgeht.

Mit diesem mittlern  $C$  ist somit die Biegung aus Winklers Gleichung nach Zimmermann zu berechnen. Diese Gleichung lautet demnach nicht mehr

$$E \tau \frac{\delta^4 y}{\delta x^4} = b p = c' b y, \text{ sondern:}$$

$$\text{Gl. 22) . . . } E \tau \frac{\delta^4 y}{\delta x^4} = b (q - d g \mathfrak{M}) = C b y.$$

Hierin ist  $C$  stets  $< c'$ , da aber auch  $q - dgM < p$  wird, so werden sich die Höhen  $y$  aus der neuen Gl. 22) außerordentlich wenig, zum größten Teile gar nicht ändern, sodafs auch die Beanspruchung der Schiene und der Schienendruck fast unverändert bleiben, wenn die Ergebnisse aus Gl. 22) mit denen nach Zimmermann bei  $C = c'$  verglichen werden. Anders verhält sich jedoch die Schwelle, deren Berechnung nach Zimmermann zuerst erörtert werden soll.

Bei Vergleichung der die Lastverteilung darstellenden T-Linie in Textabb. 39 mit der Linie für  $c' = 3$  in Textabb. 43 erkennt man, dafs die Lastverteilung fast gleichförmig ist, und dafs daher die Schwelle als Träger auf 2 Stützen aufgefaßt, eine von der Zimmermannschen Berechnung nicht viel verschiedene Beanspruchung geben kann.

Minder scharf gilt dies auch für Textabb. 40 und die Linie für  $c' = 8$  in Textabb. 43, weil hier die T-Linie durch die Packlage in der gemischten Linie AB begrenzt wird. Da aber die Lastverteilung in geradem Verhältnisse zur Reibungstiefe steht, so kann die Linie AB in Textabb. 40, die die Reibungstiefen unregelmäßig entzwei schneidet, nicht mehr die wahre Lastverteilung darstellen. Dies ist in Textabb. 40 nur bei den über der Packlage liegenden Teilen der T-Linie, also in der Mitte und an den Enden der Schwelle der Fall. Deshalb muß hier das Ergebnis aus der Berechnung als Träger auf zwei Stützen schon mehr vom Zimmermannschen Ergebnisse abweichen, als im vorigen Falle.

In Textabb. 45 ist die Schwelle als Träger auf zwei

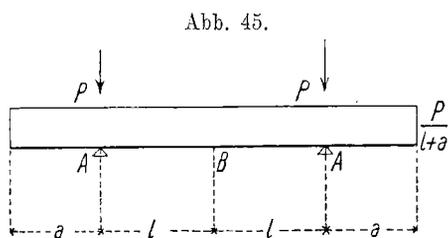


Abb. 45.

Stützen mit um  $a$  übergreifenden Enden und der gleichförmig verteilten Last  $\frac{P}{1+a}$  dargestellt.

Das größte Moment tritt entweder am Lastpunkte A, oder in der Mitte B auf. Nun ist  $M_A = -\frac{P}{1+a} \cdot \frac{a^2}{2}$  und  $M_B = \frac{P}{1+a} \cdot \left(\frac{l^2 - a^2}{2}\right)$ , also ist  $M_A \geq M_B$  mit  $a\sqrt{2} \geq l$ . Da bei 2,7 m langen Schwellen  $a = 60$  cm,  $l = 75$  cm, also  $60\sqrt{2} > 75$  ist, so liegt bei diesen das größte Moment in A, bei 2,4 m langen Schwellen wegen  $a = 45$  und  $45\sqrt{2} = 63 < 75$ , in der Mitte B.

Nach Beilage 6 des auf S. 285 angeführten Werkes von Ast wird für die zwei in den Textabb. 39 und 40 dargestellten Fälle, wenn  $\sigma$  die größte Spannung in der Schwelle nach Zimmermann und  $\sigma'$  nach dieser Berechnung ist, für

$$c' = 3 \text{ (Textabb. 39), } P = 3717 \text{ kg, } M_A = 49560 \text{ kgcm}$$

$$\sigma'_1 = 54,5 \text{ und } \sigma_1 = 54,3 \text{ kg/qcm,}$$

$$c' = 8 \text{ (Textabb. 40), } P = 4494 \text{ kg, } M_A = 59920 \text{ kgcm}$$

$$\sigma'_2 = 65,9 \text{ und } \sigma_2 = 63,5 \text{ kg/qcm,}$$

womit die größte Abweichung  $\sigma'_2$  gegen  $\sigma_2$  erwiesen ist.

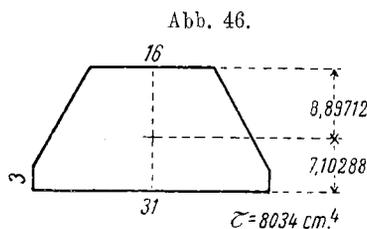


Abb. 46.

Bei den nur 2,4 m langen Schwellen zeigt die Lastverteilungs-Linie T die Häufung der Belastung an den Stützpunkten; daher wäre das für gleichförmig verteilte Last berechnete Moment viel zu groß, es

ist in diesem Falle besser, das Moment nach Zimmermann zu berechnen.

Nach vorliegender Theorie wird aber die Schwelle erst durch den Überdruck  $q - dgM$  gebogen; ihre Biegungsbeanspruchung ist daher nicht mit dem Schienendrucke  $P$ , sondern mit dem verringerten Werte  $P_1 = P - b(1+a)dgM$  zu berechnen. Der Schienendruck  $P = b(1+a)dgM + P_1 = b(1+a)q_1 + P_1$  besteht somit aus zwei Teilen, erstens aus  $b(1+a)q_1$ , das sich nach dem bekannten Gesetze von der exzentrischen Belastung (Textabb. 47) nach der Geraden AB über die

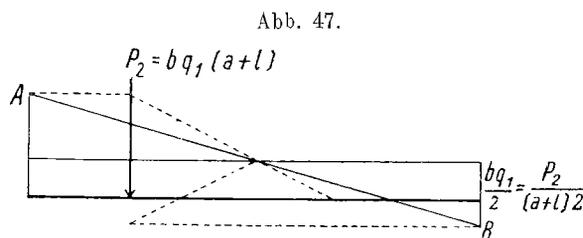
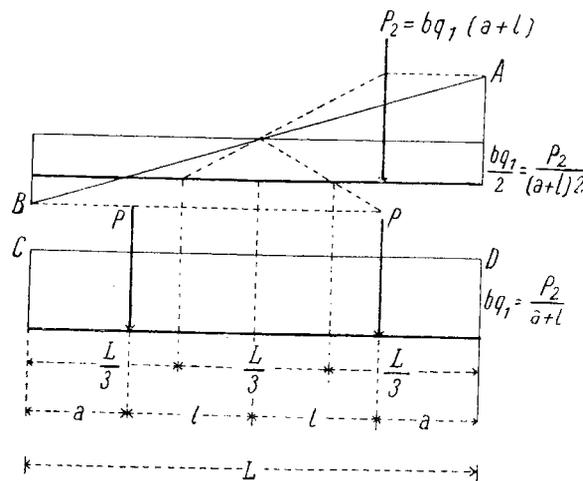


Abb. 47.



ganze starr zu denkende Schwelle verteilt, und mit dem von der zweiten Schiene herrührenden gleichen Drucke vereinigt die mittlere gleichförmig verteilte erste Grenzdruckbelastung ohne Einsenkung von der Größe  $bq_1$  in der Linie CD gibt; zweitens aus  $P_1$ , dem verminderten Schienendrucke, der die Einsenkung und Biegung verursacht, und mit dem auch die Biegungsbeanspruchung zu berechnen ist, also für die vier Fälle der Textabb. 39 bis 42.

$$P = 3717, 4494, 3693, 4371 \text{ kg,}$$

$$bq_1 \cdot (1+a) = 2057, 2057, 1829, 1829 \text{ kg,}$$

$$P_1 = 1660, 2437, 1864, 2542 \text{ kg.}$$

$P_1$  ist  $= 44,66\%$ ,  $54,22\%$ ,  $50,47$  und  $58,61\%$  von  $P$ ; dementsprechend werden auch Moment und Beanspruchung der Schwellen geringer.

Es zeigt sich hieraus, dafs eine Verminderung der Bettung-

stärke die Schwelle entlastet und daher die Packlage in dieser Hinsicht vorteilhafter wäre; doch kann dieser Umstand nicht ausschlaggebend sein, weil die Schwelle schon nach Zimmermann unter der zulässigen Inanspruchnahme bleibt und nach vorstehendem noch bedeutend weniger angestrengt wird. Auch die Querkraft wird nur vom verringerten Schienendrucke  $P_1$  hervorgerufen; denn die erste Grenzbelastung  $b \cdot q_1 (1 + a)$ , worin  $q_1 = dg \mathfrak{M}$  ist, kann weder Einsenkung noch Biegung erzeugen und hat daher auf die Scherkraft keinen Einfluss.

Wenn eine gleichmäßige Beanspruchung der Bettung als wohl unerreichbares Ziel hingestellt werden muß, so kommt doch die 2,7 m lange Schwelle mit 40 cm Bettungstärke ohne Packlage diesem Ziele am nächsten. Hier kann auch mit Recht eine mittlere feste Bettungsziffer  $c'$  der Berechnung nach Zimmermann zu Grunde gelegt werden.

Bei der Wahl der Schwellenform ist daher weniger auf ihre nicht ausnutzbare Spannung durch die Belastung, als auf möglichst hohe Steifigkeit und genügenden Bettungseingriff  $d$  zu sehen.

Aus diesen Gründen ist der hölzerne Querschwellenoberbau mit  $d = 15$  entschieden dem mit eisernen Schwellen von nur  $d = 5$  cm Bettungseingriff vorzuziehen. Bei weiteren, wegen Zunahme der Radlasten nötigen Verstärkungen des Oberbaues wird dieser Übelstand noch greller hervortreten.

Denkt man sich die Schwellen in den Textabb. 39 bis 42 um ihr fest bleibendes linkes Ende gedreht, bis die für einen Bogen erforderliche Überhöhung entsteht, so wird die Linie T in Textabb. 39 und 41 ganz im Bettungsquerschnitte bleiben,

in Textabb. 40 und 42 aber nur ihr rechter Teil in diesen hineinragen, während der linke außerhalb des Bettungsquerschnittes in der Packlage und in Textabb. 42 auch in der Unterbaukrone verbleibt. Es wird also bei gleichmäßiger Belastung beider Schienen im ersten Falle auch in Bogen ein gleichmäßiges Eindringen der Schwelle stattfinden, im zweiten Falle müssen aber im erhöhten Teile wegen der hier in Geltung tretenden gröfsern Reibungstiefen bis zu einem gewissen Werte der Schienenüberhöhung gröfsere Einsenkungen und daher kleinere Bettungsziffern hervorgerufen werden, als im linken Teile der Bettung. Dadurch wird sich in diesem Falle die mit Berücksichtigung der Fliehkraft gleichmäßig belastete Schwelle im äußern Strange mehr senken als im innern. Dagegen wird bei Zügen, deren Geschwindigkeit geringer ist als die der Überhöhung zu Grunde gelegte, die gröfsere Belastung des innern Stranges durch die gröfsere Einsenkung des äußern teilweise ausgeglichen, was im ersten Falle (Textabb. 39 und 41) nicht möglich ist. Da aber die Herstellung und Erhaltung der der gröfsten Geschwindigkeit entsprechenden Überhöhung viel wichtiger ist, so ist zu empfehlen, Packlagen mit nur 30 cm Schotterbett, also  $H - d = 15$  cm, in Bogen zu vermeiden.

**XI. Rückblick.**

Die auf dem Gebiete der Statik der Bettung durch die grundlegende Wegweisung Winklers und die verdienstvollen Arbeiten Zimmermanns bisher bekannten Tatsachen sollen nun den Ergebnissen der vorliegenden Forschungen als übersichtliche Schlufsbetrachtung gegenüber gestellt werden.

Bekannte Tatsachen	Grundlagen der Theorie der Bettungsziffer
1. Bettungsziffer für dieselbe Bettungstärke unveränderlich, beispielsweise für $H = 40$ cm $c' = 3$ , für $H = 30$ cm, 40 cm mit 10 cm Packlage $c' = 8$ . Die Abhängigkeit von den übrigen Gröfsen bleibt unbekannt.	1. Die Bettungsziffer ist auch für dieselbe Gröfse $H$ an jeder Stelle der Biegungslinie nur dann unveränderlich, wenn die T-Linie außerhalb des Bettungsquerschnittes liegt, sonst aber in jeder Lotrechten von $d$ bis $T$ veränderlich. Sie hängt von der Reibungstiefe $T$ ab, welche wieder von der Bettungsspannung $q$ , den Bettungstoff-Weiten $g$ und $\mathfrak{M} = f[\varrho]$ , dem Schwelleneingriffe $d$ und der Unterstopfungsziffer $k$ abhängig ist.
2. Die Einsenkung ergibt sich aus $q' = c's$ , ohne Beziehung auf Schwelleneingriff und Bettungstoff.	2. Die Einsenkung bewirkt der Bettungsüberdruck $q - dg\mathfrak{M} = Cs$ .
3. Für $s = 0$ wird auch $q' = 0$ .	3. Für $s = 0$ erscheint der erste Grenzwert $q_1 = dg\mathfrak{M}$ .
4. Durch $H > 40$ cm wird bei denselben Lasten auch keine gröfsere Einsenkung hervorgerufen.	4. Die durch eine unveränderliche Last erzeugte Einsenkung vergrößert sich bis die Unterbaukrone die Reibungstiefe $T$ erreicht; bei weiterer Senkung $H - T$ , bleibt $s$ ungeändert. Ähnliches gilt beziehungsweise für $C = \frac{q - dg\mathfrak{M}}{s}$ , $c = \frac{q - dg\mathfrak{M}}{S}$ , somit $C \cdot s = c \cdot S$ .
5. Die 2,7 m lange Schwelle verhält sich in Bezug auf die Druckverteilung günstiger, als die 2,4 m lange.	5. Das Ergebnis ist dasselbe. Bei 40 cm Bettungstärke kann für die längere Schwelle bei den üblichen Belastungen eine mittlere feste Bettungsziffer angenommen werden.
6. Über den Einfluß des Schwellen-Eingriffes $d$ ist nichts bekannt.	6. Bettungseingriffe der Schwellen von nur $d = 5$ cm sind auf Hauptbahnen von 14 t Achslast an zu vermeiden, weil unter Umständen die Grenzwerte eintreten können. Für $d = 15$ cm ist dies nicht zu befürchten.
7. Nach Zimmermann wird der volle Schienendruck $P = \frac{4\gamma + 1}{8\gamma + 1} G$ im II. und $P = \frac{\gamma + 2}{3\gamma + 2} G$ im III. Belastungsfalle*) gerechnet; hierbei ist $\gamma = \frac{B}{D}$ , $B =$ der Kraft, welche die Schiene im Belastungsfalle II um 1 cm biegt, $D = \frac{c' b}{[\varrho \varrho]} \sqrt[4]{\frac{4 E' J'}{c' b}}$ , und $G$ der größte Raddruck.	7. Da nur der Überdruck $q - dg\mathfrak{M}$ Senkung und Biegung erzeugt, ist für die Schwellenspannung nur der verminderte Schienendruck $P_1 = P - b(1 + a)q_1 = P - b(1 + a)dg\mathfrak{M}$ maßgebend. Da die Bettungsziffern $C < c'$ werden, so wird sich die Beanspruchung der Schiene, nach Zimmermann gerechnet, gröfser ergeben; für die Schwelle gilt wegen $P_1 < P$ das Gegenteil. <div style="text-align: center;"> </div>

\*) Zimmermann: Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues.

Es muß hier nochmals betont werden, daß diese Abhandlung die Theorie der Bettungsziffer nicht erschöpfend behandelt, weil sie die Grundlagen zu einer solchen erst liefern will, also vorwiegend nur Richtung gebend zu wirken bestimmt ist.

Deshalb können die meisten ziffermäßigen Ergebnisse nur vorbehaltlich ihrer Nachprüfung und Richtigstellung durch entsprechende Versuche als festgestellt angesehen werden.

Diese Versuche müßten sich vorerst auf die Ermittlung der Grenzwerte  $q_1$ ,  $\varepsilon$  und  $\varepsilon'$ , dann der Senkungszahl  $\varepsilon - dgM$ , und hierauf der Bettungsziffer erstrecken, wozu aber nicht, wie bisher, eine, diese Werte schon gemischt enthaltende biegsame Schwelle verwendet werden darf. Eine gleichförmig belastete, somit als starr anzusehende Schwelle, deren Last allmählig gesteigert werden kann, ist zur Beobachtung dieser Vorgänge geeigneter. Auf dieses allmähliche Anwachsen des Bettungsdruckes von  $q_1 - dgM = 0$  bis zum Endwerte  $q$  muß besonderes Gewicht gelegt werden, weil nur auf diese Weise den tatsächlichen Verhältnissen in der Bahn entsprochen wird, wie im Abschnitte IX bei Besprechung des Grenzwertes  $\varepsilon$  ausführlich erklärt wurde. Denn bei sofortigem Einwirken des Endwertes  $q$  wird eine Senkung  $\sigma'$  erzeugt, die in der Gleichung  $q - dgM = \omega \cdot \sigma'$  vorkommt; da nun dieser Bettungsüberdruck die Arbeit  $(q - dgM) \sigma'$  leistet, während die durch die Senkung verursachte Arbeit der Widerstände  $\frac{\omega \sigma'^2}{2}$  ist, diese beiden Arbeiten aber gleich sein müssen, so folgt aus  $(q - dgM) \sigma' = \frac{\omega \sigma'^2}{2}$   $\sigma' = \frac{2(q - dgM)}{\omega}$ , während sich früher  $s = \frac{q - dgM}{\omega}$  als Senkung bei allmählig anwachsendem Bettungsüberdrucke ergab. Somit wäre  $\sigma'$  doppelt so groß als  $s$ .

Die geeignetste Versuchsbelastung wäre daher Wasserdruck. Will man dann die mittlere Bettungsziffer unmittelbar an der Schwelle in der Bahn erhalten, so könnte dies auf Grund der erfolgten Festlegung des Urwertes  $c$  für die gleichmäßig be-

lastete starre Schwelle geschehen. Nur dürfen dazu nicht, wie bei den Versuchen der Reichseisenbahnen, Vorrichtungen verwendet werden, die die Entfernung eines Teiles der Bettung erfordern und daher ganz veränderte Verhältnisse schaffen.\*)

Durch vorstehende Ergebnisse werden die aus der Beobachtung entstandenen Bettungsquerschnitte, für gewisse Fälle nur die Packlage ausgenommen, bei den derzeitigen Radlasten nun auch theoretisch als im ganzen richtig erwiesen verifiziert. Wenn nun diese Übereinstimmung zwischen den Tatsachen und der Theorie letztere auch bestätigen, so sind ihre Ergebnisse doch vorläufig noch nicht erschöpfend.

Die angeregten theoretisch einwandfreieren Versuche werden genauere Schlüsse erlauben als hier bei ungewissen ziffermäßigen Voraussetzungen gezogen werden konnten, doch kann dies an den Grundlagen, auf die es vor allem ankommt, nichts ändern.

Wertvoll für die Statik der Bettung ist jedenfalls die Auffindung der Grenzwerte, die schon lange vor Erschöpfung der rückwirkenden Festigkeit des Bettungstoffes eintreten. Durch sie werden die der Leistungsfähigkeit der Bettung gegenüber zulässigen Höchstwerte der Radlasten festgestellt. Der Schwerpunkt der Verwertung der hier aufgestellten Theorie liegt also in der Zukunft.

Wenn nun dieser Versuch, Professor Rebhanns Bau-mechanik ergänzend und weiterbauend, insbesondere seiner klassisch schönen Theorie, die seit geraumer Zeit unverdient als Aschenbrödel in der Ecke steht und kaum mehr die Anerkennung findet, die man sonst Greisen von bedeutender Vergangenheit zollt, durch berufenere Kräfte frisches Leben zuführt, damit der unverwüstliche gute Stamm neue Blüten treibe, so wird der Schüler dieses bedeutenden Mannes hinreichend entschädigt durch die Erfüllung des aus verehrendem Gedenken erwachsenden Wunsches:

»exagitet frondes immoto stipite ventus!«

\*) Organ 1899, S. 293.

BEITRÄGE  
ZUR  
ERMITTELUNG DER ANSTRENGUNG  
DER  
EISENBAHNSCHIENE.

VON

**J. CORNEA,**

STRECKENINGENIEUR DER RUMÄNISCHEN STAATSEISENBAHNEN IN BACĂU.

---

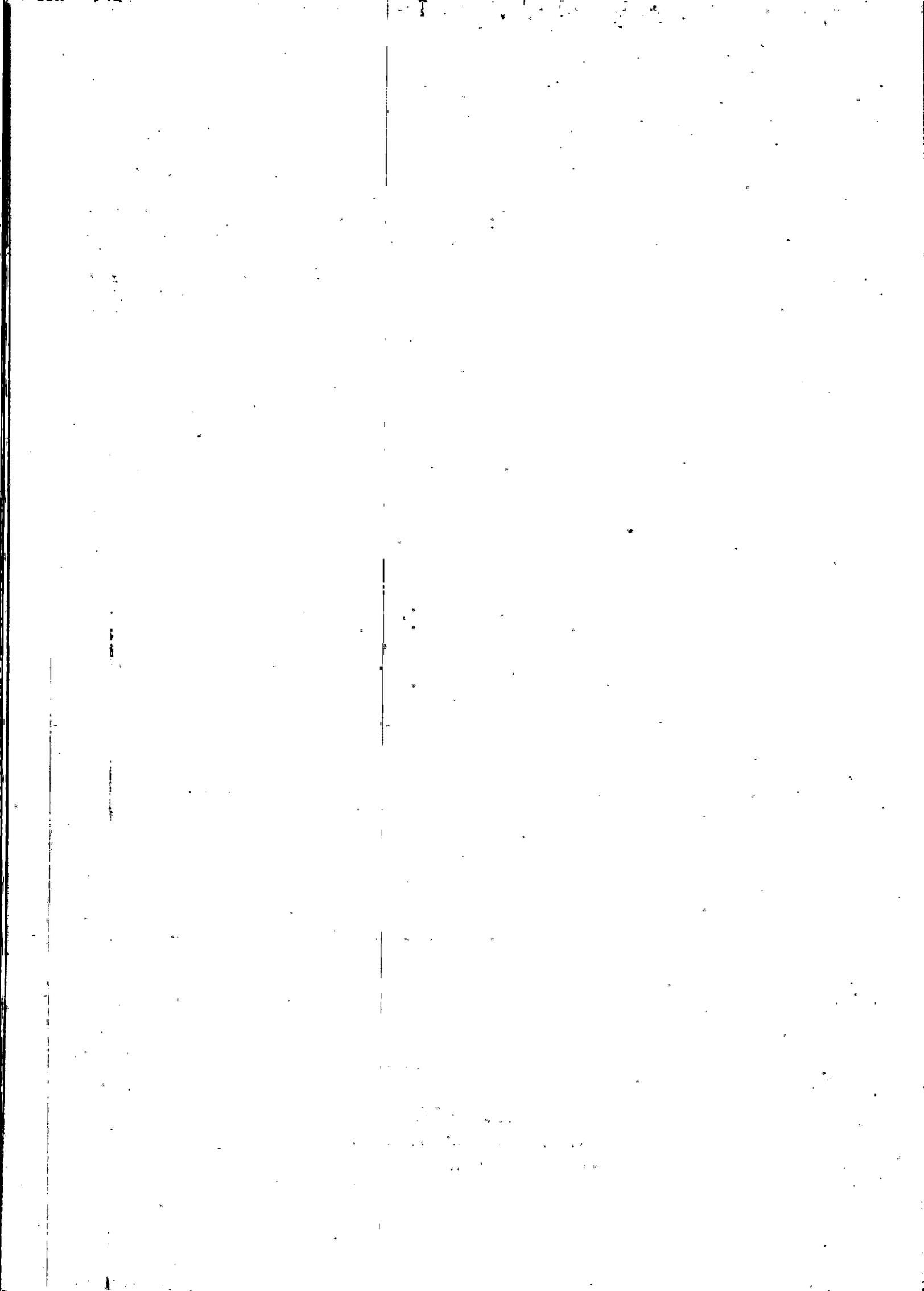
MIT ZEICHNUNGEN AUF TAFEL XLIX UND 6 TEXTABBILDUNGEN.

---

ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1907.

---

WIESBADEN.  
C. W. KREIDEL'S VERLAG.  
1907.



## Beiträge zur Ermittlung der Anstrengung der Eisenbahnschiene.

Von J. Cornea, Streckeningenieur der rumänischen Staatseisenbahnen in Bacău.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 4 auf Tafel XLIX.

Der vorliegende Aufsatz enthält einen neuen Versuch, die ungünstigste Belastung der Eisenbahnschiene zu ermitteln, eine Aufgabe, die schon viele Bearbeitungen erfahren hat, und deren endgültige Lösung noch aussteht. Immerhin hofft der Verfasser, diese Lösung in den Augen der Fachgenossen durch seine Arbeit zu fördern.

### I. Allgemeine Betrachtungen über die Schienenspannung.

Die Biegungsspannungen in einem wagerechten Stabe, auf den lotrechte Kräfte wirken, lassen sich durch die bekannte Gleichung ausdrücken

$$\sigma = \frac{Me}{J}$$

$\sigma$  bedeutet die Spannung der Flächeneinheit des Querschnittes in der Richtung der Längsachse und in der äußersten Faser. Sie ist Zug- oder Druck-Spannung, je nachdem die Faser auf der gewölbten oder auf der hohlen Seite der Biegung liegt.

$M$  ist das Biegemoment der äußeren Kräfte,  $J$  das Trägheitsmoment des zur Längsachse rechtwinkligen Querschnittes des Stabes in Bezug auf dessen wagerechte Schwerachse, und  $e$  die Entfernung der äußersten Faser von dieser Achse.

Der Bestimmung des Momentes stehen folgende Schwierigkeiten entgegen:

1. die wirkenden Lasten sind nach Größe und Richtung nicht sicher bekannt und ihrer Reihenfolge nach äußerst verschieden;
2. die Schwellen bilden keine festen Stützen, sie können von der Bettung abgehoben und in diese eingedrückt werden. Der Widerstand gegen diese Hebung und Setzung ist nicht immer genau festzustellen;
3. der Schienenstrang ist nicht gleichartig, er wird durch die Stöße und die verschiedenartige Befestigung und Verteilung der Schwellen gestört.

Man könnte auch eine andere Gleichung verwenden, um die Inanspruchnahme mit Umgehung des Biegemomentes zu bestimmen, nämlich die bekannte Gleichung

$$-\frac{1}{\rho} = \frac{M}{E \cdot J}, \quad M = -\frac{E \cdot J}{\rho}, \quad \text{also } \sigma = -\frac{E \cdot e}{\rho}$$

Darin ist  $E$  die Elastizitätszahl,  $\rho$  der Krümmungshalbmesser der elastischen Linie. Das — Zeichen bedeutet, daß, wenn  $e$  nach dem Mittelpunkte des Krümmungskreises gemessen wird,  $\sigma$  Druckspannung bedeutet und umgekehrt.

Diese Gleichung ist von dem Biegemomente befreit, und von den Querschnittsmassen enthält sie nur  $e$ . Zum Zwecke ihrer Anwendung auf die Schiene wäre  $\rho$  durch Beobachtung der Krümmung der Schiene unter den überrollenden Lasten zu bestimmen.

Leider sind aber die dazu nötigen Vorrichtungen sehr verwickelt, und daher die bislang veröffentlichten Aufnahmen zu

unvollständig, um eine sichere Feststellung von  $\rho$  zu ermöglichen.

Die Beobachtungen von Flamanche, Huberts, Coüard und Ast beschränken sich auf die elastische Senkung nur einzelner Punkte, also eignen sich diese Beobachtungen zur Ermittlung der Krümmung der Schiene nicht.

Auch A. Wasiutynski hat bei seinen im Jahre 1897/8 mit vieler Sorgfalt an der Warschau-Wiener Bahn ausgeführten Aufnahmen nach seiner eigenen Angabe\*), aus Mangel einer genügenden Zahl von Vorrichtungen, nur die gegenseitige augenblickliche Stellung zweier Punkte aufnehmen können, und so war er genötigt, aus den in verschiedenen Zeiten und durch verschiedene Verkehrsmittel hervorgebrachten Formänderungen das wahrscheinliche Bild der elastischen Linie näherungsweise abzuleiten.

Die auf der Bekanntschaft des Krümmungshalbmessers beruhende Gleichung ist also vorläufig nicht verwendbar, man muß auf die theoretische Ermittlung der Momente eingehen.

Die erwähnten Schwierigkeiten der Lösung muß man teils beseitigen, teils zu umgehen trachten, indem man nicht die allgemeinste Lösung anstrebt, sondern nur die Sonderfälle ins Auge faßt, die die größte Spannung der Schiene hervorrufen.

Zur Erreichung dieses Zieles werden folgende Vereinfachungen eingeführt.

1. Nur die lotrechten Kräfte werden berücksichtigt, da sie die größten sind. Von den vielen Möglichkeiten der Reihenfolge der Lasten wird nur die ungünstigste Verteilungsweise derselben im Sinne der Erzeugung der größten Momente berücksichtigt.
2. Die Schwellen werden zwar als bewegliche betrachtet, aber zunächst nur nach aufwärts, indem eine starre Bettung vorausgesetzt wird, von der die Schwellen zwar abgehoben, in die sie aber nicht eingedrückt werden können. Später soll dann auch der Einfluß der Elastizität des Bettes berücksichtigt werden.
3. Die Verlaschung der Schienen kann einen verschiedenen Grad der Vollkommenheit besitzen. Hier wird entweder ganz volle oder Fehlen der Verlaschung vorausgesetzt, je nachdem das größere Moment entsteht.

### II. Geschichtliche Übersicht.

In der ersten Zeit des Eisenbahnbaues bestanden die Schienen aus kurzen gußeisernen, an beiden Enden unterstützten Abschnitten. Diese wurden bald durch längere schweißeiserner Schienen verdrängt, die aber immer noch an beiden Enden aufgelagert wurden und zur Erzielung genügender Stärke die Form eines Fischbauch-Trägers erhielten.

\*) Beobachtungen über die elastischen Formänderungen des Eisenbahn-Gleises. Von Alexander Wasiutynski. Organ für die Fortschritte d. Eisenbahnwesens, XXXVI. Band, 1899. Wiesbaden, C. W. Kreidels Verlag.

Bei diesen Schienen war das Biegemoment richtig durch die Gleichung ausgedrückt:

$$M = \frac{G l}{4},$$

worin  $G$  die Radlast,  $l$  die Entfernung der Stützen bezeichnet.

Die Mängel der zahlreichen Schienenstöße führten zur Verlängerung der Schienen, die aber nun der Stützung in mehreren Punkten ihrer Länge bedurften. Deshalb und um den Druck auf den ganzen Bahnkörper zu verteilen, unterstützte man die Schiene entweder durch Langschwelen, durch unterlegte Einzelblöcke oder durch mehrere Quer-Schwelen. Gleichzeitig verband man die Schienenenden mit Laschen, die anfangs nur den Zweck hatten, die seitliche Verschiebung der Schienenenden gegeneinander zu verhindern.

In dieser Gestalt entsprach die Schiene einem durchlaufenden Träger, ihre Berechnung wurde nun schwieriger. Bei Querswellen-Unterstützung wurde das Moment in einer mittlern Öffnung als das arithmetische Mittel zwischen den Momenten eines frei aufliegenden und eines an beiden Enden fest eingespannten Trägers angenommen

$$M_m = \frac{M + M_1}{2}; \quad M = \frac{1}{4} G l, \quad M_1 = \frac{1}{8} G l,$$

$$M_m = \frac{3}{16} G l = 0,1875 G l.$$

In der Endöffnung am Stofse, deren eines Ende frei aufliegt, wurde das Moment wieder als das arithmetische Mittel zwischen dem Momente der Mittelöffnung und dem des frei aufliegenden Trägers mit  $M_1 = \frac{M_m + M}{2} = \frac{3}{16} G l_1 + \frac{1}{4} G l_1 = \frac{7}{32} G l_1 = 0,2188 G l_1$  angenommen, worin  $l_1$  die Weite der Endöffnung bezeichnet. Durch Anbringung stärkerer Stofs-Laschen und Anwendung breitfüßiger Schienen, bei denen sich die Laschen dem Schienen-Querschnitte besser anschmiegen, hoffte man vollständige Gleichartigkeit des Schienenstranges zu erreichen. Dabei erschien dann die Anordnung schwebender Stöße berechtigt.

Da sich aber die in die Stofsausbildung gesetzten Erwartungen nicht bestätigten, führte man für das Moment der Stofsöffnung die Gleichung eines einseitig eingespannten Freitragers  $M_0 = -\frac{1}{2} G l_0$  ein, worin  $l_0$  die Teilung der Stofschwelen bezeichnet.

Lange Zeit wurden diese Gleichungen als zur Berechnung des nötigen Schienenquerschnittes hinreichend betrachtet, sie werden stellenweise noch heute verwendet. Der Ausdruck für das Moment über der ersten Schwelle neben dem Stofse  $M_0 = \frac{1}{2} G l_0$  ist bis jetzt von keiner Seite angefochten. Die Gleichung für diese Mittelöffnungen  $M_m = \frac{3}{16} G l = 0,1875 G l$  entspricht dem größten Momente eines unendlichen auf gleich hohen Stützen liegenden Trägers unter der bis jetzt anerkannten ungünstigsten Belastung, d. h. in der Mitte jedes zweiten Feldes ruhend. Folglich findet auch die dritte Gleichung  $M_1 = \frac{7}{32} G l_1$  ihre Berechtigung.

Dr. E. Winkler untersuchte diese Gleichungen und fand das größte Moment

$$M_m = 0,1888 G l^*$$

$$M_1 = 0,2190 G l.$$

Diese Ergebnisse Winklers weichen also von den geschätzten Gleichungen nicht wesentlich ab, können aber auch noch nur als Näherungswerte angesehen werden, denn sie berücksichtigen sehr viele Nebenwirkungen: die lotrechten Stöße, die Lastvergrößerung durch wagerechte Kräfte, den Einfluss der Bewegung der Last auf der durch Biegung der Schiene gekrümmten Bahn noch nicht. Winkler setzt deshalb selbst ein vergrößertes Moment  $M_I = 0,1888 (G + C) l$  ein:

$$M_{mI} = M \left( 1 + \frac{C}{G} \right); \quad C = \frac{M_{mI} G c^2}{E J g}$$

$$M_{mI} = \frac{M_m}{1 - 0,188 \frac{G l c^2}{E J g}} = \frac{M_m^{**})}{1 - \frac{M_m c^2}{E J g}}$$

worin  $c$  die Fahrgeschwindigkeit,  $g$  die Erdbeschleunigung bedeutet. Auch in Bezug auf diese Gleichung bemerkt Winkler: »Durch die Eindrückung der Schwelen wird der Einfluss der Krümmung der Bahn etwas vermindert, weil die Last nicht so hoch herabfällt, indem die Schwelen, wenn über ihnen das Rad liegt, stärker eingedrückt sind, als wenn das Rad die Mitte des Feldes erreicht hat.«

Diese Zweifel und die Steigerung der Anforderungen an die Schiene haben neue Versuche schärferer Untersuchung durch Theorie und Erfahrung veranlaßt.

Die Erfahrung lehrte, daß die Spannung der Schiene in der Tat höher ist, als man nach den theoretischen Formeln annehmen konnte.

Man versuchte Berichtigungsziffern in die Momentengleichungen einzuführen und diese theoretisch zu begründen. Bei diesen Untersuchungen stellte sich heraus, daß die von der Fahrgeschwindigkeit abgeleitete Gewichtsvermehrung auf gekrümmter Bahn unbedeutend ist oder gar verschwindet.

Das sehr empfindliche Beobachtungsverfahren Wasjutynskis, der die Schätzung von 0,001 mm Senkung gestattete, zeigte keine Senkungsunterschiede zwischen 20 und 70 km/St. Geschwindigkeit.

Viel bedeutender zeigte sich die Gewichtsvermehrung der Radlasten durch die Zusatzwirkungen der Fahrzeuge bei ihrer Bewegung als Folge der Art des Triebwerkes, der Unebenheiten der Bahn und der Beunruhigung durch die Schienenstöße. Diese lotrechten Zusatzwirkungen konnten aus den Federsenkungen unmittelbar abgelesen werden. Sie erwiesen sich am größten bei den dreiachsigen Lokomotiven. Durch die aufgezeichneten Schaulinien der Federsenkungen konnte ermittelt werden, daß diese Vergrößerung bei den Vorderrädern bis zu 130%, bei den Hinterrädern bis zu 74% der Last beträgt. Bei vierachsigen Lokomotiven vermindert sich der Zuschlag auf etwa 30%, bei Lokomotiven mit Laufachse oder Drehgestell vorn kann dieser Zusatz vernachlässigt werden.

Bei zwei- und dreiachsigen Wagen soll der Zuschlag nicht

\*) Vorträge über Eisenbahnbau. Dr. E. Winkler. Prag 1875. Verlag von H. Dominicus.

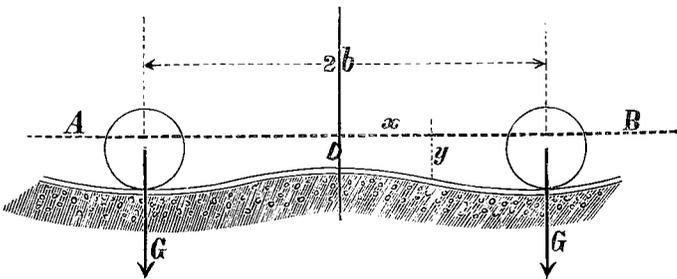
\*\*) Mit  $M_m$  wird das Moment bei ruhender Last bezeichnet.

5% bis 10% übersteigen. Aber auch die Einführung der so erhaltenen Gewichtsvermehrung in die angeführten Gleichungen hatte keine befriedigenden Ergebnisse. Bleibende Formänderungen der Schiene bewiesen, daß sie über die Elastizitätsgrenze hinaus angestrengt ist, was durch die aufgestellten Gleichungen nicht nachgewiesen wird.

Die Theorie nahm nun eine neue Quelle von Spannungen in Untersuchung, nämlich die bisher vernachlässigte elastische Senkung der Schienen-Unterlagen aus der Verbiegung der Schwellen und der Nachgiebigkeit der Bettung und des Untergrundes. Man bemühte sich, das Elastizitätsmaß, d. h. den elastischen Widerstand der Flächeneinheit dieser stützenden Teile zu bestimmen. Dann wurden Formeln aufgestellt, um den Einfluss dieser elastischen Senkung zu berücksichtigen.

Eine allgemeine Gleichung dieser Art wurde zuerst von E. Winkler aufgestellt und zur Berechnung des Langschwellen-Oberbaues angewendet (Textabb. 1).

Abb. 1.



Ist  $p$  die Pressung auf die Einheit der Schwellengrundfläche, so wird die Senkung  $y$  der Schwelle in geradem Verhältnisse zu dieser Pressung angesetzt:  $p = Cy$ , wobei  $C$  den elastischen Widerstand der Bettung für die Einheit der Fläche und der Senkung bedeutet. Bei der Schwellenbreite  $b$  wird der Druck für die Längeneinheit  $p b = C b y$ .

Die Differenzial-Gleichung der elastischen Linie lautet:

$$-\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{M}{E J}, \quad -\frac{d^4 y}{d x^4} = \frac{1}{E J} \frac{d^2 M}{d x^2}, \quad \text{und da } \frac{d M}{d x} = Q \text{ gleich}$$

der Querkraft und  $\frac{d Q}{d x} = \frac{d^2 M}{d x^2} = b p$ :

Der vierte Differenzialquotient der elastischen Linie ist

$$\text{also: } -\frac{d^4 y}{d x^4} = \frac{1}{E J} b p = \frac{C b}{E J} y.$$

Die Integration dieser Gleichung liefert:

$$y = \frac{G k}{2 C b B} [ \{ (e^{k l} + e^{-k l}) \sin k l + (e^{k l} - e^{-k l}) \cos k l \} \\ (e^{k x} + e^{-k x}) \cos k x + \{ (e^{k l} + e^{-k l}) \sin k l - (e^{k l} - e^{-k l}) \cos k l \} \\ (e^{k x} + e^{-k x}) \sin k x ],$$

in welcher Gleichung zur Abkürzung  $k = \sqrt[4]{\frac{C b}{H E J}}$  und  $B = e^{2 k l} + e^{-2 k l} - 2 \cos 2 k l$  gesetzt wurde. Die Gleichung des Momentes ist:

$$M = -\frac{G}{4 B} [ \{ (e^{k l} + e^{-k l}) \sin k l + (e^{k l} - e^{-k l}) \cos k l \} \\ e^{k x} - e^{-k x} \sin k x + \{ (e^{k l} + e^{-k l}) \sin k l - (e^{k l} - e^{-k l}) \cos k l \} \\ (e^{k x} + e^{-k x}) \cos k x ].$$

Diese Gleichungen beziehen sich auf Langschwellen, und  $l$  bezeichnet die halbe Lastentfernung.

Diese Formel schien nun alle die vorliegenden Umstände der Schiene zu berücksichtigen. Man strebte nur, die zugehörigen Wertziffern zu ermitteln, wie auch den Gleichungen eine übersichtlichere Form zu geben. Hier sind die Arbeiten L. Hofmanns, Lehwalds und Rieses, G. Schwartzkopfs zu nennen, die das wenig erfreuliche Ergebnis hatten, daß bei der Bestimmung der Trägerwirkung der Schiene\*): »abgesehen von der Unsicherheit der Theorie der Biegung im allgemeinen, der Umstand, daß zur Ermöglichung einer theoretischen Behandlung meistens Annahmen gemacht werden müssen, welche sich mit den wirklichen Verhältnissen wenig decken, eine große Genauigkeit der Rechnung entbehrlich macht und eine Vereinfachung der ziemlich verwickelten strengen Formeln wünschenswert ist.«

Bei diesem Stande der Sache befürwortet hiergegen Dr. H. Zimmermann\*\*): »die Anwendung der strengen Formeln, die bei Benutzung geeigneter Hälfstafeln keineswegs sehr umständlich ist.« Ferner sagt er: »Da der Gebrauch der Näherungs-Formeln in manchen Fällen entweder langwierige Untersuchung über deren Genauigkeitsgrad erfordert oder zu täuschenden Ergebnissen führen kann, so dürften die genauen Formeln im allgemeinen zu bevorzugen sein.«

Dr. H. Zimmermann wendet die Winklerschen Gleichungen zur Berechnung jener Oberbau-Bestandteile an, die auf ihrer ganzen Länge aufliegen, wie Lang- und Querschwellen und Schienen-Laschen. Obwohl er zahlreiche Hälfstafeln mit Zahlenwerten und Schaulinien mitteilt, mußte er zur Berechnung der Schienen mit Querschwellen-Oberbau auf die Clapeyronschen Gleichungen zurückgreifen und bei Aufstellung seiner »Grundgleichungen für den Träger auf elastischen Stützen« den von Winkler und Löwe gezeigten Weg einschlagen. Zum Schlusse ist er genötigt, sich mit »Allgemeinen Näherungs-Formeln für das größte Moment« zu begnügen. Nach Zimmermann ist:

$$M = \frac{8 \gamma + 7}{4 \gamma + 10} \frac{G a}{4}$$

Die Grundlage dieser Formel bildet der auf nur vier Stützen liegende Stab bei Mittelbelastung durch eine Einzel-Last, sie entspricht also der tatsächlichen Belastung der Schienen nicht. — Für den Zahlenwert  $\gamma$  gibt Zimmermann

$$\text{bei } C = 3 \text{ bis } 8, \\ \gamma = 1,28 \text{ bis } 0,83,$$

also folgt für das größte Moment

$$M_{\max} = 0,32 G a \text{ bis } 0,225 G a.$$

Daß dieses zwischen weiten Grenzen angegebene Ergebnis den Erfordernissen des Bahnbaues noch nicht entspricht, leuchtet ein. Man gewinnt aus der Fassung des Werkes den Eindruck, daß auch der Verfasser das Erzielte noch nicht als abschließende Lösung ansieht.

\*) Schwartzkopf, Der eiserne Oberbau. 1882.

\*\*\*) Die Berechnung des Eisenbahn-Oberbaues von Dr. H. Zimmermann. — Berlin 1888.

Weiter ist noch der theoretischen Forschungen F. Loewes\*) zu gedenken. Über sie spricht sich Zimmermann (S. 230) wie folgt aus:

»In der Tat kann M, wie Loewe gezeigt hat, schon unter gewöhnlichen Verhältnissen den Wert 0,3 Pa\*\*) annehmen, ausnahmsweise aber etwa bis 0,4 Pa steigen. Das Verfahren, welches der genannte Forscher anwendet, beruht allerdings teilweise auf ziemlich unsicheren Schätzungen, deren Richtigkeit schon in Zweifel gezogen worden ist.«

Wenn sich Zimmermann so zweifelnd über die Forschungen Loewes äußert, so ist doch hervorzuheben, daß das Verfahren Loewes an Klarheit und Folgerichtigkeit nichts zu wünschen übrig läßt. Er stellt keine allgemeinen Näherungs-Gleichungen auf und beschränkt sich auf die strenge Anwendung der Clapeyronschen Gleichungen zur Berechnung der Momente bei der Belastung der Schiene mit verschiedenen bayerischen Lokomotiven, indem er die elastische Senkung der Stützen in Rechnung zieht. Auch bei dem Verfahren der Berechnung der Stützen-Senkungen hält er sich streng an Winklers elastische Linie der Schwelle. Somit haben die Forschungen Loewes einen unbestreitbaren Wert, und die Zweifel Zimmermanns erscheinen nicht begründet, obwohl die Loeweschen Ergebnisse mit denen der Zimmermannschen Näherungs-Formeln nicht immer übereinstimmen.

Beide Forscher zeigen eine große Anhänglichkeit an die Winklerschen Belastungs-Fälle, die sie bei der Bestimmung des größten Momentes beibehielten. Loewe erkennt dies ausdrücklich an, und er führt, um größere Werte zu erhalten, aufsergewöhnliche Bahnzustände ein, wie ungleich harte Unterstopfung oder Hohlliegen einzelner Schwellen. Bei diesen Voraussetzungen erhält er Momente bis zu 0,44644 P.l. bei Belastung durch eine einzelne Last, und bis 0,4309 P.l. bei Belastung durch die Lokomotive.

Loewe sagt selbst bezüglich seiner Ergebnisse folgendes: »Erklären wir nun eine Stützensenkung von 6 mm unter einem Raddrucke von 7000 kg als keineswegs übermäßig, wodurch dann eine Bettungskonstante  $C = \text{rund } 14$  zur Anerkennung käme (und damit möchten wohl die Betriebs-Ingenieure einverstanden sein), so lassen sich weiter auch folgende Sätze vertreten:

»Es ist mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, daß an dem Holzquerschwellen-Oberbaue der bayerischen Staatsbahnen:

- a) durch ruhig stehende dreiachsige Lokomotiven CIII unter ganz normalen Verhältnissen Angriffs-Momente von der Größe

$$M = 0,2150 (6600 \cdot 90) \text{ kgcm}$$

- b) ebenso durch eine zweiachsige Lokomotive Momente bis zu

$$M = 0,2800 (6600 \cdot 90)$$

hervorgerufen werden.

\*) Zur Frage der Betriebsicherheit der Eisenbahngleise, speziell der wirklichen Anstrengungen der Fahr-Schiene. F. Loewe. — Wiesbaden. C. W. Kreidels Verlag. 1883. Sonderdruck aus Organ 1883, S. 125, 177.

\*\*) P ist Raddruck, a die Schwellenteilung.

Über einer hohl gelagerten Schwelle kann schon die dreiachsige Lokomotive CIII Angriffe von der Größe rund

$$M = 0,3500 (6600 \cdot 90)$$

bewirken. Die dreiachsige Lokomotive DV liefert noch größere Werte

$$M = 0,3800 (6600 \cdot 90)$$

und die zweiachsige DIV sogar Angriffs-Momente bis zu dem Betrage von

$$M = 0,39990 (6600 \cdot 90).$$

Die Zurückhaltung Loewes in der Bewertung dieser Formeln geht so weit, daß er statt der Buchstaben P und a deren Einzelwerte einsetzt, um jeden Schein allgemeiner Gültigkeit zu vermeiden.

Nach Abschluß seines strengen rechnerischen Verfahrens untersucht Loewe den Einfluß des Bewegtseins der Verkehrslasten und zwar:

- a) auf die Zunahme  $\varphi_1$  der Raddrucke infolge der Bewegungen der Lokomotive,
  - b) auf die lotrechte Fliehkraft und Stofswirkung der bewegten Lasten  $\varphi_2$ ,
  - c) auf den Wechsel der Größe der Spannung  $\varphi_3$ ,
- und somit erhält er für das Moment bei einer dreiachsigen Lokomotive

$$M = 0,2150 (1 + \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) 6600 \cdot 90.$$

Die Größen  $\varphi_1$   $\varphi_2$   $\varphi_3$  schätzt Loewe auf  $\varphi_1 = 0,25$ ,  $\varphi_2 = 0,69$  und  $\varphi_3 = 1$ , so daß nach diesen Schätzungen

$$1 + \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 2,94$$

wird. Bei regelmäßigem Bahnzustande lautet also der Ausdruck für das Moment

$$M = 2,94 \cdot 0,2150 \cdot Pl = 0,6321 Pl$$

und bei Mängeln in der Bahnlage

$$M = 2,94 \times 0,3800 Pl = 1,0271 Pl.$$

Es würde zu weit führen, wenn hier eine eingehende Beurteilung der aufgeführten Arbeiten und eine erschöpfende Darstellung der diese Frage betreffenden Veröffentlichungen\*) unternommen würde. Als wichtige Ergebnisse des Mitgeteilten sind die folgenden namhaft zu machen.

Das Moment beträgt:

nach der schätzenden Formel  $M_m = 0,1875 Gl$

nach Winkler . . . . .  $M = 0,1888 Gl$

nach Zimmermann . . . . .  $M = 0,255 \text{ bis } 0,32 Gl$

nach Loewe . . . . .  $M = 0,215 \text{ bis } 0,3999 Gl$

und bei bewegten Lasten

nach Loewe . . . . .  $M = 0,6321 \text{ bis } 1,0272 Gl$

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, wie wünschenswert ein klarer Einblick in den Einfluß der Radwirkung der Fahrzeuge auf die Eisenbahnschiene ist; denn es kann dem Betriebs-Ingenieur, der die Verantwortung für die Sicherheit der Bahn trägt, nicht gleichgültig sein, ob die Schiene mit 1000 kg/cm nach der ersten Gleichung oder mit 5500 kg/cm nach der letzten beansprucht wird. Deshalb nimmt der Verfasser diese wichtige Frage von neuem auf.

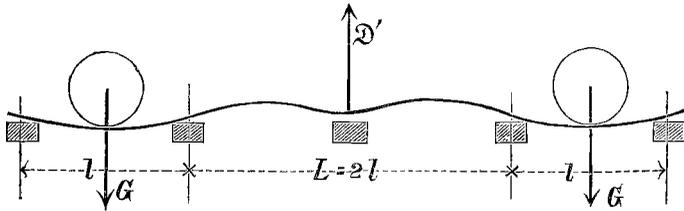
\*) Besonders hervorzuheben ist noch aus neuester Zeit die Arbeit von Vianello, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1904, I, S. 128, 161, in der die zeichnerische Behandlung des durchlaufenden Trägers auf die elastische Stützung ausgedehnt wird.

**III. Ungünstigste Belastungsweise.**

Gemäß dem in der Einleitung Gesagten soll nur die auf Querschwellen gelagerte Schiene untersucht werden.

Werden die Schwellen zunächst als starre Stützen betrachtet und die bekannten Gleichungen des durchlaufenden Trägers für verschiedene Lastverteilung auf sie angewendet, so wird der Schwellendruck bei Belastung jedes dritten Feldes nach Textabbildung 2 auf der mittlern Schwelle ein Negativ, die Schiene hat das Bestreben, die Schwelle emporzuheben.

Abb. 2.



Winkler berechnet, daß die aufwärts wirkende Kraft  $D$  für eine Schiene bis auf 1700 kg steigt. Da nun das Eigengewicht der Schiene und der halben Schwelle nebst der Schotterreibung auf höchstens 10 bis 150 kg geschätzt werden kann, so bleibt noch eine anlüftende Kraft von 1550 bis 1600 kg über, die die Schwelle hebt, bis Gleichgewicht eintritt.

Bei diesem Verhalten der Schiene können die unbelasteten Felder nicht als zwei Öffnungen angesehen werden, sondern nur als eine der Länge  $L = 2l$ , die in der Mitte mit dem Schwellengewicht belastet ist.

Hebt sich nun die Mittelschwelle, so werden sich die Lastangriffspunkte senken, das Angriffsmoment wird also größer.

Sind zwischen den Lasten mehrere, etwa  $n$ -Öffnungen unbelastet, so werden  $n-1$  Schwellen angehoben, der Abstand der Radlasten ist dann  $a = (n+1)l$ , und die unbelasteten Schwellen liefern eine Reihe von Lasten  $p$  in der Teilung  $l$ .

Die Zahl  $n$  kann aber nicht beliebig wachsen, denn bei einem gewissen Lastabstande  $a$  wird der Schienenteil zwischen den Radlasten durch die daran hängenden Schwellen niedergedrückt und in entgegengesetztem Sinne gebogen.

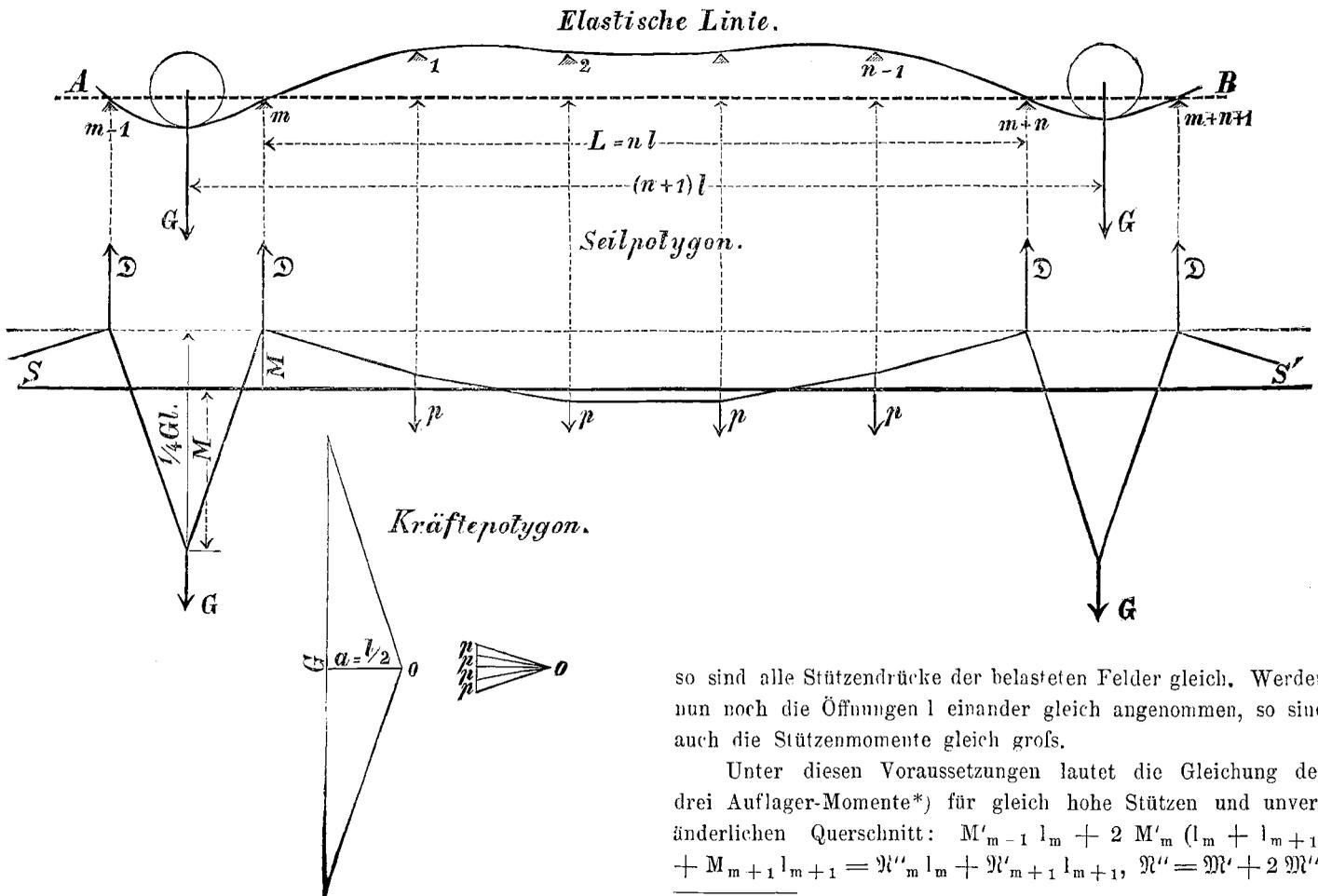
Um das größte Moment zu finden, muß die Gleichung der Momente innerhalb dieser Grenze aufgestellt werden.

Die Radlasten  $G$  in der Mitte jedes  $(n+1)$ ten Feldes und das Schwellengewicht  $p$  seien gegeben, dann kann nach Textabb. 3 die Momentendarstellung als Seileck ermittelt werden, wenn die Höhenlage der Schlußlinie  $SS'$  feststeht.

Auch dies könnte zeichnerisch geschehen, doch mag hier der leichter nachzuprüfende Weg der Rechnung eingeschlagen werden.

Wird die Schiene als voll verlascht, daher unendlich lang, und jede Last  $G$  als mitten in einem Felde stehend angenommen,

Abb. 3.



so sind alle Stützendrucke der belasteten Felder gleich. Werden nun noch die Öffnungen  $l$  einander gleich angenommen, so sind auch die Stützenmomente gleich groß.

Unter diesen Voraussetzungen lautet die Gleichung der drei Auflager-Momente\*) für gleich hohe Stützen und unveränderlichen Querschnitt:  $M'_{m-1} l_m + 2 M'_m (l_m + l_{m+1}) + M_{m+1} l_{m+1} = \mathfrak{N}''_m l_m + \mathfrak{N}''_{m+1} l_{m+1}$ ,  $\mathfrak{N}'' = \mathfrak{N}' + 2 \mathfrak{N}''$ ;

\*) Winkler, Brückenbau.

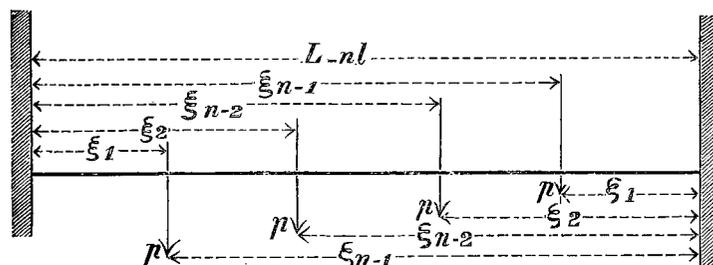
$\mathfrak{N}' = 2 \mathfrak{M}' + \mathfrak{M}''$ .  $\mathfrak{M}$  bedeutet das Auflager-Moment eines wagrecht eingespannten Trägers, das durch die Belastung der entsprechenden Öffnung hervorgerufen werden würde, und zwar:  $\mathfrak{M}'$  am linken,  $\mathfrak{M}''$  am rechten Auflager. Wegen vollständiger Symmetrie wird  $M'_{m-1} = M'_m = M'_{m+1} = M'$ ;  $l_m = l$ ,  $l_{m+1} = nl$ ,  $\mathfrak{M}'_m = \mathfrak{M}''_m = \mathfrak{M}_1$  für die kleine und  $\mathfrak{M}'_{m+1} = \mathfrak{M}''_{m+1} = \mathfrak{M}_2$ , demnach wird  $\mathfrak{N}'_m = 3 \mathfrak{M}_1$ ;  $\mathfrak{N}'_{m+1} = 3 \mathfrak{M}_2$ , und die allgemeine Gleichung lautet für diesen Fall:

$$\text{Gl. I) } \dots \dots \dots M' = \frac{\mathfrak{M}_1 + n \mathfrak{M}_2}{n + 1}$$

Für die kleine Öffnung ist weiter  $\mathfrak{M}_1 = -\frac{G l}{8}$ . In der großen Öffnung ist nach Textabb. 4

$$\mathfrak{M}_2 = -\frac{p}{L^2} (\xi_1 \xi_1^2 + \xi_2 \xi_2^2 + \xi_3 \xi_3^2 \dots + \xi_{n-1} \xi_{n-1}^2)$$

Abb. 4.



Da nun  $\xi_1 = l$ ,  $\xi_2 = 2l$ ,  $\xi_3 = 3l$ ,  
 $\xi_1 = (n-1)l$ ,  $\xi_2 = (n-2)l$ ,  $\xi_3 = (n-3)l$ ,  
 und  $L = nl$  ist, so wird  
 $\mathfrak{M}_2 = -\frac{p l}{n^2} (n-1)^2 + 2(n-2)^2 + 3(n-3)^2 \dots (n-2)$   
 $[n - (n-2)]^2 + (n-1)[n - (n-1)]^2$   
 oder nach ausgeführter Summierung

$$\mathfrak{M}_2 = p l \left( \frac{n^2 - 1}{12} \right)$$

Setzt man diese Werte  $\mathfrak{M}_1$  und  $\mathfrak{M}_2$  in Gl. I) ein, so folgt für das Auflagermoment:

$$\text{Gl. II) } \dots \dots M' = -\frac{G l}{24} \frac{3 + 2n(n^2 - 1)}{n + 1}$$

Werden in Textabb. 3 die Momente unter der Schlußlinie positiv, über ihr negativ genannt, so ist der Wert  $M^1$  über der Schlußlinie aufzusetzen. Für bestimmte Werte von  $n$  und  $\frac{p}{G}$  ist  $M^1$  durch diese Gleichung angegeben, also liegt das ganze Seileck fest.

Das Moment im Kraftangriffspunkte wird nach dem Seilecke

$$M = \frac{1}{4} G l + M'$$

Obwohl  $M'$  in Textabb. 3 von der Größe  $\frac{1}{4} G l$  abzuziehen ist, ist doch  $+$  gesetzt, um für die Momente einheitliche Vorzeichnung durchzuführen. Die Formel für  $M$  lautet:

$$\text{Gl. III) } M = \frac{1}{24} G l \left( 6 - \frac{3 + 2n(n^2 - 1)}{n + 1} \frac{p}{G} \right)$$

Aus Gl. III) kann der Wert von  $n$  bestimmt werden, bei dem das Moment  $M$  seinen größten Wert erreicht, indem der kleinste Wert des abzuziehenden Gliedes ermittelt wird:

$$\delta \left( \frac{3}{n+1} + 2n(n-1) \frac{p}{G} \right) \frac{1}{dn} = 0 \text{ gibt:}$$

$$-\frac{3}{(n+1)^2} + 2(2n-1) \frac{p}{G} = 0$$

$$(n+1)^2 (2n-1) = \frac{3}{2} \frac{G}{p}$$

Ist nun  $p = 100 \text{ kg}$ ,  $G = 6600 \text{ kg}$ , so wird  
 $(n+1)^2 (2n-1) = 99$ .

Die Einsetzung der ganzen Zahl  $n$  mit 1, 2, 3, 4 liefert:

$n$	$(n+1)^2 (2n-1)$
1	4 (< 99)
2	27 (< 99)
3	80 (< 99)
4	175 (> 99)

$n = 3$  liegt also dem Wurzelwerte der Gleichung am nächsten, daher wird  $n = 3$  in Gl. II) und III) eingesetzt, dann ergibt sich:

$$\text{Gl. II a) } \dots M'_{gr} = -\frac{G l}{32} \left( 1 + 16 \frac{p}{G} \right)^*$$

$$\text{Gl. III a) } \dots M_{gr} = -\frac{G l}{32} \left( 7 - 16 \frac{p}{G} \right)$$

Werden die Werte von  $p = 100$  und  $G = 6600$  eingesetzt, so folgt:

$$M'_{gr} = -0.038826 G l$$

$$M_{gr} = 0.211174 G l$$

Das Angriffsmoment  $M$  fällt also bei der Belastung jedes vierten Feldes größer aus, als bei der Winklerschen Lastverteilung, die nur  $M_{gr} = 0,1888 G l$  ergibt.

Das Moment hängt von dem Verhältnisse  $\frac{p}{G}$  ab. Ist dieses kleiner als angenommen wurde, etwa weil die Schwellen nicht voll im Schotter liegen, oder weil die Schienennägel nicht festsetzen, sodafs sich die Schiene abheben kann, ohne die Schwellen zu heben, so wird  $M_{gr}$  größer.

Es ist nicht unsere Absicht, diese Werte weiter zu verfolgen, hier sollte nur auf leicht falsche Weise der Beweis geführt werden, dafs:

1. bei der Berechnung der Schiene nicht dasselbe Verfahren anzuwenden ist, wie bei der Berechnung der Brückenträger, weil die negativen Stützdrücke keine genügende Gegenwirkung finden;
2. aus diesem Grunde die ungünstigste Belastungsweise der Schiene eine andere ist, als die der Brückenträger;
3. bei Annahme starrer Stützen nicht die für die Winklerschen Belastungsfälle berechneten Momente die größten sind, sondern die einem größern Achsstande entsprechenden.

\*)  $M'_{gr}$  ist der kleinste negative Wert des Momentes.

#### IV. Elastisches Auflager.

Im vorigen Abschnitte wurde die Schiene als ein auf festen Auflagern ruhender Stab betrachtet, und es wurde bewiesen, daß das Angriffsmoment wächst, wenn der Lastabstand über das von Winkler eingeführte Maß hinausgeht, namentlich, daß das größte Moment für das Verhältnis  $\frac{p}{G} = \frac{1}{40}$  bis  $\frac{1}{80}$  bei der Belastung jedes vierten Feldes eintritt.

Nun ist weiter zu untersuchen, ob das Moment bei nachgiebiger Stützung zu- oder abnimmt.

Im Betriebe wird nicht selten behauptet, daß ein elastisches Auflager das Verhalten der Schienen begünstige, deshalb wird oft das harte Unterstopfen der Schwellen untersagt. Man findet bei einzelnen Bahnverwaltungen Vorschriften, nach denen den elastischeren Schotterarten der Vorzug gegeben werden soll. Auch findet man weiche Unterlagen aus Filz, Papier oder Gummi empfohlen, um das sogenannte »harte Fahren« zu verhüten. Die häufigen Schienenbrüche im Winter schreibt man vielfach dem harten Fahren infolge des Gefrorenseins des Schotters u. Die Aufklärung dieser Fragen soll nun versucht werden.

Nach der für starre Stützung und Belastung jedes vierten Feldes entwickelten Formel

$$M = \frac{G l}{32} \left( 7 - 16 \frac{p}{G} \right)$$

nimmt das Öffnungsmoment mit wachsendem Gewichte der Schwellen ab. Wenn sich nun die das belastete Feld begrenzenden Schwellen um das Maß des Biegungspfeiles der Schwellen tragenden Punkte des aufgebogenen Schienenteiles senkten, so würden sich die früher emporgehobenen Schwellen wieder auf ihr Bett legen und keine Last auf die Schiene übertragen,  $p$  wird = 0, also die Momentengleichung

$$M = \frac{7}{32} G l = 0,21875 G l.$$

Bei elastischer Senkung der Stützen wird das Angriffsmoment also wachsen.

Ist die Senkung der Stützen der belasteten Felder aber größer, als die Aufbiegung der unbelasteten, so tritt an den Schwellen eine nach oben gerichtete Kraft  $-p_1$  auf, und die Momentenformel lautet dann:

$$M = \frac{G l}{32} \left( 7 + 16 \frac{p_1}{G} \right),$$

also wächst das Moment unter der Last durch die Schwellensenkung.

Wären nun die Gegendrucke  $p_1$  bekannt, so könnte aus der Gleichung die Größe des Momentes bestimmt werden. Auch ohne diese Bekanntschaft ist schon hier festzustellen, daß die Werte  $p_1$  und das Moment unter der Last um so größer werden, je tiefer die Einsenkung ist.

#### V. Das Elastizitätsmaß, die Schwellenziffer.

Die elastische Senkung  $s$  der Schwelle wird als in geradem Verhältnisse zu dem Stützdrucke  $p_1$  stehend angenommen:

$$p_1 = \eta s.$$

Wenn diese Annahme auch nicht sicher begründet ist, neuerdings vielmehr angefochten wird\*), so stehen andere Gesetze doch noch nicht so fest, daß sie eingeführt werden könnten, auch ist diese Frage bei der stets geringen Größe von  $s$  nicht von erheblichem Belange.

Besonders zu betonen ist, daß  $p_1$  nicht einen Raddruck sondern den Druck der Schiene auf die Schwelle bedeutet, dem der Schwellengegendruck gleich sein muß.

Weiter ist  $s$  das Maß des elastischen Sinkens der Stütze, also der Schwellenoberfläche unter dem Schienenfusse. Da diese Senkung durch die Pressung des Schienenfußes hervorgerufen wird, so ist  $s$  auch das Maß der Senkung des Schienenfußes selbst.

In der Gleichung  $p_1 = \eta s$  ist  $\eta$  eine Wertziffer, die das unveränderliche Verhältnis  $\eta = \frac{p_1}{s}$  anzeigt,  $\eta$  ist danach derjenige Druck, der nötig ist, um die Schwelle um eine Längeneinheit, hier 1 cm, niederzudrücken,  $\eta$  hat also die Einheitsbezeichnung kg/cm.

Diese Kraft  $\eta$  wird das Elastizitätsmaß oder die »Schwellenziffer« genannt. Die Bezeichnung  $\eta$  soll die Verwandtschaft mit der Elastizitätszahl  $E$  in Erinnerung bringen.

$\eta$  kann nicht ein für allemal bestimmt werden, wie die Elastizitätszahl  $E$  bei den gleichartig aufgebauten Baustoffen, denn der elastische Widerstand des Schienenauflegers ist nicht nur bei verschiedenen Oberbauarten, sondern auch bei verschiedenen Schwellen derselben Oberbauart verschieden.

Aus diesen Gründen soll  $\eta$  durch unmittelbare Beobachtung auf der zu untersuchenden Bahnstrecke bestimmt werden.

Zu diesem Zwecke wird ein Schienenpaar entlascht, und mit einem Fahrzeuge bekannten Gewichtes belastet.

Nun beobachtet man an allen Schwellen beider Schienen die Senkungen  $s_1, s_2, s_n$  und stelle deren Summe  $S$  fest.

Ist die Lastverteilung auf die einzelnen Schwellen einer Schiene  $p_1, p_2, p, \dots, p_n$ , so ist  $p_1 + p_2 + p \dots p_n = \sum p = P$ , so folgt, da für die einzelnen Schwellen  $p_1 = \eta s, p_2 = \eta s_2 \dots p_n = \eta s_n$  ist,  $\sum p = \eta \sum s, \eta = \frac{\sum p}{\sum s} = \frac{P}{S}$ .

Diese Beobachtung kann mit beliebiger Genauigkeit ausgeführt werden, da sie bei ruhender Belastung auszuführen ist. Da in der Regel nur sehr kleine Senkungen zu messen sind, so sollten sie mit Vergrößerungs- oder Noniusvorrichtungen abgelesen werden.

Die Schwellenziffer  $\eta$  ist je nach der Bauart der Bahn verschieden; sie hängt von der Elastizität des Bahnkörpers, des Schotters und des Schwellenstoffes, dann auch von Länge, Breite und Stärke der Schwellen und Unterlageplatten ab.

Um im Laufe der Untersuchung Beispiele rechnen zu können, soll  $\eta = 10$  t gesetzt werden, damit ist angenommen, daß sich die Schiene um 1 mm unter 1 t Last senkt. Das entspricht übrigens einem Mittelwerte der Schwellenziffer bei Oberbau mit Holzquerschwellen.

\*) Organ 1906, S. 269; 1907, S. 265.

### VI. Momentengleichung bei elastischer Stützung.

Für ein Lastfeld wurde oben bei dem Gegendrucke  $p_1$  der Zwischenschwellen gefunden:

$$M = \frac{G l}{32} \left( 7 + 16 \frac{p_1}{G} \right).$$

Würde nun die Senkung  $s_1$  der Zwischenschwellen beobachtet, so könnte  $p_1 = \eta s_1$  eingesetzt und  $M$  berechnet werden.

Dieser Vorgang zur Bestimmung des Schwellendruckes  $p_1$  durch unmittelbare Beobachtung der Schwellensenkung in jedem einzelnen Falle wäre aber zu umständlich. Der Schwellendruck soll nach Festsetzung der Schwellenziffer  $\eta$  durch Rechnung ermittelt werden.

Bevor diese Berechnung der Druckverteilung vorgenommen wird, sollen erst die Momentengleichungen der Schiene auf elastischen Stützen für verschiedene Belastungsfälle aufgestellt werden.

Die allgemeine Gl. II) des Stützenmomentes für unelastische Stützung der Schiene war

$$M' = - \frac{G l}{24} \frac{3 + 2n(n-1)}{n+1} \frac{p}{G}.$$

Sie ist unter der Annahme abgeleitet, daß  $p$ , das Schwellengewicht, bei allen abgehobenen Schwellen denselben Wert hat, und abwärts wirkt.

Werden nun infolge der Eindrückung der Last zunächst liegenden Stützen auch die unbelasteten Schwellen durch die Schiene in das Schotterbett geprefst, so tritt an jeder Schwelle ein aufwärts wirkender Gegendruck  $p_1, p_2, p_3$  auf.

Die Gleichung für  $M'$  kann unverändert nur so lange benutzt werden, wie alle Werte  $p_1, p_2 \dots$  einander gleich sind, und das tritt ein für  $n=2$ , denn dann ist nach Textabb. 3 nur ein  $p_1$  vorhanden und für  $n=3$ , denn dann ist an zwei Zwischenschwellen  $p_1 = p_2$ . Diese Fälle liefern nach Umkehrung des Vorzeichens von  $p$ :

$$\text{für } n=2. \quad M' = - \frac{G l}{24} \left( 1 - 4 \frac{p_1}{G} \right)$$

$$\text{für } n=3. \quad M' = - \frac{G l}{32} \left( 1 - 16 \frac{p_1}{G} \right)$$

Zur Aufstellung von Gleichungen für größere Lastabstände dient die allgemeine Gleichung 1):

$$M' = \frac{\mathfrak{M}_1 + n \mathfrak{M}_2}{n+1}.$$

Auch hier ist für das belastete Feld:

$$\mathfrak{M}_1 = - \frac{1}{8} G l.$$

Für die Strecke zwischen den Lastfeldern sind die Schwellendrucke nur ungleich und nach unten gerichtet. Sie liefern:

$$\mathfrak{M}_2 = + \frac{1}{n^2} \left( (n-1)^2 p_1 + 2(n-2)^2 p_2 - 3(n-3)^2 p_3 \right. \\ \left. + (n-2)^2 p_{n-1} + (n-1) p_{n-1} \right),$$

worin gleichweit von der Mitte liegende  $p$ -Werte gleich sind, also  $p_1 = p_{n-1}, p_2 = p_{n-2} \dots$

Werden also je zwei Glieder, die sich auf zwei gleichweit von der Mitte liegende Schwellen beziehen, zusammengezogen,

so daß nur  $\frac{n-1}{2}$  Glieder verbleiben, so entsteht:

$$\mathfrak{M}_2 = \frac{1}{n} \left\{ (n-1) p_1 + 2(n-2) p_2 + 3(n-3) p_3 \text{ bis zum } \frac{n-1}{2} \text{ Glieder} \right\}.$$

Ist  $n$  gerade, so wirkt ein  $p$ -Wert mitten, dann darf die Reihe nur aus  $\frac{n-2}{2}$  Gliedern gebildet werden, das  $\frac{n-1}{2}$  Glied ist zur Hälfte hinzuzusetzen; ist  $n$  ungerade, so werden volle  $\frac{n-1}{2}$  Glieder benutzt, da dann jeder  $p$ -Wert auf der andern Seite wiederkehrt. Die entsprechenden Werte von  $\mathfrak{M}_2$  sind:

$$\text{für } n=1 \quad n \mathfrak{M}_2 = 0,$$

$$\ll n=2 \quad n \mathfrak{M}_2 = + \frac{p_1 l}{2},$$

$$\ll n=3 \quad n \mathfrak{M}_2 = + 2 p_1 l,$$

$$\ll n=4 \quad n \mathfrak{M}_2 = + \left( 3 p_1 + \frac{2 \cdot 2}{2} p_2 \right) l,$$

$$\ll n=5 \quad n \mathfrak{M}_2 = + \left( 4 p_1 + 6 p_2 \right) l,$$

$$\ll n=6 \quad n \mathfrak{M}_2 = + \left( 5 p_1 + 8 p_2 + \frac{3 \cdot 3}{2} p_3 \right) l.$$

Werden diese Werte für  $\mathfrak{M}_1$  und  $n \mathfrak{M}_2$  in die Grundgleichung I eingesetzt, so entsteht für die Stützenmomente bei verschiedenen Last-Entfernungen

$$\text{Gl. IV) } \left\{ \begin{array}{l} \text{für } n=1 \quad M'_1 = - \frac{G l}{16}, \\ \ll n=2 \quad M'_2 = - \frac{G l}{24} \left( 1 - 4 \frac{p_1}{G} \right), \\ \ll n=3 \quad M'_3 = - \frac{G l}{32} \left( 1 - 16 \frac{p_1}{G} \right), \\ \ll n=4 \quad M'_4 = - \frac{G l}{40} \left( 1 - 8 \frac{3 p_1 + 2 p_2}{G} \right), \\ \ll n=5 \quad M'_5 = - \frac{G l}{48} \left( 1 - 16 \frac{2 p_1 + 3 p_2}{G} \right), \\ \ll n=6 \quad M'_6 = - \frac{G l}{56} \left( 1 - 8 \frac{5 p_1 + 8 p_2 + \frac{9}{2} p_3}{G} \right). \end{array} \right.$$

So kann die Gleichung des Stützenmomentes  $M'$  für jeden Wert von  $n_2$ , also für jeden Lastabstand  $(n+1)l$  aufgestellt werden. Die sechs Gleichungen genügen aber, um das größte Moment aufzufinden.

Mit Hilfe dieser Gleichungen können auch die Gleichungen des Angriffsmomentes  $M$  für verschiedene Lastabstände aufgestellt werden nach:

$$M = \frac{1}{4} G l + M'.$$

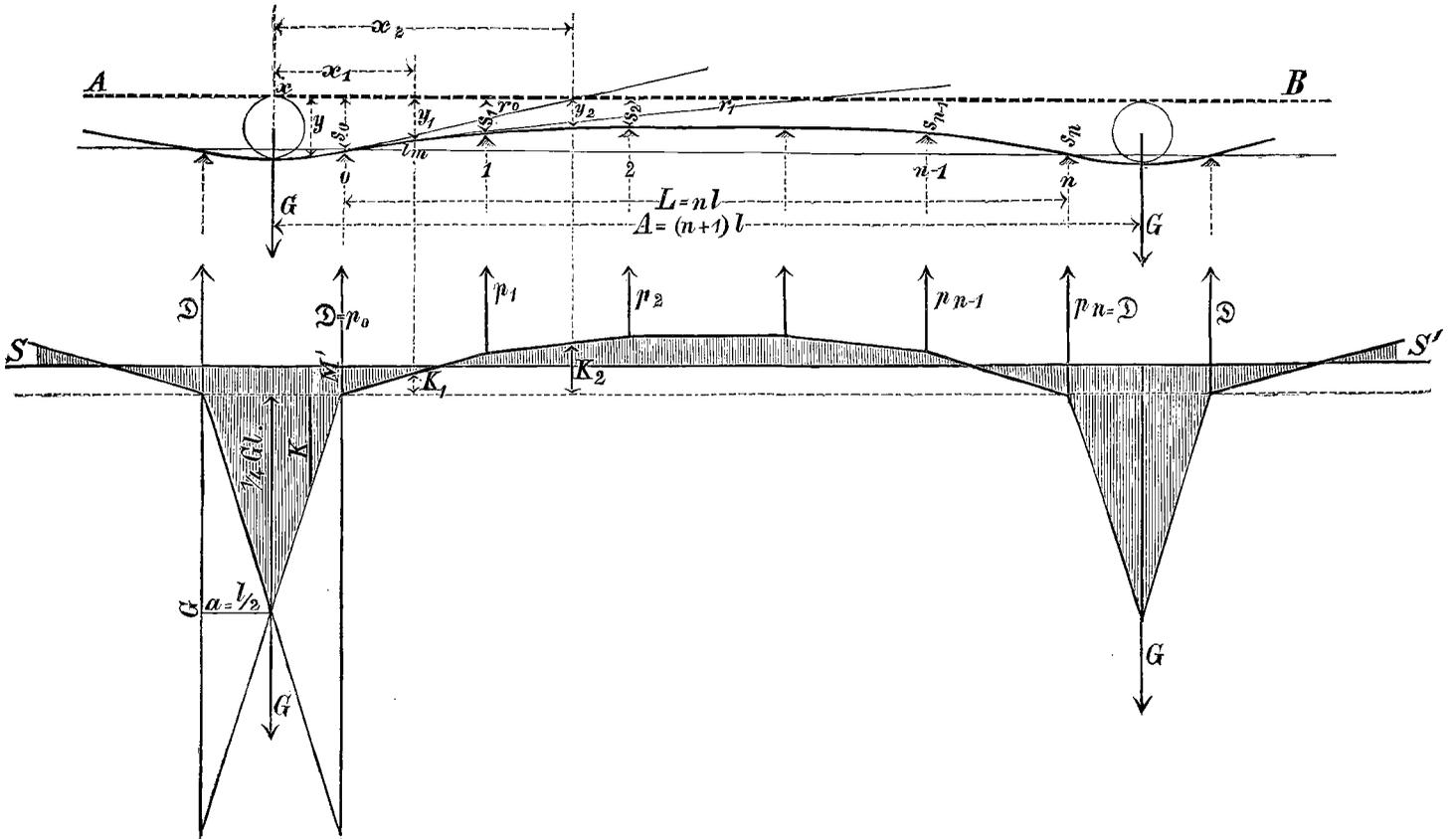
Zunächst sind aber die noch unbekanntenen Schwellendrucke  $p_1, p_2, p_3$  zu berechnen.

### VII. Gleichungen der Druckverteilung, Schwellengegendruck.

Ist  $\eta$  versuchsweise ermittelt, so ist  $p_1 = \eta s_1, p_2 = \eta s_2, p_3 = \eta s_3 \dots$

Ist ferner in Textabb. 5 A B die ursprüngliche Lage der Schiene, so sind  $s_1, s_2, s_3 \dots s_{n-1}$  die Höhenmaße der elastischen Linie in den Schwellenpunkten 1, 2, 3  $\dots$   $n-1$ . Nun ist die elastische Linie eines gleichförmigen Stabes eine

Abb. 5.



Seillinie, für die die veränderliche Last auf die Längeneinheit das Moment  $M$  und der Polabstand  $= EJ$  ist. Aus diesem Zusammenhänge der elastischen Linie mit der Druckverteilung werden wir trachten, für die noch unbekanntes Schwelldrücke bekannte Ausdrücke zu gewinnen.

Betrachtet man einen unendlichen Träger mit einer unendlichen Reihe von Lasten, deren gleicher Abstand  $A = (n + 1)l$  ist, und deren jede in der Mitte einer Lastöffnung liegt, so besteht für jeden Punkt desselben die zweite Differentiale der elastischen Linie

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

und weiter für jeden  $M_x = X + M'$ , wenn mit  $X$  das Moment eines der berücksichtigten Öffnung gleichen, frei aufliegenden Trägers bezeichnet wird.

Wird der Anfang eines Achsenkreuzes in die Mitte der Lastöffnung gelegt, so wird in der Entfernung  $x$  in dieser Öffnung

$$X = \frac{1}{4} G (1 - 2x), \text{ also ist:}$$

$$-EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{4} G (1 - 2x) + M',$$

$$-EJ \int \frac{d^2 y}{dx^2} dx = \frac{1}{4} G \int (1 - 2x) dx + M' \int dx,$$

$$-EJ \frac{dy}{dx} = \frac{1}{4} G (1x - x^2) + M'x + C.$$

Für  $x = 0$  ist  $\frac{dy}{dx} = 0$ , also  $C = 0$ ; für  $x = \frac{1}{2}$  ist  $\frac{dy}{dx}$

$= \tau_0$ , wenn  $\tau_0$  die Tangente des Winkels der elastischen Linie über der Endstütze des Lastfeldes mit der  $x$ -Achse ist.

$$\text{Gl. V) } \dots \dots -EJ \tau_0 = \frac{Gl^2}{16} + \frac{M'l}{2}.$$

Diese Gleichung ist für jeden Wert von  $n$  gültig.

Ferner ist die Summe aller Schwelldrücke gleich der Summe der Lasten.

Fall 1)  $n = 1$ , zwischen je zwei Lastfeldern liegt ein unbelastetes, der unendliche Träger hat doppelt so viel Stützen als Lasten, also ist  $n = 1, p_0 = \frac{G}{2}$ .

Fall 2)  $n = 2$ , zwischen den Lastfeldern liegen zwei unbelastete a)  $2 p_0 + p_1 = G$ . In der unbelasteten Öffnung ist von  $x = \frac{1}{2}$  bis  $x = \frac{1}{2} + l$ .

$$X = -\frac{p_1}{2} \left(x - \frac{1}{2}\right),$$

$$M_x = -\frac{p_1}{2} \left(x - \frac{1}{2}\right) + M',$$

$$-EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{p_1}{2} \left(x - \frac{1}{2}\right) + M',$$

nach der ersten Integration

$$-EJ \frac{dy}{dx} = -\frac{p_1}{4} (x^2 - 1x) + M'x + C;$$

für  $x = \frac{1}{2}$  ist  $\frac{dy}{dx} = \tau_0$ , also

$$-EJ \tau_0 = \frac{p_1 l^2}{16} + \frac{M'l}{2} + C = \frac{Gl^2}{16} + \frac{M'l}{2}.$$

Hieraus folgt: 
$$C = \frac{Gl^2}{16} \left(1 - \frac{p_1}{G}\right).$$

Die zweite Integration gibt:

$$-E J y = -\frac{p_1}{4} \left( \frac{x^3}{3} - \frac{1x^2}{2} \right) + \frac{M' x^2}{2} + Cx + C,$$

welche Gleichung von  $x = \frac{1}{2}$  bis  $x = \frac{1}{2} + l$  besteht.

Für  $x = \frac{3}{2} l$  ist  $y = s_1$

$$-E J s_1 = -\frac{p_1}{4} \left( \frac{27 l^3}{24} - \frac{9 l^3}{8} \right) + \frac{9 M' l^2}{8} + \frac{3 C l}{2} + C_1$$

$$-E J s_1 = + \frac{9 M' l^2}{8} + 3 \frac{C l}{2} + C_1.$$

Für  $x = \frac{1}{2}$  ist  $y = s_0$ .

$$-E J s_0 = + \frac{p_1 l^3}{48} + \frac{M' l^2}{8} + \frac{C l}{2} + C_1.$$

Wird die untere Gleichung von der obern abgezogen, so bleibt:  $E J (s_0 - s_1) = -\frac{p_1 l^3}{48} + M' l^2 + C l$ ,

werden die Werte  $M'$  nach Gl. VI) für  $n=2$  und der oben ermittelte  $C$  eingesetzt, so folgt:

$$E J (s_0 - s_1) = \frac{G l^3}{48} \left( 1 + 4 \frac{p_1}{G} \right),$$

$$s_0 - s_1 = \frac{G l^3}{48 E J} \left( 1 + 4 \frac{p_1}{G} \right),$$

und da

$$p_0 = \eta s_0, \quad p_1 = \eta s_1$$

$$p_0 - p_1 = \frac{G l^3 \eta}{48 E J} \left( 1 + 4 \frac{p_1}{G} \right).$$

Da nun ferner  $2 p_0 + p_1 = G$  sein muß, so folgt, wenn noch  $\frac{l^3 \eta}{48 E J} = \frac{1}{\mathfrak{B}}$  ausgeführt wird:

$$\text{Für } n=2 \left\{ \begin{array}{l} p_0 = G \frac{\mathfrak{B} + 5}{3 \mathfrak{B} + 8} \\ p_1 = G \frac{\mathfrak{B} - 2}{3 \mathfrak{B} + 8} \end{array} \right.$$

Auf dieselbe Weise werden ermittelt:

$$\text{Für } n=3 \left\{ \begin{array}{l} 2 p_0 + 2 p_1 = G \\ p_1 = \frac{G \mathfrak{B} - 3}{4 \mathfrak{B} + 8} \end{array} \right.$$

$$\text{Für } n=4 \left\{ \begin{array}{l} 2 p_0 + 2 p_1 + p_2 = G \\ p_1 = G \frac{5 \mathfrak{B}^2 + 37 \mathfrak{B} - 96}{25 \mathfrak{B}^2 + 520 \mathfrak{B} + 704} \\ p_2 = G \frac{5 \mathfrak{B}^2 - 78 \mathfrak{B} + 48}{25 \mathfrak{B}^2 + 520 \mathfrak{B} + 704} \end{array} \right.$$

Um auch ein Beispiel der Rechnung für eine größere Zahl von Zwischenöffnungen zu geben, soll noch die Ermittlung von  $p_1$  und  $p_2$  für  $n=5$  (Textabb. 5) vorgeführt werden.

Da jede Last durch sechs Schwellen getragen wird, ist  $2 p_0 + 2 p_1 + 2 p_2 = G$ .

Die Gleichung der elastischen Linie ist:

$$-E J \frac{d^2 y}{d x^2} = M_x.$$

In der ersten Zwischenöffnung ist:

$$M_x = X + M'.$$

Wird  $x$  von der Mitte der Lastöffnung gerechnet, so ist für

$$x = \frac{1}{2} \text{ bis } x = \frac{3 l}{2} \quad X_1 = -(p_1 + p_2) \left( x - \frac{1}{2} \right),$$

$$\text{also } -E J \frac{d^2 y}{d x^2} = -(p_1 + p_2) \left( x - \frac{1}{2} \right) + M',$$

$$-E J \frac{d y}{d x} = -\frac{p_1 + p_2}{2} (x^2 - 1x) + M' x + C.$$

Für  $x = \frac{1}{2}$ ;  $\frac{d y}{d x} = \tau_0$ ,

$$-E J \tau_0 = \frac{p_1 + p_2}{8} l^2 + \frac{M' l}{2} + C,$$

$$\text{und da nach Gl. V) } -E J \tau_0 = \frac{G l^2}{16} + \frac{M' l}{2},$$

$$\text{Gl. a) } \dots \dots \dots C = \frac{G l^2}{16} \left( 1 - 2 \frac{p_1 + p_2}{G} \right).$$

Für  $x = \frac{3 l}{2}$  ist  $\frac{d y}{d x} = \tau_1$  gleich der Tangente des Neigungswinkels über dem Schwellenpunkte 1 (Textabb. 5)

$$-E J \tau_1 = -\frac{3(p_1 + p_2) l^2}{8} + \frac{3 M' l}{2} + C.$$

Wird nun für  $C$  der oben gefundene und für  $M'_5$  der Wert aus Gl. IV) eingesetzt, so folgt:

$$-E J \tau_1 = -\frac{3(p_1 + p_2) l^2}{8} - \frac{3 G l^2}{96} \left( 1 - 16 \frac{2 p_1 + 3 p_2}{G} \right) + \frac{G l^2}{16} \left( 1 - 2 \frac{p_1 + p_2}{G} \right).$$

$$\text{Gl. b) } \dots \dots -E J \tau_1 = \frac{G l^2}{32} \left( 1 + 16 \frac{2 p_1 + 3 p_2}{G} \right)$$

und nach zweimaliger Integration

$$-E J y = -\frac{p_1 + p_2}{2} \left( \frac{x^3}{3} - \frac{1x^2}{2} \right) + \frac{M' x^2}{2} + Cx + C_1.$$

Für  $x = \frac{3 l}{2}$  ist  $y = s_1$ ; für  $x = \frac{1}{2}$ :  $y = s_0$ , also

$$+E J (s_0 - s_1) = -\frac{p_1 + p_2}{24} l^3 + M' l^2 + C l.$$

$$\text{Gl. c) } \dots E J (s_0 - s_1) = \frac{G l^3}{24} \left( 1 + 4 \frac{3 p_1 + 5 p_2}{G} \right).$$

In der zweiten Zwischenöffnung ist das Moment für  $x = \frac{3}{2} l$  bis  $\frac{5}{2} l$ .

$$X_2 = -(p_1 + p_2) \left( x - \frac{1}{2} \right) + p_1 \left( x - \frac{3}{2} l \right) = -p_2 \left( x - \frac{3}{2} \right) - (p_1 + p_2) l,$$

$$-E J \frac{d^2 y}{d x^2} = -p_2 \left( x - \frac{3}{2} l \right) - (p_1 + p_2) l + M',$$

$$-E J \frac{d y}{d x} = -\frac{p_2}{2} (x^2 - 3 l x) - (p_1 + p_2) l x + M' x + C.$$

Für  $x = \frac{3}{2} l$  ist  $\frac{d y}{d x} = \tau_1$ ,

$$-E J \tau_1 = -\frac{p_2}{2} \left( \frac{9 l^2}{4} - \frac{9 l^2}{2} \right) - \frac{3}{2} (p_1 + p_2) l^2 + \frac{3 M' l}{2} + C$$

und nach Einstellung der Werte für  $M'$  und  $E J \tau_1$

$$\text{Gl. d) } \dots \dots \dots C = \frac{G l^2}{16} \left( 1 + 2 \frac{8 p_1 - p_2}{G} \right).$$

Weitere Integration liefert:

$$-EJy = -\frac{p_2}{2} \left( \frac{x^3}{3} - \frac{3lx^2}{2} \right) - (p_1 + p_2) \frac{lx^2}{2} + \frac{M'x^2}{2} + Cx + C_1.$$

Für  $x = \frac{3}{2}l$  ist  $y = s_1$  und für  $x = \frac{5l}{2}$ ,  $y = s_2$ .

Werden diese Werte nach einander eingesetzt, dabei auch die Werte für C und  $M_s'$  nach Gl. IV, werden dann beide Gleichungen von einander abgezogen, so entsteht:

$$\text{Gl. e) } \dots EJ(s_1 - s_2) = \frac{Gl^3}{48} \left( 1 + 8 \frac{2p_1 + 5p_2}{G} \right).$$

Wird nun in die Gl. c) und e)  $p_0 = s_0\eta$ ,  $p_1 = s_1\eta$  und  $p_2 = s_2\eta$  eingesetzt, so folgt:

$$p_0 - p_1 = \frac{Gl^3\eta}{24 EJ} \left( 1 + 4 \frac{3p_1 + 5p_2}{G} \right) \text{ und}$$

$$p_1 - p_2 = \frac{Gl^3\eta}{48 EJ} \left( 1 + 8 \frac{2p_1 + 5p_2}{G} \right).$$

Wird nun wieder  $\mathfrak{B}$  eingeführt und für  $n = 5$   $2(p_0 + p_1 + p_2) = G$  berücksichtigt, so ergibt sich

$$p_1 = \frac{G}{2} \frac{\mathfrak{B}^2 + 38\mathfrak{B} - 80}{3\mathfrak{B}^2 + 128\mathfrak{B} + 320}$$

$$p_2 = \frac{G}{2} \frac{\mathfrak{B}^2 - 24\mathfrak{B} + 16}{3\mathfrak{B}^2 + 128\mathfrak{B} + 320}$$

Wird im Falle  $n = 6$  der auf die mittelste Schwelle etwa noch entfallende Druck  $p_3$  vernachlässigt, so liefert derselbe Rechnungsgang bei  $2(p_0 + p_1 + p_2) = G$  für 6 Zwischenfelder:

$$p_1 = \frac{G}{14} \frac{7\mathfrak{B}^2 + 364\mathfrak{B} - 768}{3\mathfrak{B}^2 + 160\mathfrak{B} + 448}$$

$$p_2 = \frac{G}{14} \frac{7\mathfrak{B}^2 - 210\mathfrak{B} + 144}{3\mathfrak{B}^2 + 160\mathfrak{B} + 448}$$

### VIII. Bestimmte Momenten-Gleichungen.

Durch Einsetzen der für die sechs Fälle ermittelten p-Werte in die Momentenausdrücke der Gl. IV erhält man für das Moment in der Mitte der Lastöffnung nach  $M = \frac{1}{4} Gl + M'$  die Werte:

#### Gleichung Gruppe VI.

Stützenmomente.

$$\text{Gl. VI) } \left\{ \begin{array}{l} n = 1 \quad M_1' = -\frac{Gl}{16}, \\ n = 2 \quad M_2' = \frac{Gl}{24} \frac{\mathfrak{B} - 16}{3\mathfrak{B} + 8}, \\ n = 3 \quad M_3' = \frac{Gl}{32} \frac{3\mathfrak{B} - 20}{\mathfrak{B} + 8}, \\ n = 4 \quad M_4' = \frac{Gl}{8} \frac{35\mathfrak{B}^2 - 176\mathfrak{B} - 448}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704}, \\ n = 5 \quad M_5' = \frac{Gl}{48} \frac{37\mathfrak{B}^2 - 96\mathfrak{B} - 1216}{3\mathfrak{B}^2 + 128\mathfrak{B} + 320}, \\ n = 6 \quad M_6' = \frac{Gl}{56} \frac{49\mathfrak{B}^2 - 80\mathfrak{B} - 1984}{3\mathfrak{B}^2 + 160\mathfrak{B} + 448}. \end{array} \right.$$

Angriffsmomente.

$$M_1 = \frac{3Gl}{16},$$

$$M_2 = \frac{Gl}{24} \frac{19\mathfrak{B} + 32}{3\mathfrak{B} + 8},$$

$$M_3 = \frac{Gl}{32} \frac{11\mathfrak{B} + 44}{\mathfrak{B} + 8},$$

$$M_4 = \frac{Gl}{8} \frac{85\mathfrak{B}^2 + 864\mathfrak{B} + 960}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704},$$

$$M_5 = \frac{Gl}{48} \frac{73\mathfrak{B}^2 + 1440\mathfrak{B} + 2624}{3\mathfrak{B}^2 + 128\mathfrak{B} + 320},$$

$$M_6 = \frac{Gl}{56} \frac{91\mathfrak{B}^2 + 2160\mathfrak{B} + 4288}{3\mathfrak{B}^2 + 160\mathfrak{B} + 448}.$$

Die Momente haben für verschiedene Belastungsfälle die allgemeine Form

$$M' = c' Gl \quad M = c Gl. \text{ worin } c = \frac{1}{4} + c' \text{ ist.}$$

Das Moment wird bei einer bestimmten Schwellenteilung am größten, wenn c seinen größten Wert erreicht. Dieser Wert hängt aufer von den Belastungsfällen auch von der Größe  $\mathfrak{B}$  ab, die daher zunächst zu untersuchen ist.

### IX. Die Bahnziffer.

$\mathfrak{B} = \frac{48 EJ}{\eta l^3}$  (S. 302) ist eine Verhältniszahl, die alle für die Leistung der Bahn maßgebenden Größen enthält, also die Bahnziffer genannt werden kann.

Diese Ziffer hat auch eine statische Bedeutung.

$$f = \frac{Pl^3}{48 EJ} = \frac{P}{\eta} \frac{\eta l^3}{48 EJ} = \frac{P}{\eta} \cdot \frac{1}{\mathfrak{B}}$$

ist die Durchbiegung eines l langen, frei aufliegenden Stabes, der in der Mitte mit P belastet ist.

$$\text{Wird } P = \eta kg, \text{ so folgt } f = \frac{1}{\mathfrak{B}}.$$

Ist  $P_1$  jene Kraft, die den Stab um die Einheit biegt, so ist

$$\mathfrak{B} = \frac{P_1}{\eta}.$$

Die Bahnziffer ist also die Verhältniszahl jener zwei Kraftgrößen, deren die eine ( $P_1$ ) die fragliche l lange frei aufliegende Schiene um die Einheit biegt, die andere ( $\eta$ ) die Schwelle um die Einheit herabdrückt.

Diese Bahnziffer  $\mathfrak{B}$  steht im geraden Verhältnisse zum Trägheitsmomente der Schiene und im umgekehrten Verhältnisse zu der Schwellenziffer  $\eta$ , wie auch zur dritten Potenz der Schwellenteilung l. Bei bestimmter Schwellenteilung und feststehendem  $\eta$  wird die Bahnziffer  $\mathfrak{B}$  um so größer, je größer das Trägheitsmoment der Schiene ist.

Bei gleichen Schienen wächst  $\mathfrak{B}$  sehr schnell mit abnehmender Schwellenteilung. Wenn demnach die Momentenziffer c mit der Bahnziffer wächst, so wächst das Moment unter bestimmter Last auf einer bestimmten Bahnstrecke mit Zunahme des Trägheitsmomentes und die Abnahme der Schwellenteilung wirkt zur Milderung des Biegemomentes ( $M = c Gl$ ) in dem erwarteten Maße nicht.

In Zusammenstellung I sind die Momentenziffern  $c$  für verschiedene Belastungsweisen  $n$  und Bahnziffern  $\mathfrak{B}$  angegeben.

Zusammenstellung I.

$c$ -Werte für die Laststelle in der Mitte des Lastfeldes.

$\mathfrak{B}$	$n =$					
	1	2	3	4	5	6
0	0,18750	0,16667	<b>0,17187</b>	0,17045	0,17083	0,17092
5	"	0,23093	<b>0,23798</b>	0,23355	0,23446	0,23455
10	"	0,24353	0,26708	<b>0,26910</b>	0,2671	0,26609
15	"	0,24922	0,28396	<b>0,29228</b>	0,29044	0,28974
20	"	0,25245	0,29465	0,30937	<b>0,30955</b>	0,30898
25	"	0,25497	0,30213	0,32253	<b>0,32533</b>	0,32524
30	"	0,25598	0,30756	0,33300	0,33869	<b>0,33923</b>
35	"	0,25700	0,31176	0,34157	0,35016	<b>0,35127</b>
40	"	0,25781	0,31510	0,34858	0,36015	<b>0,36224</b>
45	"	0,25844	0,31780	0,35454	0,36892	<b>0,37185</b>
50	"	0,25896	0,32004	0,35964	0,37670	<b>0,38016</b>
55	"	0,25939	0,32192	0,36405	0,38363	<b>0,38823</b>
60	"	0,25974	0,32353	0,36790	0,38987	<b>0,39528</b>
65	"	0,26000	0,32491	0,37130	0,39550	<b>0,40170</b>
70	"	0,26026	0,32612	0,37430	0,40161	<b>0,40758</b>
75	"	0,26049	0,32717	0,37700	0,40526	<b>0,41380</b>
80	"	0,26070	0,32812	0,37940	0,40954	<b>0,41797</b>
85	"	0,26090	0,32896	0,38161	0,41346	<b>0,42258</b>
90	"	0,26109	0,32972	0,38360	0,41708	<b>0,42685</b>
95	"	0,26127	0,32040	0,38541	0,42043	<b>0,43083</b>
100	"	0,26145	0,33102	0,38707	0,42353	<b>0,43454</b>

$M = c G l$ .

Berechnet man sich  $\mathfrak{B}$  für die zu untersuchende Bahnstrecke so kann das Moment aus Zusammenstellung I abgelesen werden.

Wäre  $\eta = 10 \text{ t/cm}$ ,  $E = 2040 \text{ t/cm}^2$ ,  $J = 1000 \text{ cm}^4$ ,  $l = 90 \text{ cm}$ ,

$$\mathfrak{B} = \frac{48 EJ}{\eta l'} = 13,4.$$

Zusammenstellung I liefert für  $n = 5$  bei  $\mathfrak{B} 13,4$  zwischen 10 und 15

$$\begin{aligned} c &= 0,28285, \\ M &= 0,28285 \text{ Gl.} \end{aligned}$$

Ist dagegen  $l = 60 \text{ cm}$  bei sonst unveränderten Werten, so wird

$$\begin{aligned} \mathfrak{B} &= \text{rund } 45, \\ \text{wobei } c_{\max} &= 0,37185, \\ M &= 0,3718 \times \text{Gl.} \end{aligned}$$

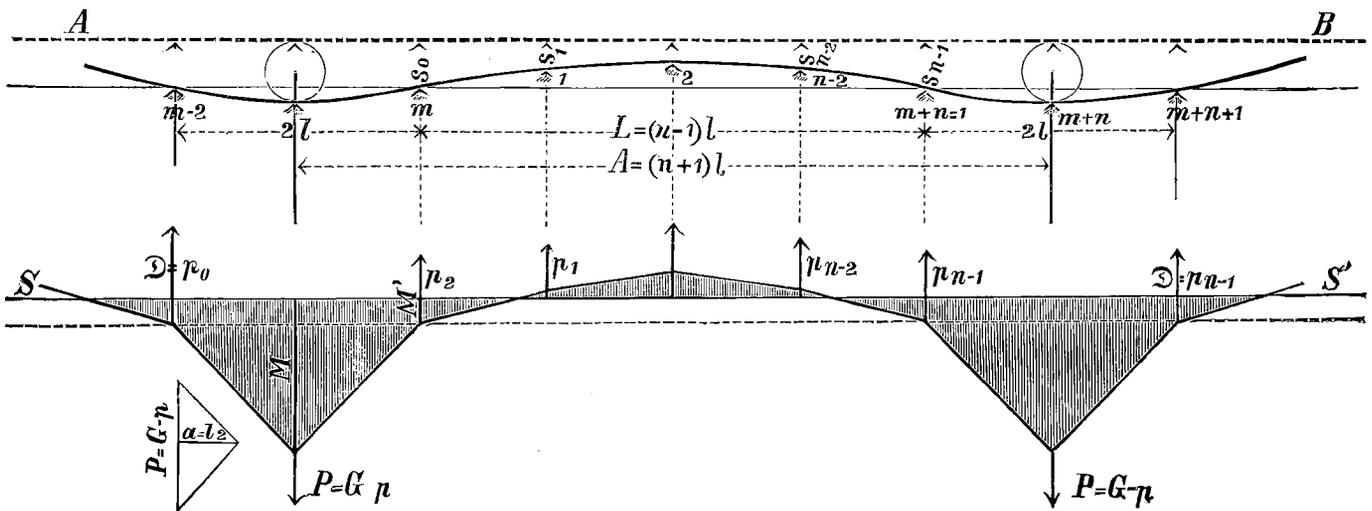
Diese Werte zeigen, wie erheblich  $c$  mit Abnahme von  $l$  zunimmt. Bei  $l = 90 \text{ cm}$  wird  $M = 25,4565 \text{ G kgcm}$ , bei  $l = 60 \text{ cm}$   $M = 22,3110 \text{ G kgcm}$ , nimmt die Schwellenteilung auf das  $90 : 60 = 1,5$  fache ab, d. h.  $50\%$ , so sinkt das Moment nur auf das  $25,4565 : 22,3110 = 1,15$  fache, d. h. um  $15\%$ .

Bevor aus diesen Ergebnissen allgemeine Schlüsse gezogen werden, soll zunächst noch das Angriffsmoment bei Aufstellung der Lasten über den Querschwellen untersucht werden.

X. Das Angriffsmoment bei Laststellung über der Schwelle.

Werden Lasten der Teilung  $(n + 1) l$  je über den Schwellen gestellt, so wirkt an der Lastschwelle ein Gegendruck  $p$  der Last  $G$  entgegen. (Textabb. 6.)

Abb. 6.



Die übrigbleibende, die Schiene biegende Kraft ist  $P = G - p$ . Das Lastfeld hat nun die Länge  $2l$ , die Anzahl der unbelasteten Stützen ist  $n$ , die der Zwischenfelder ist  $n - 1$ , die Längensumme dieser Felder, die größere Öffnung  $L = (n - 1) l$ .

In der allgemeinen Gleichung sind  $M_{(m-1)} l_m + 2 M'_m (l_m + l_{m+1}) + M'_{m+1} l_{m+1} = \mathfrak{M}'_m l_m + \mathfrak{M}'_{m+1} l_{m+1}$  sind auch hier alle Stützmomente  $M'$  einander gleich, ferner ist  $\mathfrak{M}'_m = 3 \mathfrak{M}_m$  und  $\mathfrak{M}'_{m+1} = 3 \mathfrak{M}_{m+1}$ ,  $l_m = 2l$ ,  $l_{m+1} = (n - 1) l$ , folglich

$$M' = \frac{2 \mathfrak{M}_m + (n - 1) \mathfrak{M}_{m+1}}{n + 1}.$$

In diesem Falle ist  $\mathfrak{M}_m = -\frac{1}{4} Pl$  und

$$\mathfrak{M}_{m+1} = \frac{1}{(n-1)^2} \left[ (n-2)^2 p_1 + 2(n-3)^2 p_2 + 3(n-4) p_3 \dots + (n-3) 2^2 p_{n+3} + (n-2) p_{n-2} \right],$$

oder nach Vereinigung der symmetrischen Glieder

$$(n-1) \mathfrak{M}_{m+1} = 1 \left[ (n-2) p_1 + 2(n-3) p_2 + 3(n-4) p_3 \right].$$

Die Gleichung der Stützenmomente ist für diesen Fall also

$$M' = -\frac{Pl}{2(n+1)} \left( 1 - 2(n-2)\frac{p_1}{P} - 4(-3)\frac{p_2}{P} - 6(n-4)\frac{p_3}{P} \dots \right).$$

Wenn n gerade ist, so sind von den Gliedern mit  $p/P \frac{n}{2} - 1$  zu

bilden, ist n ungerade, so sind  $\frac{n-1}{2} - 1$  Glieder voll und das folgende zur Hälfte zu benutzen. Demnach folgen die Werte:

ohne Zwischenfeld  $n = 1$   $M_1' = -\frac{1}{4} Pl$ ,  
 für 1 Zwischenfeld  $n = 2$   $M_2' = -\frac{1}{6} Pl$ ,  
 für 2 Zwischenfelder  $n = 3$   $M_3' = -\frac{1}{8} Pl \left( 1 - \frac{p_1}{P} \right)$ ,  
 » 3 »  $n = 4$   $M_4 = -\frac{1}{10} Pl \left( 1 - 4 \frac{p_1}{P} \right)$ ,  
 » 4 »  $n = 5$   $M_5 = -\frac{1}{12} Pl \left( 1 - 2 \frac{3p_1 + 2p_2}{P} \right)$ ,  
 » 5 »  $n = 6$   $M_6 = -\frac{1}{14} Pl \left( 1 - 4 \frac{2p_1 + 3p_2}{P} \right)$ .

Nach dem im Abschnitt VII durchgeführten Verfahren ergeben sich nun für die verschiedenen Lastfälle unter Einführung der Größe  $\mathfrak{B} = \frac{48 E \cdot W}{\eta l^3}$  die folgenden Werte p:

$$n = 1 \begin{cases} p = \frac{G}{2} \frac{\mathfrak{B} + 2}{\mathfrak{B} + 1} \\ p_0 = \frac{1}{2} G \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B} + 1} \end{cases}$$

$$n = 2 \begin{cases} p = G \frac{\mathfrak{B} + 8}{3\mathfrak{B} + 8} \\ p_0 = G \frac{\mathfrak{B}}{3\mathfrak{B} + 8} \end{cases}$$

$$n = 3 \begin{cases} p = \frac{1}{4} G \frac{\mathfrak{B}^2 + 26\mathfrak{B} + 32}{\mathfrak{B}^2 + 9\mathfrak{B} + 8} \\ p_0 = \frac{1}{4} G \frac{\mathfrak{B}^2 + 8\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}^2 + 9\mathfrak{B} + 8} \\ p_1 = \frac{1}{4} G \frac{\mathfrak{B}^2 - 6\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}^2 + 9\mathfrak{B} + 8} \end{cases}$$

Stützen-Moment.

$$Gl. VII) \left\{ \begin{array}{l} n = 1 \left\{ M_1' = -\frac{1}{8} G l \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B} + 1} \right. \\ n = 2 \left\{ M_2' = -\frac{1}{3} G l \frac{\mathfrak{B}}{3\mathfrak{B} + 8} \right. \\ n = 3 \left\{ M_3' = -\frac{1}{16} G l \frac{\mathfrak{B}^2 + 8\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}^2 + 9\mathfrak{B} + 8} \right. \\ n = 4 \left\{ M_4' = -G l \frac{40\mathfrak{B}}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704} \right. \\ n = 5 \left\{ M_5' = +\frac{1}{6} G l \frac{\mathfrak{B}^2 - 64\mathfrak{B}}{5\mathfrak{B}^2 + 132\mathfrak{B} + 192} \right. \\ n = 6 \left\{ M_6' = +2 G l \frac{\mathfrak{B}^2 - 44\mathfrak{B}}{35\mathfrak{B}^2 + 1064\mathfrak{B} + 1600} \right. \end{array} \right.$$

$$n = 4 \left\{ \begin{array}{l} p = G \frac{5\mathfrak{B}^2 + 312\mathfrak{B} + 704}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704} \\ p_0 = G \frac{5\mathfrak{B}^2 + 152\mathfrak{B}}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704} \\ p_1 = G \frac{5\mathfrak{B}^2 - 48\mathfrak{B}}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704} \end{array} \right.$$

Wenn der auf die vierte Schwelle übertragene Druck vernachlässigt wird,

$$\text{für } n = 5 \left\{ \begin{array}{l} p = G \frac{\mathfrak{B}^2 + 76\mathfrak{B} + 192}{5\mathfrak{B}^2 + 132\mathfrak{B} + 192} \\ p_0 = G \frac{\mathfrak{B}^2 + 40\mathfrak{B}}{5\mathfrak{B}^2 + 132\mathfrak{B} + 192} \\ p_1 = G \frac{\mathfrak{B}^2 - 12\mathfrak{B}}{5\mathfrak{B}^2 + 132\mathfrak{B} + 192} \end{array} \right.$$

$$\text{für } n = 6 \left\{ \begin{array}{l} p = G \frac{7\mathfrak{B}^2 + 60\mathfrak{B} + 1600}{35\mathfrak{B}^2 + 1064\mathfrak{B} + 1600} \\ p_0 = G \frac{7\mathfrak{B}^2 + 328\mathfrak{B}}{35\mathfrak{B}^2 + 1064\mathfrak{B} + 1600} \\ p_1 = G \frac{7\mathfrak{B}^2 - 96\mathfrak{B}}{35\mathfrak{B}^2 + 1064\mathfrak{B} + 1600} \end{array} \right.$$

Betont wird noch, daß  $\mathfrak{B}$  das 8fache der Zimmermannschen Ziffer  $\gamma$  ist,  $\mathfrak{B} = 8\gamma$ . Wird diese Größe  $\gamma$  eingeführt, so wird für  $n = 1$ , also ohne Zwischenöffnung

$$p = G \frac{4\gamma + 1}{8\gamma + 1},$$

das ist die Formel von Hoffmann, der sich auch Zimmermann bedient. Bei  $n = 2$  ergibt sich aus  $\mathfrak{B} = 8\gamma$

$$p = G \frac{\gamma + 1}{3\gamma + 1},$$

in der wir die von Ast\*) angegebene Gleichung erkennen. Diese Übereinstimmung spricht für die Richtigkeit des hier gewählten Verfahrens.

Setzt man nun die so gefundenen Werte für p,  $p_0$ ,  $p_1$  in die Momenten-Gleichungen ein, wobei  $P = G - p$  zu beachten ist und der auf die vierte Schwelle übertragene Druck ( $p_2$ ) vernachlässigt wird, so entstehen die Werte:

\*) Ast. Die Schwelle und ihre Lager. — Organ, Beilage 1898, S. 69, C. W. Kreidel, Wiesbaden.

Moment unter der Last.

$$\left. \begin{array}{l} M_1 = +\frac{1}{8} G l \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{B} + 1} \\ M_2 = \frac{2}{3} G l \frac{\mathfrak{B}}{3\mathfrak{B} + 8} \\ M_3 = \frac{1}{16} G l \frac{5\mathfrak{B}^2 + 12\mathfrak{B}}{\mathfrak{B}^2 + 9\mathfrak{B} + 8} \\ M_4 = 2 G l \frac{5\mathfrak{B}^2 + 32\mathfrak{B}}{25\mathfrak{B}^2 + 520\mathfrak{B} + 704} \\ M_5 = \frac{13}{6} G l \frac{\mathfrak{B}^2 + 8\mathfrak{B}}{5\mathfrak{B}^2 + 132\mathfrak{B} + 192} \\ M_6 = 16 G l \frac{\mathfrak{B}^2 + 9\mathfrak{B}}{35\mathfrak{B}^2 + 1064\mathfrak{B} + 1600} \end{array} \right\}$$

Das Moment unter der Last ist allgemein  $M = c_1 G l$ . Die Werte dieser Momentenziffern  $c_1$  sind in Zusammenstellung II für verschiedene  $\mathfrak{B}$  und für  $n = 1$  bis  $n = 6$  gegeben.

Zusammenstellung II.

$c_1$ -Werte für die Laststelle auf der Schwelle.

$\mathfrak{B}$	n =					
	1	2	3	4	5	6
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	0,10378	0,14493	<b>0,14822</b>	0,14507	0,14414	0,14364
10	0,11364	0,17544	0,19567	<b>0,19515</b>	0,19383	0,19313
15	0,11717	0,18874	0,2119	<b>0,22719</b>	0,2262	0,22642
20	0,11905	0,19607	0,23798	0,25018	<b>0,25111</b>	<b>0,25141</b>
25	0,12019	0,20180	0,24949	0,26761	0,27014	<b>0,27158</b>
30	0,12096	0,20404	0,25785	0,28136	0,28548	<b>0,28791</b>
35	0,12152	0,20648	0,26429	0,29255	0,29815	<b>0,30153</b>
40	0,12195	0,20833	0,26962	0,30176	0,30879	<b>0,31309</b>
45	0,12228	0,20978	0,27310	0,30951	0,31786	<b>0,32304</b>
50	0,12255	0,21097	0,27679	0,31611	0,32570	<b>0,33169</b>
55	0,12276	0,21194	0,27963	0,32173	0,33253	<b>0,33931</b>
60	0,12293	0,21275	0,28206	0,32682	0,33854	<b>0,34606</b>
65	0,12310	0,21346	0,28402	0,33122	0,34388	<b>0,35200</b>
70	0,12323	0,21409	0,28595	0,33508	0,34864	<b>0,35738</b>
75	0,12335	0,21459	0,28781	0,33855	0,35292	<b>0,36223</b>
80	0,12346	0,21505	0,28900	0,34165	0,35679	<b>0,36663</b>
85	0,12357	0,21546	0,29026	0,34448	0,36028	<b>0,37064</b>
90	0,12362	0,21582	0,29140	0,34734	0,36350	<b>0,37428</b>
95	0,12369	0,21616	0,29243	0,34932	0,36642	<b>0,37767</b>
100	0,12376	0,21644	0,29330	0,35139	0,36913	<b>0,38078</b>

$M = c_1 G l$ .

Die Werte der Zusammenstellungen I und II sind nicht erheblich verschieden, für  $n = 6$  sind sie am größten. Sie beruhen auf strenger Theorie, nur in der Wahl der Bahnziffer  $\mathfrak{B}$  liegt eine gewisse Willkür, und zwar ist in  $\mathfrak{B} = \frac{48 EJ}{\eta l}$  nur die Schwellenziffer  $\eta$  nicht mit mathematischer Sicherheit anzugeben, sie kann aber durch Belastungsversuche stets mit genügender Sicherheit ermittelt werden. Demnach werden die aus diesen Betrachtungen herzuleitenden Schlüsse auch den Tatsachen entsprechen.

XI. Folgerungen.

1. Das größte Moment für die Mitte des Feldes tritt ein:  
 für  $\mathfrak{B} = 5$  bis 40, bei  $n = 5$ ;  
 »  $\mathfrak{B} = 40$  » 100, »  $n = 6$ ,  
 für die Stützpunkte für  $\mathfrak{B} = 20$  bis 100 bei  $n = 6$ .

2. Die kleinsten  $c$  und  $c_1$ -Werte traten bei  $n = 1$  auf, so daß das Winklersche größte Moment gewissermaßen als kleinstes betrachtet werden kann.

Bei Belastung der Feldmitte hat die elastische Nachgiebigkeit im Falle  $n = 1$  keinen Einfluß.

Bei der Winklerschen Belastungsannahme übt die elastische Nachgiebigkeit nur dann einen Einfluß aus, wenn die Lasten unsymmetrisch zur Mitte stehen. Hieraus erklärt sich, daß Loewe den Einfluß der Bettungsziffer  $C$  zwischen den Grenzwerten 4 und 40 als unbedeutend erkennt; so findet er für die endliche Schiene im 10. Felde bei Mittelstand des Rades  
 für  $C = 4$   $M = 0,1835 Pl$ ,  
 »  $C = 40$   $M = 0,1811 Pl$ .

Er findet also eine kleinere Ziffer als Winkler für den unendlichen, aber auf unverdrückbaren Stützen liegenden Träger.

3. Aus der hier geführten Untersuchung geht hervor, daß die größten Momente nicht durch Lasten von Lokomotiven mit kurzen Achsständen, sondern bei gleichem Radgewichte durch getrennte Achsen in größeren Achsständen hervorgerufen werden, ein Umstand, der von allen früheren Forschern außer Acht gelassen ist.

Zum Schlusse soll noch die Untersuchung der etwa vorkommenden ungewöhnlichen Inanspruchnahmen durchgeführt werden.

XII. Ungewöhnliche Inanspruchnahme der Schienen.

Wegen ungleicher Unterstopfung können einzelne Schwellen hart aufliegen, während andere hohl liegen. Steht ein Rad über einer hohl liegenden Schwelle, so hat das Tragfeld die Länge der doppelten Schwellenteilung.

Der ungünstigste Fall träte ein, wenn jedes Rad der Lastreihe auf eine hohl liegende Schwelle träte, und dieser Fall soll untersucht werden. Er entspricht dem Lastfalle des Abschnittes X, mit dem Unterschiede, daß die Lastschwelle keinen Gegendruck  $p$  erfährt, also wird in den entwickelten Gleichungen in  $P = G - p$ ,  $p = 0$ , also  $P = G$ . Die Gleichungen der Stützenmomente (S. 303) lauten danach:

Für  $n = 1$   $M'_1 = -\frac{1}{4} G l$ .

«  $n = 2$   $M'_2 = -\frac{1}{6} G l$ .

«  $n = 3$   $M'_3 = -\frac{1}{8} G l \left( 1 - \frac{p_1}{G} \right)$ .

«  $n = 4$   $M'_4 = -\frac{1}{10} G l \left( 1 - 4 \frac{p_1}{G} \right)$ .

«  $n = 5$   $M'_5 = -\frac{1}{12} G l \left( 1 - 2 \frac{3 p_1 + 2 p_2}{G} \right)$ .

«  $n = 6$   $M'_6 = -\frac{1}{14} G l \left( 1 - 4 \frac{2 p_1 + 3 p_2}{G} \right)$ .

Durch die oben gezeigte zweimalige Integration der Differenzial-Gleichung der elastischen Linie erhält man die Schwellen-Gegendrucke:

Für  $n = 3$   $p_1 = G \frac{\mathfrak{B} - 6}{3 \mathfrak{B} + 10}$ .

«  $n = 4$   $p_1 = \frac{1}{4} G \frac{5 \mathfrak{B} - 48}{5 \mathfrak{B} + 16}$ .

«  $n = 5$   $\begin{cases} p_1 = G \frac{\mathfrak{B}^2 + 2 \mathfrak{B} - 64}{5 \mathfrak{B}^2 + 132 \mathfrak{B} + 192} \\ p_2 = G \frac{\mathfrak{B}^2 - 16 \mathfrak{B} + 32}{5 \mathfrak{B}^2 + 132 \mathfrak{B} + 192} \end{cases}$

«  $n = 6$   $\begin{cases} p_1 = \frac{1}{2} G \frac{7 \mathfrak{B}^2 + 280 \mathfrak{B} - 1920}{21 \mathfrak{B}^2 + 1136 \mathfrak{B} + 3136} \\ p_2 = \frac{1}{2} G \frac{7 \mathfrak{B}^2 - 128 \mathfrak{B} + 384}{21 \mathfrak{B}^2 + 1136 \mathfrak{B} + 3136} \end{cases}$

Wird diese Wertreihe in die Gleichungen der Stützenmomente eingesetzt und berücksichtigt, daß das Moment unter der Last  $M = \frac{1}{2} G l + M'$  beträgt, so entstehen folgende Momente unter der Last:

	Stützenmomente.	Angriffsmomente.		
{	Gl. IV)	n = 1	$M'_1 = -\frac{1}{4} G l,$	$M_1 = \frac{1}{4} G l,$
		n = 2	$M'_2 = -\frac{1}{6} G l,$	$M_2 = \frac{1}{3} G l,$
		n = 3	$M'_3 = -\frac{1}{4} G l \frac{\mathfrak{B} + 18}{3 \mathfrak{B} + 10},$	$M_3 = \frac{1}{4} G l \frac{5 \mathfrak{B} + 12}{3 \mathfrak{B} + 10},$
		n = 4	$M'_4 = -\frac{1}{4} G l \frac{\mathfrak{B} + 16}{5 \mathfrak{B} + 16},$	$M_4 = \frac{1}{4} G l \frac{9 \mathfrak{B} + 16}{5 \mathfrak{B} + 16},$
		n = 5	$M'_5 = \frac{1}{12} G l \frac{5 \mathfrak{B}^2 - 184 \mathfrak{B} - 448}{5 \mathfrak{B}^2 + 132 \mathfrak{B} + 192},$	$M_5 = \frac{1}{12} G l \frac{35 \mathfrak{B}^2 + 608 \mathfrak{B} + 704}{5 \mathfrak{B}^2 + 132 \mathfrak{B} + 192},$
		n = 6	$M'_6 = \frac{1}{2} G l \frac{7 \mathfrak{B}^2 - 112 \mathfrak{B} - 1216}{21 \mathfrak{B}^2 + 1136 \mathfrak{B} + 3136}.$	$M_6 = 2 G l \frac{7 \mathfrak{B}^2 + 256 \mathfrak{B} + 480}{21 \mathfrak{B}^2 + 1136 \mathfrak{B} + 3136}.$

Die Vorziffern der Momente M gemäß der allgemeinen Gleichung  $M = c_2 G l$  sind in Zusammenstellung III für verschiedene W und n angegeben.

Zusammenstellung III.

**c<sub>2</sub>-Werte für Aufstellung jeder Last über einer hohl liegenden Schwelle.**

W	n =					
	1	2	3	4	5	6
0	0,25000	0,33333	0,30100	0,25000	0,30555	<b>0,30612</b>
5	"	"	0,33888	0,37195	0,39483	<b>0,41430</b>
10	"	"	0,35833	0,40151	0,42505	<b>0,45071</b>
15	"	"	0,37000	0,41483	0,44735	<b>0,47347</b>
20	"	"	0,37700	0,42241	0,46328	<b>0,49045</b>
25	"	"	0,38334	0,42730	0,47578	<b>0,50402</b>
30	"	"	0,38750	0,43072	0,48586	<b>0,51536</b>
35	"	"	0,39074	0,43324	0,49418	<b>0,52506</b>
40	"	"	0,39333	0,43518	0,50118	<b>0,53349</b>
45	"	"	0,39546	0,43672	0,50716	<b>0,54091</b>
50	"	"	0,39722	0,43793	0,51231	<b>0,54751</b>
55	"	"	0,39872	0,43900	0,51682	<b>0,55312</b>
60	"	"	0,40003	0,43987	0,52078	<b>0,55876</b>
65	"	"	0,40111	0,44061	0,52429	<b>0,56360</b>
70	"	"	0,40208	0,44125	0,52743	<b>0,56802</b>
75	"	"	0,40293	0,44181	0,53025	<b>0,57207</b>
80	"	"	0,40370	0,44244	0,53231	<b>0,57579</b>
85	"	"	0,40430	0,44280	0,53512	<b>0,57922</b>
90	"	"	0,40500	0,44313	0,53723	<b>0,58240</b>
95	"	"	0,40555	0,44349	0,53917	<b>0,58536</b>
100	"	"	0,40606	0,44379	0,54095	<b>0,58812</b>

$M = c_2 G l$

In allen abgeleiteten Gleichungen ist das Biegemoment durch  $M = c \cdot G l$  ausgedrückt. Die c-Werte sind auf statisch zutreffende Weise ermittelt. Die Lastteilung  $a = (n + 1) l$ , für die die c-Werte bei gegebener Bahnziffer W am größten werden, ist in den Zusammenstellungen I bis III durch fetten Druck ersichtlich gemacht

Um das auf einer Bahnstrecke auftretende größte Moment aus den Zusammenstellungen abzulesen, ist es nur nötig, die Bahnziffer W den tatsächlichen Verhältnissen, bezüglich der Schwellenziffer  $\eta$  durch Versuch, zu bestimmen. Ist beispielsweise  $\mathfrak{B} = 80$ , so ist

a) das größte Moment in der Öffnungsmitte nach Zusammenstellung I für  $n = 6$

$M_a = 0,41797 G l,$

b) dasjenige über der Schwelle nach Zusammenstellung II für  $n = 6$

$M_b = 0,36663 G l,$

c) dasjenige über einer ungestopften Schwelle nach Zusammenstellung III für  $n = 6$

$M_c = 0,57579 G l.$

In einer gut erhaltenen Bahnstrecke treten über den Schwellen kleinere Momente auf, als in den Teilungsmitten; bei schlechter Unterhaltung ist das umgekehrt, wie aus  $M_b < M_a < M_c$  folgt.

Die Voraussetzung des Falles c), daß jede Last auf eine hohl liegende Schwelle trifft, ist freilich wohl den Tatsachen gegenüber zu ungünstig. Da aber auch bei regelmäßigen Verhältnissen wohl stets kleine Spielräume zwischen Schiene und Schwelle und zwischen Schwelle und Bettung hier und dort vorkommen, so werden die wirklichen Momente, wenn auch kleiner als  $M_c$ , doch sicher größer sein als  $M_a$  und  $M_b$ . Setzt man daher das wirklich auftretende Moment über der Schwelle schätzungsweise mit

$$M_s = \frac{M_b + M_c}{2}$$

an, so würde in dem obigen Beispiele

$$M_s = \frac{1}{2} (0,36663 + 0,57579) G l = 0,47121 G l$$

immerhin wesentlich größer als  $M_a$ . Wir sind also berechtigt zu behaupten, daß die Schiene auf den Schwellen nicht minder beansprucht wird als in Teilungsmitte.

Hieraus erklärt sich die Tatsache, daß Schienenbrüche über oder nahe den Schwellen nicht seltener vorkommen als in Teilungsmitte.

Demnach können die in Zusammenstellung I angegebenen Momente als die wirklich auftretenden größten Momente für jeden Punkt der Mittelfelder betrachtet werden.

**XIII. Auftragung der Ergebnisse (Taf. XLIX).**

Zum Schlusse wird noch eine zeichnerische Übersicht über die erlangten Ergebnisse auf Tafel XLIX beigefügt.

In Zusammenstellung IV (Seite 308) sind die Bahnziffern für die Stahlschienen der rumänischen Staatsbahnen für  $E = 2040 \text{ t/cm}^2$  und  $\eta = 10 \text{ t}$  angegeben.

Abb. 1, Taf. XLIX zeigt diese Bahnziffern W als Höhen zu den Schwellenteilungen l als Längen. Verbindet man die zu demselben Schienenquerschnitte gehörigen Punkte durch krumme Linien, so erhält man die Bahnziffer-Linien.

Zusammenstellung IV.

Bahn-Ziffern  $\mathfrak{B}$ .

$$E = 2040 \text{ t/cm}^2, \quad \iota = 10 \text{ t/cm}, \quad \mathfrak{B} = \frac{48 \cdot E \cdot J}{l^3}$$

Ge- wicht	Träg- heits- moment	Wider- stands- moment	S c h w e l l e n t e i l u n g l =					
			d e r S c h i e n e					
kg/m	J	$\frac{J}{e}$	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm
			$\mathfrak{B} =$					
17,0	236,00	55,23	18,487	10,697	6,737	4,513	3,170	2,310
24,0	451,03	85,29	35,410	20,492	12,904	8,645	6,043	4,426
27,0	526,75	92,90	41,407	23,958	14,798	10,109	7,100	5,175
30,0	631,75	108,92	49,498	28,639	18,064	11,101	8,499	6,196
32,0	735,88	112,41	57,646	33,216	21,008	14,073	9,884	7,205
32,75	863,43	133,00	67,477	39,142	24,649	16,493	11,597	8,454
36,0	967,54	144,49	75,793	43,815	27,621	18,308	12,996	9,474
40,0	1144,00	172,00	89,616	51,861	32,659	21,879	15,366	11,202

Abb. 2, Taf. XLIX zeigt die Linie der größten Momente aus Zusammenstellung I, deren Höhen die  $\mathfrak{B}$ -Werte und deren Längen die c-Werte sind. Für eine bestimmte Schwellenteilung l entnehme man die der gewählten Schiene zugehörige Bahnziffer  $\mathfrak{B}$  aus Abb. 1, Taf. XLIX im Schnittpunkte des entsprechenden Lotes mit der Linie. Schneidet man durch die zugehörige Wagerechte die Momentenlinie in Abb. 2 Taf. XLIX, so wird die Länge des Schnittpunktes die Momentenziffer c angeben. Man kann aber auch  $c l = z$  zeichnerisch darstellen (Abb. 3, Taf. XLIX), indem man die Gleichung  $c : l = z : l$  in Reihenfolge der Größe l löst. Zieht man die Senkrechte von c bis zum Durchschnitte mit der entsprechenden Linie l, so erhält man die Höhe  $z = c l = \frac{M}{G}$ .

Die Spannung der Schiene ist  $\sigma = \frac{M \cdot e}{J} = \frac{M}{J}$ .

In Abb. 3, Taf. XLIX ist  $z = \frac{M}{G}$  zeichnerisch dargestellt, also ist  $\sigma = \frac{z G}{J}$ .

In Abb. 4, Taf. XLIX ist  $\frac{z}{J} = \frac{\lambda}{1}$  für die in Abb. 1, Taf. XLIX enthaltenen Schienenquerschnitte dargestellt.

Zieht man die Wagerechte von z bis zum Schnitte mit der Linie J und von da lotrecht, so erhält man auf der Wagerechten der Abb. 4, Taf. XLIX die Größe  $\lambda$ .

Die Spannung der Schiene ist nun ausgedrückt  $\sigma = \lambda G$ .

Auf Taf. XLIX ist das Verfahren durch gestrichelte Linien für eine 30 kg/m schwere Schiene gezeigt.

Bei	$l = 60 \text{ cm}$	$l' = 90 \text{ cm}$
	wird gefunden	
	$\mathfrak{B} = 28,7$	$\mathfrak{B}' = 8,5$
	$c = 0,335$	$c' = 0,260$
	$z = 20,0$	$z' = 23,5$
	$\lambda = 0,185$	$\lambda' = 0,215$

Die genaue Rechnung gibt

$$\begin{aligned} \mathfrak{B} &= 28,639 & \mathfrak{B}' &= 8,499 \\ c &= 0,33514 & c' &= 0,25976 \\ z &= 20,108 & z' &= 23,378 \\ \lambda &= 0,1845 & \lambda' &= 0,2146 \end{aligned}$$

Die Tafel gibt also bezüglich  $\lambda$  eine Genauigkeit bis 0,0005.

XIV. Schlufs.

Die Betrachtungen mögen mit dem Hinweise schliessen, dafs das größte Schienenmoment

$$M = c G l$$

nicht nur von G und l, sondern auch von den Größen E J und  $\eta$  abhängt.

Der Einfluss dieser Größen auf den Wert c ist vollständig erörtert worden. Diese größten c-Werte der Zusammenstellung I sind in Abb. 2, Taf. XLIX als Längen, die zugehörigen  $\mathfrak{B}$  als Höhen aufgetragen und die so erhaltene Linie ist von  $\mathfrak{B} = 5$  bis  $\mathfrak{B} = 80$  bei glücklicher Wahl der Maßstäbe für  $\mathfrak{B}$  und c genau genug als Kreisbogen der Gleichung  $(X - \alpha)^2 + (Y - \beta)^2 = r^2$  zu zeichnen, in der  $\alpha$  und  $\beta$  die Höhe und Länge des Mittelpunktes und r den Halbmesser darstellen. Y entspricht den  $\mathfrak{B}$ -Werten. Da der Maßstab für  $\mathfrak{B}$  1 mm = 1 und für c 1 mm = 0,002 ist, so ist

$$c = 0,002 X \text{ oder } X = 500 c.$$

Die Gleichung lautet nun:

$$(500 c - \alpha)^2 + (\mathfrak{B} - \beta)^2 = r^2.$$

Aus drei Punkten des Bogens können nun  $\alpha$ ,  $\beta$  und r bestimmt werden.

Die Berechnung gibt

$$\begin{aligned} r &= 135,4, \quad \alpha = 85,89, \quad \beta = 136,4 \\ &\text{oder } \beta = r + 1. \end{aligned}$$

Diese Werte geben

$$\begin{aligned} &(500 c - 85,89)^2 + (\mathfrak{B} - r - 1)^2 = r^2 \\ \text{oder } &500^2 (c - 0,1718)^2 + (\mathfrak{B} - 1)(\mathfrak{B} - 1 - 2r) = 0 \end{aligned}$$

$$c = 0,1718 + 0,002 \sqrt{(\mathfrak{B} - 1)(2r + 1 - \mathfrak{B})}$$

oder, wenn  $r = 135,4$  eingesetzt wird,

$$c = 0,1718 + 0,002 \sqrt{(\mathfrak{B} - 1)(271,8 - \mathfrak{B})}.$$

Das der Gleichungsgruppe VI entsprechende größte Moment kann also durch die Gleichung ausgedrückt werden:

$$M_{gr} = G l [0,1718 + 0,002 \sqrt{(\mathfrak{B} - 1)(271,8 - \mathfrak{B})}],$$

die der Verfasser zur Berechnung des größten Momentes der Schiene endgültig in Vorschlag bringt.

Es wird beabsichtigt, diesen Untersuchungen demnächst noch Betrachtungen über den Schienenstofs folgen zu lassen.

**STEINERNE BAUWERKE**  
DER  
**NEBENBAHN STETTIN-JASENITZ,**  
**DIREKTIONSBEZIRK STETTIN.**

VON

**PUSTAU,**  
REGIERUNGS- UND BAURAT IN FRANKFURT A. M.

---

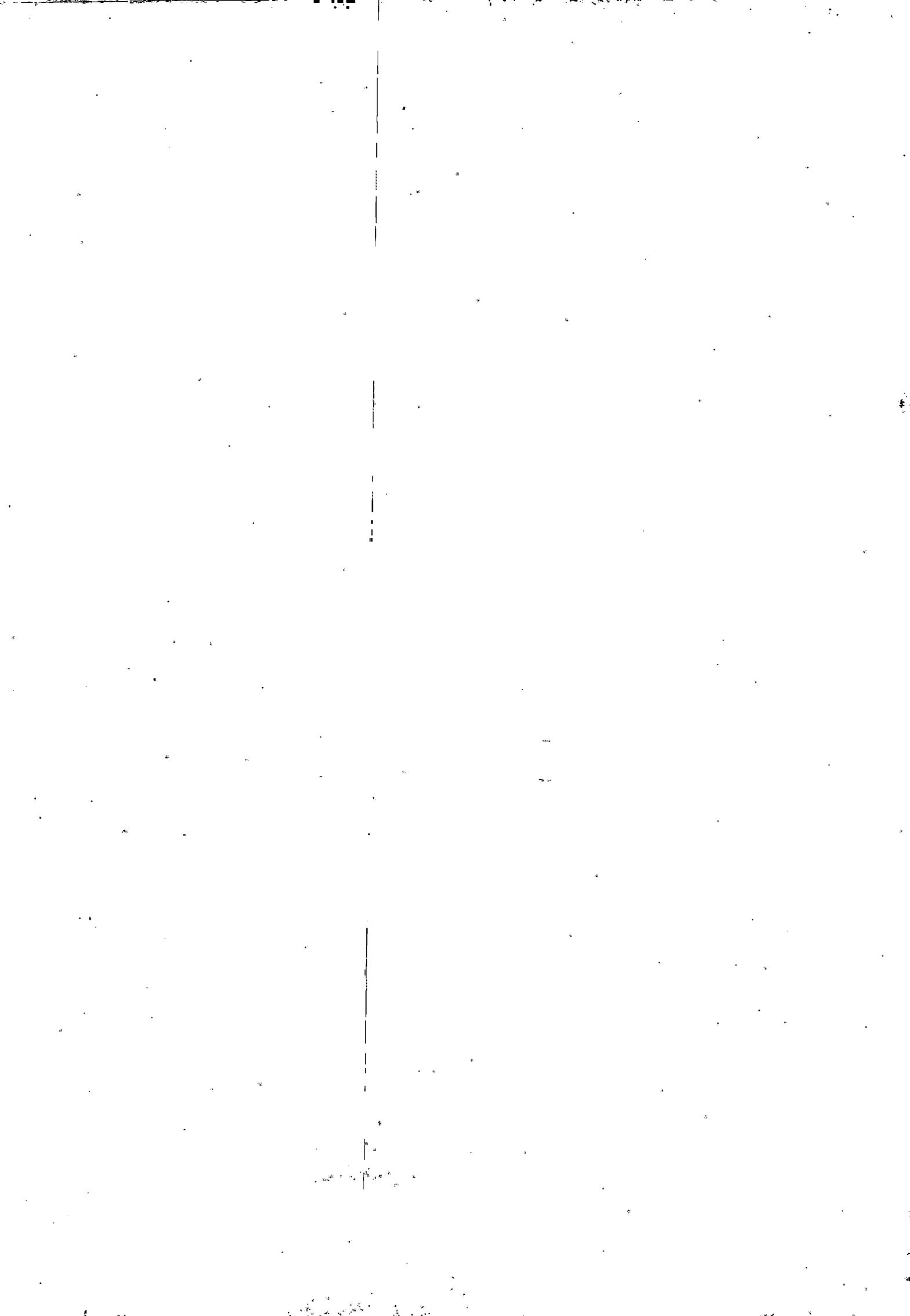
MIT ZEICHNUNGEN AUF TAFEL L UND 8 TEXTABBILDUNGEN.

---

ERGÄNZUNGSHEFT ZUM ORGAN FÜR DIE FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS, JAHRGANG 1907.

---

WIESBADEN.  
C. F. W. KREIDEL'S VERLAG.  
1907.



## Steinerne Bauwerke der Nebenbahn Stettin-Jasenitz, Direktionsbezirk Stettin.

Von Pustau, Regierungs- und Baurat in Frankfurt a. M.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 11 auf Tafel I.

Die Vorteile der Steinbauten vor eisernen ließen es bei dem in den Jahren 1896/98 erfolgten Bau der Nebenbahn Stettin-Jasenitz als zweckmäßig erscheinen, nach Möglichkeit bei den Wege-Über- und Unterführungen und Durchlässen Eisen zu vermeiden. Bei Straßen-Überführungen erscheint die Verwendung von eisernen, nahe über den Schornsteinen der Lokomotiven liegenden Überbauten als ungeeignet, da der Rauch das Eisen stark angreift und auf die Dauer zerstört. Auch geben die steinernen Bauwerke in der Regel das befriedigendere Bild, was namentlich in und bei Städten von Bedeutung ist.

Um die Steinbauten wirtschaftlich mit eisernen in Wettbewerb treten lassen zu können, war es erforderlich, ihre Höhe möglichst klein zu halten.

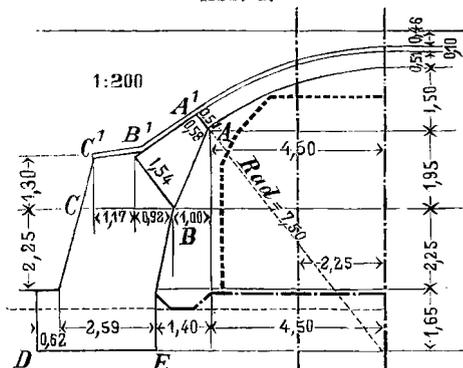
Bei dem in Textabb. 1 dargestellten Bauwerke, dessen

Abb. 1.



halben Querschnitt Textabb. 2 zeigt, ist diese Aufgabe für Überführungen über zwei Gleise gelöst worden. Zugleich sind

Abb. 2.



bei dieser Überführung durch die Durchführung beider Bahngräben besondere Bauanlagen für die Durchleitung der Gräben vermieden, und bei dem großen Lichtraume der Überführung hat der Lokomotivführer freien Durchblick.

Im wesentlichen unterscheidet sich die Ausbildung des Querschnittes dieser Überführung von der gebräuchlichen Bauweise durch die Anordnung in der Ansicht des Bauwerkes sichtbar bleibender Widerlager-Verkragungen mit Fugen in der Richtung der Kämpferfuge. Auf die so entstehende geknickte innere Begrenzungslinie weist die Umrisslinie des lichten Raumes hin, die Form ist aber auch für Unterführungen brauchbar, da die Fußwege weniger Höhe erfordern als die Fahrstraße.

Die Untersuchung der Standfähigkeit der Bauwerke ist mittels Zeichnens von Drucklinien erfolgt. Hierbei ist angenommen, daß das Gewölbe bis zur Fuge  $AA^1$  (Textabb. 2) reicht, daß in  $AA^1$  das Widerlager beginnt und die im Widerlager durch Eigengewicht, Gewicht der Belastung und Erdschub auftretenden Kräfte die Größe des Schubes im Gewölbescheitel nicht beeinflussen. Dieser Zuweisung der Auskrägung zum Widerlager entsprechend ist die Vorkragung bis nach der Ausrüstung des Gewölbes zu unterstützen. Die erste Formänderung in der Vorkragung besteht dann in ihrem Abheben vom Gerüste unter dem freiwerdenden Gewölbeschube. Die Ausrüstung erfolgt am besten mit Sandtöpfen; das Lehrgerüst senkt sich hierbei allmähig und zwar in der Mitte am raschesten, da hier der stärkste Druck herrscht. Sind zu viele Sandtöpfe vorhanden, um sie alle auf einmal zu bedienen, so müssen die mittleren zuerst geöffnet werden.

Als Drucklinien kommen für die Untersuchung in Frage:

1. Die Drucklinie für volle Eigen- und Verkehrs-Last; auf das Widerlager und die Hinterfüllung wirkt nur die Eigenlast, hiernach bestimmt sich hauptsächlich die Lage der Punkte  $A^1$ ,  $B^1$ ,  $C$ ,  $D$  der Begrenzungslinie (Textabb. 2).
2. Die Drucklinie für Eigenlast und einhäufige Verkehrs-last auf dem Gewölbe und der Auskrägung neben dem Widerlager. Die Schüttung hinter dem Widerlager trägt Verkehrs-last.

Von dieser Drucklinie hängt die Lage der Begrenzungslinie  $ABE$  ab und die Neigung der Fuge  $BB^1$  muß zu ihr passen. Denn da diese Drucklinie die steilste von allen ist, so kann sie am leichtesten aus dem Reibungswinkel an der Rechtwinkeligen zu dieser Fuge heraustreten. Dabei entsteht die Gefahr des Abrutschens nach innen auf der Fuge  $BB^1$  und eine Rückwirkung auf den Schub, die die Voraussetzung, daß die Vorkragung zum Widerlager gehört, unzutreffend machen würde.

3. Gewölbe und Widerlager sind unbelastet, die Vorkragung und die Hinterfüllung belastet.

Die Drucklinie dieses Zustandes beeinflusst ebenfalls die Lage der Begrenzungslinie  $ABE$  (Textabb. 2), zugleich wird durch sie die Zulässigkeit der Neigung der Fuge  $BB^1$  geprüft.

4. Gewölbe und Widerlager sind unbelastet, die Hinterfüllung fehlt. Die Drucklinie beeinflusst die Größe des über  $CB$  liegenden Teiles des Widerlagers mit wagerechten Fugen  $CB^1$  (Textabb. 2), da die Lage der Drucklinie zur Fuge  $CB$  innerhalb des Reibungswinkels an einer Rechtwinkeligen zur Fuge  $CB$  liegen und dies durch das Gewicht von  $CB^1$  erreicht werden muß.
5. Das Gewölbe und Widerlager sind unbelastet, Hinterfüllung ist vorhanden.

Hierdurch wird festgestellt, wie hoch das Widerlager bei der Bauausführung einseitig angeschüttet werden kann.

Das Pfeilverhältnis des Gewölbes ist klein, daher fallen die Mittellinie und die Drucklinie aus Eigen- und halber Verkehrs-Last des ganzen Gewölbes ziemlich zusammen, der Ausschlag in der Lage der Drucklinie bei den angeführten Belastungen ist bis zur Kämpferfuge des Gewölbes nur gering und die Last der Überschüttung des Gewölbes kann möglichst klein sein.

Die Verhältnisse des Bauwerkes sind so gewählt, daß für das Gewölbe die Stärke von zwei Steinen ausreicht.

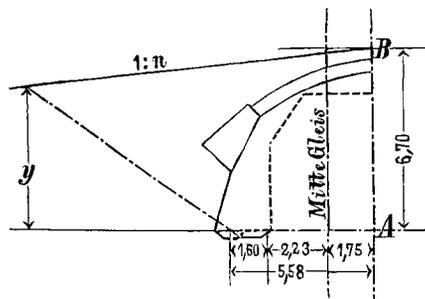
Da das Pfeilverhältnis des Gewölbes nur 0,17 ist und die geringste Überschüttung des Gewölbes nur 0,35 m zu sein braucht, so ist die Bauhöhe im Verhältnis zu der anderer Gewölbe gering, was der Anordnung des vorgekragten schräg gefugten Widerlagerteiles zugeschrieben werden muß.

Die in Textabb. 1 und 2 dargestellte Überführung dient für zwei in 4,50 m oder in 3,50 m Mittenabstand liegende Gleise. Die geringste lichte Höhe zwischen Schienenoberkante und Scheitel der inneren Gewölbelaubung ist bei 7 cm Spielraum zwischen Laibung und Umrisslinie für 4,50 m Gleisentfernung = 5,50 m, für 3,50 m Gleisentfernung = 5,30 m.

Bis zur Fahrbahnkrone kommen 0,51 + 0,10 + 0,35 = 0,96 m hinzu, sodaß diese 6,46 m oder 6,26 m über S.O. liegt. Die Bauhöhe über der Umrisslinie beträgt hiernach 1,70 m oder 1,50 m. Liegt die Schienenoberkante 0,53 m oder 0,43 m über der Unterbaukrone, so liegt die Fahrbahnkrone in der Mitte des Bauwerkes rund 7,0 m oder 6,7 m über der Unterbaukrone.

Bei geneigter Strafe ist die Bauhöhe zwischen Strafsenkronen und Umrisslinie in der Gleismitte geringer (Textabb. 3).

Abb. 3.



Für diesen Fall folgt die kleinste Einschnittstiefe y (Textabb. 3) für Nebenbahnen und 3,5 m Gleismittenabstand aus

$$AB = 6,7 = y + \frac{1}{n} (5,58 + 1,5 y)$$

$$\text{zu } y = \frac{6,7 n - 5,58}{1,5 + n}$$

Danach folgen die Werte:

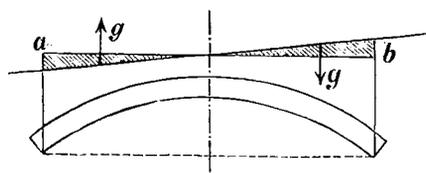
n =	40	30	25	20	15	10
y <sup>m</sup>	6,32	6,20	6,11	5,97	5,75	5,32
über S. O. m	5,89	5,77	5,68	5,54	5,32	4,89

Für Hauptbahnen ist anstelle von 6,7 m 6,8 m und von 5,58 m 6,90 m in die Formel zu setzen, dann folgen die Werte:

y <sup>m</sup>	6,39	6,25	6,16	6,00	5,76	5,30
über S. O. m	5,86	5,72	5,63	5,47	5,23	4,78

Bei der Nebenbahn Stettin—Jasenitz sind Wege im Gefälle von 1 : 10 überführt worden. In solchen Fällen, auch schon bei flacherer Neigung muß mit Rücksicht auf die geringe Überschüttungshöhe bei der Untersuchung die Ungleichheit der Belastung der Gewölbehälften durch Eigenlast berücksichtigt werden. Der Schub wurde für die Belastungslinie a b (Textabb. 4) ermittelt und dann das Gewicht der überstrichelten Fläche links fortgenommen und rechts hinzugesetzt.

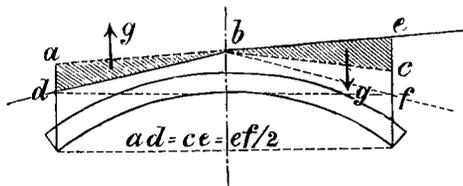
Abb. 4.



In der Scheitelfuge des Gewölbes entsteht dabei eine Querkraft =  $0,8 \cdot \frac{1}{3} g$ .

Ist die Neigung des Weges auf beiden Seiten des Gewölbes verschieden, so ist der Schub nach Textabb. 5 für die

Abb. 5.



symmetrische Belastung abc zu bestimmen und dann abd links weg und bce rechts hinzugesetzt zu denken. Die Begrenzung abc ergibt sich aus  $cf = ce = ad$ .

Bei langen Überführungen ist der Gewinn an Bauhöhe durch rampenartige Führung ein sehr erheblicher.

Das schräg gefugte Widerlager wird meist an der Seite mit der niedrigen Lage der Wegkronen der verminderten Last wegen tiefer hinuntergeführt werden müssen, als es bei horizontaler oder wenig geneigter Fahrbahn der Fall ist, damit der Druck auf das wagrecht gefugte Mauerwerk dieses innerhalb des Reibungswinkels trifft.

Da die Kämpferkraft des Gewölbes durch das Gewicht der Vorkragung und ihrer Belastung sowie durch den Erddruck auf diese Widerlagerteile stark nach unten abgelenkt wird, bevor sie in das wagrecht gefugte Widerlager gelangt, so kann dieses in der Fuge C—B (Textabb. 2) entsprechend geringe Stärke haben, und eine Übermauerung, welche das Gewicht des Widerlagers bis zur Fuge C—B erhöhen soll, ist nur in geringem Maße oder gar nicht nötig.

Eine Übermauerung über dem Gewölbe und der Vorkragung kann in Rücksicht auf die Standsicherheit des Bauwerkes ganz fehlen. Weil die Verkrägung nach der Tiefe aus

Läufem hergestellt wird, ist sie gegen Längsspannungen bedeutend fester, als das Gewölbe selbst.

Besonders wichtig ist die durch die Anordnung der schräg gefugten Widerlager erzielte gute Übertragung der Druckkräfte vom Gewölbe auf das wagerecht gefugte Widerlager und die gute Verteilung der Druckkräfte im Mauerwerke selbst.

Die Vorteile, die sich durch die in der Richtung der Kämpferfuge gefugte Auskragung bei dem Entwurfe der Überführung mit beschränkter Bauhöhe ergaben, sind auch für die Entwürfe der Überführungen mit größerer Höhe, der Wegeunterführungen und Durchlässe der genannten Nebenbahn nutzbar gemacht worden.

Je größer das Pfeilverhältnis eines Gewölbes, desto steiler tritt die Drucklinie aus dem Gewölbe in das schräg gefugte Widerlager und da dieses die Aufgabe hat, die Drucklinie so weit herabzudrücken, daß sie im wagerecht gefugten Mauerwerke im Reibungswinkel der Fugen liegt, so wird das Gewicht und somit die Länge des schräg gefugten Widerlagerteiles in der Richtung der Drucklinie gemessen mit wachsendem Pfeilverhältnisse abnehmen. Die Grenzlage der Kämpferfuge eines Gewölbes bildet die Bruchfuge bei einem Mittelpunktswinkel von  $120^\circ$ , da angenommen werden kann, daß die unter dieser Bruchfuge liegenden Massen eines Gewölbes die Größe des Schubes nicht mehr beeinflussen.

Das schräg gefugte Widerlagsmauerwerk muß deshalb bei reichlich vorhandener Bauhöhe wenigstens bei der vorbezeichneten Grenzlage der Kämpferfuge beginnen, besser fängt es, wie sich bei den Untersuchungen ergibt, etwas oberhalb dieser Grenzlage an.

Die Zeichnungen (Abb. 1 bis 9, Taf. L) zeigen verschiedene Ausbildungen der schräggefugten Widerlagerteile bei verschiedenen Pfeilverhältnissen.

Bei den Durchlässen bis 1,50 m Weite und hohen Überschüttungen wurde durch Anordnung der schräg gefugten Auskragung erreicht, daß die Gewölbestärke auch unter Überschüttungshöhen von 16 m nur 0,38 m zu sein braucht.

Diese Ausbildung hat sich als sehr fest und zur Aufnahme der Erdlast sehr geeignet erwiesen. In einem Falle mußte die erste Lage Boden gleich in 3 m Höhe der Länge des Durchlasses nach fortschreitend geschüttet werden, ohne daß sich Änderungen im Durchlasse zeigten und bei einem Dammbroche, der dadurch herbeigeführt wurde, daß der Durchlass auf nachträglich aufweichendem Tonuntergrunde erbaut war, wurde unter dem etwa 16 m hoch geschütteten Damme ein Teil des Durchlasses senkrecht heruntergedrückt, ohne daß sich sein Querschnitt verändert hätte.

Die Stirnen der Bauwerke (Abb. 5 und 7, Taf. L) sind den von Gehlen angegebenen\*) nachgebildet.

Bei beschränkter Bauhöhe ist durch die Anordnung des schräg gefugten Mauerwerkes erreicht, daß nur ganz geringe Überschüttung auf die Flachsicht des Gewölbes gebracht werden kann (Abb. 1 bis 5, Tafel L). Die Verwendung

vom Formsteinen war nirgend nötig, und die Ausführung der Bauten zeigte keine Schwierigkeit.

Für die Herstellung der schräg gefugten Widerlagerteile sind etwa dieselben Preise bezahlt, wie für das übrige Widerlagermauerwerk.

Es sind nach der Ausrüstung und der Inbetriebnahme der Bauwerke keinerlei Risse oder sonstige Erscheinungen aufgetreten, die vermuten ließen, daß die hier angegebenen Grundsätze auf falschen Voraussetzungen beruhen.

Auch haben sich in den zehn Jahren, die die gewölbten Bauwerke mit geringer Überschüttungshöhe stehen, keine Frostschäden am Gewölbe und der Abdeckung gezeigt. Diese Erfahrung ist erst abgewartet, bevor diese Veröffentlichung zugänglich erschien.

Da die Gewölbe bei der Belastung elastischer Formänderungen unterliegen, so entstehen zwischen Gewölbe und den Stirnaufmauerungen feine Risse, eine sorgfältig ausgeführte Filzabdeckung über die ganze Hinterfläche der Stirnen und auf der Gewölbeabdeckung ist daher durchaus erforderlich.

Die nachstehend zusammengestellten Messungen der Einsenkung der Gewölbe zeigen, daß man mit  $7\text{‰}$  der Spannweite des Gewölbes ein ausreichendes Maß für die dem Lehrgerüste zu gebende Überhöhung einsetzt.

Ferner ist es nicht zweckmäßig, die Gewölbe zu frühzeitig auszurüsten; sie bleiben am besten 28 Tage auf der Rüstung; jedenfalls soll man bei Spannweiten über 10 m hiervon nicht abweichen, wenn man keine erheblichen Einsenkungen haben will.

Bei der Nebenbahn Stettin-Jasenitz sind diese Anordnungen bei einer eingleisigen, einer dreigleisigen, sieben zweigleisigen Wegeüberführungen, bei fünf Wegeunterführungen (Seite 314) von 16 m, zwei von 8,10 m, neunzehn von 2 bis 7,10 m Spannweite, und bei zehn Durchlässen zur Anwendung gekommen. Es darf wohl angenommen werden, daß sie bei den geschilderten Vorteilen vorbildlich für künftige Bauten sein können.

In Abb. 11, Taf. L ist eine kleine 5 m weite Unterführung in moorigem Untergrunde dargestellt. Die starken Bewegungen des Untergrundes neben der Unterführung unter der Schüttung mußten bei Aufstellung des Entwurfes berücksichtigt werden. Um sie für das Bauwerk unschädlich zu machen, wurde außer durchgehenden Zangen im Pfahlroste das Gewölbe an der Sohle der Unterführung angeordnet und in seiner Stärke, seinem Pfeile und seiner Auflast so bemessen, daß der geringste Gewölbeschub aus dem Eigengewichte gleich dem angreifenden Erdschube auf das Widerlagermauerwerk der Unterführung bis zur Höhe des Pfahlrostes wurde.

Durch dieses Gewölbe wird erreicht, daß beide Widerlager mit der Hinterfüllung gemeinsam einem etwaigen einseitigen Schube widerstehen und zugleich die Last der Erde und des Verkehrs in der Unterführung von den durchgehenden Zangen ferngehalten wird. Trotz sehr starker Sackungen der Schüttung neben dem Bauwerke hat dieses keine Bewegung gezeigt.

Bei den statischen Untersuchungen nach Tolkmitt ist bei den Straßenüberführungen für die bewegliche Last eine

\*) Zeitschrift für Bauwesen 1894, S. 69.

Zusammenstellung I.

1	2	3	4	5	6			9	10	11	Bemerkungen
					Einsenkung in cm unter die Anfangshöhenlage des Lehrgerüsts						
Nr.	km	Lichte Weite	Pfeilhöhe	Pfeilverhältnis	des Lehrgerüsts nach der Belastung	des Gewölbes		später	Verhältnis der Einsenkung zur Spannweite 8:3	‰	
						vor dem Ausrüsten	nach				
<b>Überführungen:</b>											
1	5,943	9,00	1,50	1/6	3,0	4,0	4,0	fehlt	fehlt	4,5	
2	7,697	9,00	1,50	1/6	1,5	4,4	4,5	"	"	5,0	
3	9,642	9,00	1,50	1/6	1,1	2,5	2,5	6,6	1 1/2 Monate	7,4	
4	15,090	9,00	1,50	1/6	1,5	3,0	3,9	5,0	1 "	5,5	
5	9,096	7,20	1,60	1/4,5	1,0	1,9	2,6	4,1	2 "	5,7	Zweigbahn nach Grabow
6	11,694	8,00	1,85	1/4,32	0,0	1,0	2,0	2,0	1/2 "	2,5	Zweigbahn nach Vulcan-Bredow
<b>Unterführungen:</b>											
7	8,071	8,10	1,60	1/5,1	1,6	2,8	4,4	5,6	1 "	6,9	
8	15,543	8,10	1,60	1/5,1	2,0	3,0	4,5	4,5	1 "	5,5	
9	13,559	7,10	1,50	1/4,7	1,5	1,5	2,5	2,5	3 "	3,5	
10	14,785	7,10	1,50	1/4,7	1,0	1,5	3,0	3,0	1 "	4,2	
11	3,706	16,00	2,75	1/5,8	0,5	2,0	3,5	fehlt	fehlt	2,2	
12	9,348	16,00	2,75	1/5,8	1,4	4,6	7,50	13,5	4 "	5,9	
13	13,241	16,00	2,75	1/5,8	4,0	6,0	8,0	19,0	3 "	11,9	Lehrgerüst schon einmal benutzt
14	9,095	16,40	3,65	1/4,5	2,0	2,6	8,6	18,7	2 1/2 "	11,4	
15	11,047	16,40	3,65	1/4,5	3,0	5,0	7,0	9,0	3 "	5,5	

Bemerkung: Die Gewölbe Nr. 12, 13, 14 und 15 haben nur etwa zwei Wochen fertig auf dem Lehrgerüste gelegen, das Gewölbe Nr. 11 dagegen über vier Wochen.

Belastungshöhe von 0,60 m angenommen. Bei den Straßenerunterführungen ist die Belastungshöhe für die Gewölbe und die Hinterfüllung je nach Ungunst aus der Lokomotivlast oder dem Gewichte Kruppscher Kanonen-Wagen berechnet. Dabei sind für die Belastungshöhe der Hinterfüllung die nach Einzeichnung der Neigung 2:3 auf AB (Textabb. 6) unterzubringenden Lasten in Rechnung gestellt.

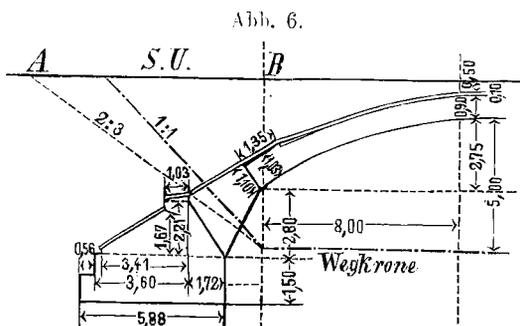


Abb. 6.

Die Belastungshöhe der Grundfläche F ist  $= \frac{Q}{\gamma F}$ , also für die Hinterfüllung  $= \frac{Q}{\gamma \cdot AB}$  mit  $\gamma = 1600 \text{ kg/cbm}$ .

Bei Widerlagern auf Pfahlrost ist die Bedingung zu erfüllen, daß die Mittelkraft des Widerlagers innerhalb der Pfähle den festen Untergrund trifft. Selbst bei Anwendung von sehr schräg gestellten Pfählen ist dieses bei hohen Widerlagern und tiefer Lage des festen Baugrundes nur dadurch zu erreichen, daß das Widerlager nach hinten absatzförmig verbreitert wird. Das Gewicht des Absatzes und die Erdlast über diesem kommen dann der Standfestigkeit der Mauer zu Gute und bewirken,

daß die Mittelkraft von der Vorderkante abrückt, steiler wird und der vorgenannten Bedingung genügt wird.

In Abb. 10, Taf. L zeigt das Widerlager diese Anordnung für eine Unterführung von 16 m Lichtweite mit eisernem Überbau; es steht durchaus fest.

Dieselbe Futtermauerform ergibt sich, wenn die Bodenpressung auf weichem Untergrunde sehr gering angenommen werden muß. Durch den hinteren Ansatz mit seiner Erdlast wird auch hier die Mittelkraft von der vordern Kante abgedrängt. Die in Textabb. 7 dargestellte Futtermauer stützt einen Damm,

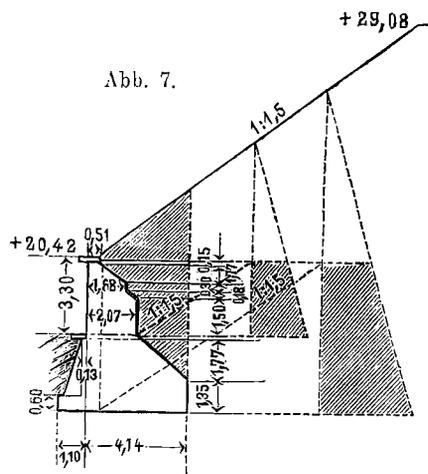


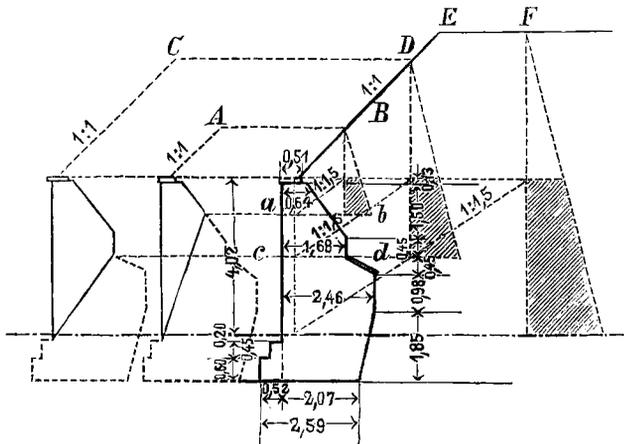
Abb. 7.

dessen Krone etwa 9,00 m über der Futtermauer liegt. Der Untergrund ist Diluvial-Ton, der höchstens mit 1 kg/qcm beansprucht werden darf. Der überstrichelte Erdkörper ist dem Gewichte der Mauer zugerechnet worden.

Bei hochliegendem Baugrund und Dämmen ergibt sich die absatzförmige Verstärkung nach hinten auch in Bezug auf die Kosten als vorteilhaft.

Der Erddruck ist nach der Formel  $E = m \frac{\gamma h^2}{2}$  waagrecht wirkend eingeführt, worin  $m = \frac{1}{4}$  und  $\gamma = 1600 \text{ kg/cbm}$  gesetzt ist. Bei Futtermauern an Dämmen ist die Höhe des Erddruckdreieckes nach Textabb. 8 bestimmt, in der die über-

Abb. 8.



strichelten Trapeze jedesmal den bis zur Fuge ab oder cd in Rechnung zu stellenden Erddruck darstellen. Denkt man sich bis B oder D Erdschüttungen AB und CD, so ist der Damm BEF oder DEF in Ruhe, wenn die Erdschüttungen in Ruhe sind. Dies ist der Fall, wenn die diese Erdschüttungen stützenden Futtermauern für einen den Linien AB oder CD entsprechenden Erddruck bestimmt werden. Hierbei fällt das Erddruckdreieck bis zur Oberkante der Futtermauer fort, und nur die überstrichelten Trapeze wirken.

Wo der Damm auf ausschließlich festem Boden liegt, ist angenommen, daß der Erddruck nur bis zur Geländeoberfläche wirkt, wo dagegen der Untergrund erst in größerer Tiefe sicher wird (Textabb. 7), ist der Erddruck bis zum festen Boden auftretend eingeführt, und dafür gesorgt, daß in wenigstens 1,50 m Breite hinter der Futtermauer nur Boden eingebracht wurde, der durch Feuchtigkeit seinen Rauminhalt nicht verändert.

Auf unter den Bauwerken liegenden Böschungen pflegen Zugwind und ungenügende Besonnung den Pflanzenwuchs zu hindern. Werden solche Böschungen angeordnet, so müssen sie nach Inbetriebnahme der Bahn mit an anderer Stelle gewonnenen Altstoffen gepflastert, oder die Weite des Bauwerkes muß durch die spätere Herstellung von Futtermauern vergrößert werden. Die so geschaffene Erweiterungsmöglichkeit (Abb. 9, Taf. L) ist namentlich für bevorstehende städtische Bebauung von großer Wichtigkeit.

Aus diesem Grunde sind mehrere Bauwerke mit genügender Höhe weiter gemacht, als zunächst nötig war, 16 m statt 10 m. und vorläufig mit Böschungen eingeschüttet.

Die hohen Böschungen 1:1 gleich neben den Stirnen dieser Bauwerke, welche nach der Seite rasch in die Neigung 1:1,5 übergehen, sind mit wagerechten Lagen von 60 cm Stärke und unter gutem Stampfen hergestellt; sie haben sich gut gehalten.

Die Festsetzungen der landespolizeilichen Prüfung beziehen sich lediglich auf die lichte Weite und lichte Höhe der Unterführungen und die lichte Breite der Überführungen. Wo es sich als vorteilhafter ergab, statt der in den landespolizeilich geprüften Plänen gezeichneten eisernen Bauten steinerne anzuwenden oder umgekehrt, oder gewölbte Unterführungen von 16,0 m und 7,10 m Spannweite an Stelle von 10 m und 4 m weiten Unterführungen zu setzen, unterlag dies lediglich dem Ermessen der Eisenbahn-Verwaltung.

Nachstehend sind die Kosten einiger Bauwerke aufgeführt. Hierbei ist mit den bei der Ausführung bezahlten höchsten Preisen und für Zement mit einem Preise von 32 M/cbm gerechnet. Den Zement lieferte die Verwaltung, die übrigen Baustoffe, bis auf das besonders vergebene Gelände, der Unternehmer. Das Gelände ist für die Überführungen mit 20 M/m, für die Unterführungen mit 12 M/m gerechnet.

In den folgenden Preisangaben für Mauerwerk gibt der zweite Teil die Kosten für Zement an.

Grundmauerwerk einschließlich	
Erdarbeiten . . . . .	18,85 + 1,8 = 20,65 M/cbm
Aufgehendes Mauerwerk und	
Übermauerung . . . . .	19,00 + 1,8 = 20,80 <
Schräggefugtes Mauerwerk . . . . .	19,50 + 2,4 = 21,90 <
Gewölbe . . . . .	31,50 + 2,4 = 33,90 <
Mauerwerk der Stirnen und	
Brüstungen . . . . .	24,75 + 1,8 = 26,55 <
Ansichtsfächen zu fugen . . . . .	1,50 + 0,13 = 1,63 M/qm
Abdeckung mit Flachsicht . . . . .	1,50 + 0,26 = 1,76 <
« « Asphaltfilz . . . . .	= 1,75 <
Abschrägungen auszugleichen	
und zu berappen . . . . .	0,95 + 0,42 = 1,37 <
Rapputz . . . . .	0,25 + 0,42 = 0,67 <
Abdeckplatten aus Sandsteinen,	
Liefiern und Verlegen . . . . .	14,00 + 0,42 = 17,42 <
Gesimse 60 cm hoch als Zulage	1,20 M/m
Abdeckung der Brüstungsmauer	
aus Granit . . . . .	135 + 3,00 = 138 M/cbm
Sohlenpflaster . . . . .	5 M/qm.

Für die Haltbarkeit steinerer Bauten ist es ungemein wichtig, gute Verblendsteine zu nehmen.

Bei den Bauten der Nebenbahn Stettin-Jasenitz sind für die Ansichtsfächen ausgesuchte Hintermauerung-Steine vorgeschrieben worden, was sich nicht bewährt hat.

In Zusammenstellung II, S. 316, sind deshalb die Ansichtsfächen aufgeführt, damit ein entsprechender Zuschlag für gute Verblendsteine gemacht werden kann.

## Zusammenstellung II.

Nr.	Nr. der Abb. auf Taf. L	km	Weite der Wegbreite m	Fahrbahn- kronen über SO oder SU über Fahrbahn m	Kosten		Ansichtsfläche		Bemerkungen
					M/m	Zuschlag für eine Stirn M	qm/m	qm einer Stirn	
<b>Überführungen:</b>									
1	—	5,943	2 gleisig	6,64	900	5000	20	175	Schräge Flügel.
2	—	2,17	"	6,64	900	4700	20	150	Gerade Flügel.
3	1	9,096	1 gleisig	6,10	485	4410	16	135	Zweigbahn nach Grabow.
4	—	11,694	"	7,66	1250	2700	45	80	Zweigbahn nach Vulcan-Bredow.
<b>Unterführungen:</b>									
5	5	6,862	2,00	3,45	330	420	6	18	
6	—	13,559	4,00	4,11	520	800	8	20	
7	2	15,543	8,00	5,31	800	3000	15	50	
8	—	9,348	9,00	7,51	1400	2750	18	55	Die anschließende, der Futtermauer der Berliner Stadtbahn nachgebil- dete Futtermauer kostet 300 M/m.
9	9	11,047	10,00	8,68	1910	2650	19	80	
<b>Durchlässe:</b>									
10	8	10,307	1,50 weit 1,90 hoch	19,00	230	790	3,00 M/m		Länge des Durchlasses ist zwischen der Hinterkante der Scheitelquader der Stirnen zu messen.
11	3	18,120	2,00 weit 1,25 hoch	2,58	250	205	7,00 "		Länge des Durchlasses ist zwischen den Vorderflächen der Stirnen ge- messen.
12	7	20,312	1,00 weit 1,25 hoch	5,24	125	305	5,00 "		
13	7	21,085	"	10,17	125	305	5,00 "		
14	7	24,800	"	4,42	125	305	5,00 "		

Bemerkung: An den Kosten der Bauwerke mit schräggefügten Widerlagerteilen kann ziemlich erheblich gespart werden, wenn statt des verlängerten Zementmörtels für das aufgehende Mauerwerk Wasserkalkmörtel verwendet wird.

Zu den Bauwerken lfd. Nr. 1 u. 2 vergl. Textabbildung 1 u. 2.

Bauwerk lfd. Nr. 4 besteht aus einem Gewölbe in der Mitte über dem Gleise und zwei Seitengewölben über den Einschnittböschungen.

Die Spannweiten der Über- und Unterführungen ergeben sich aus Zusammenstellung I.