

# ORGAN

für die

## FORTSCHRITTE DES EISENBAHNWESENS

in technischer Beziehung.

Fachblatt des Vereines deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

Neue Folge. XLIII. Band.

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

11. Heft. 1906.

### Über einige Anordnungen der Blockwerke und Stellwerksteile zum Ersatze der Hebel- und Unterweg-Sperre bei den Stellhebeln der Ausfahrtsignale in Stationen.

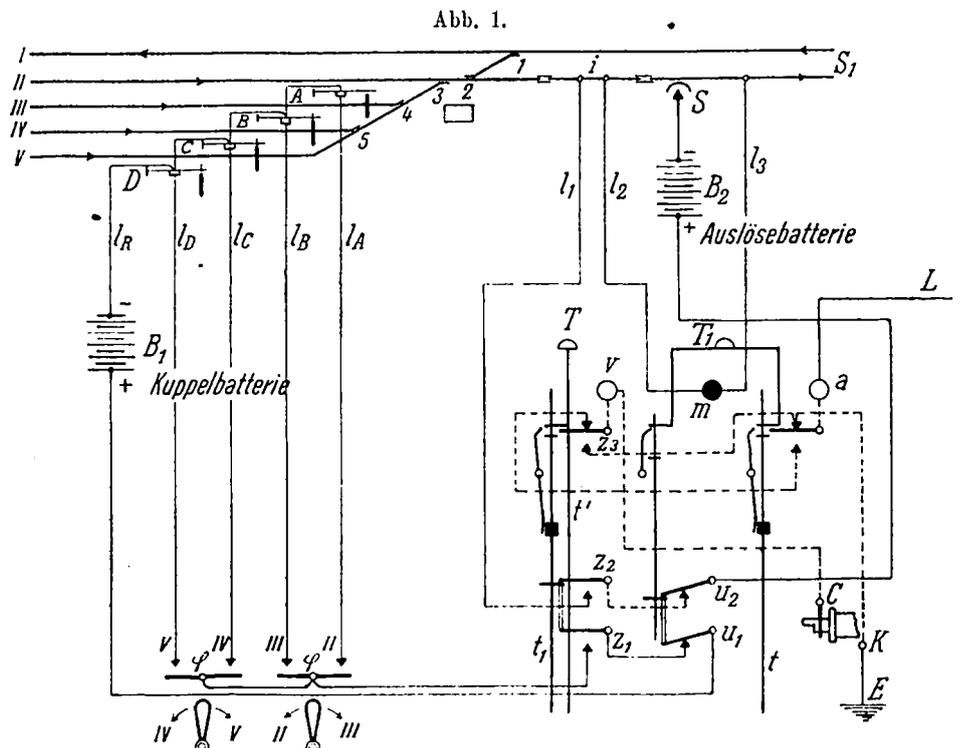
Von R. Edler, Ingenieur, Professor der Elektrotechnik am k. k. Technologischen Gewerbe-Museum in Wien.

Im Anschlusse an die Abhandlung von M. Boda\*), welcher den Ersatz der Hebel- und Unterweg-Sperre durch geeignete Anordnung und Verbindung der bewährten Einzelteile der elektrischen und mechanischen Verschlußeinrichtungen der Stellwerke vorschlägt, teile ich einige weitere Vorschläge zu diesem Gegenstande mit.

Zunächst sei erwähnt, daß sich die von Boda angegebenen Schaltungen zum Teil noch etwas vereinfachen lassen. Wie man nämlich aus Organ 1906, Abb. 1 auf Tafel XXI erkennt, ist der erste Druckstangentaster des Fahrstraßenblockfeldes (Druckknopf T) überflüssig; man kann die Wechselstromklemme C des Induktors unmittelbar an das eine Ende der Blockspulen v legen; das andere Ende dieser Elektromagnetwicklung bleibt, wie in Abb. 1, Taf. XXI mit dem Druckstangentaster, Achse Z<sub>3</sub>, verbunden, wobei immer noch alle Bedingungen erfüllt sind, und zwar sowohl beim Blocken und Auflösen von v, als auch in dem Falle, daß bei alleinigem Niederdrücken des Druckknopfes T ohne Drehung der Induktorkurbel der Selbstverschluß, die »Wechselsperre«, des Blockfeldes T eintritt, weil ja in diesem Falle der Stromschlußhebel Z<sub>3</sub> weder den obern noch den untern Stromweg schließt, vielmehr samt der Druckstange T in der Halbstellung so lange gefangen bleibt, bis die Blockung von v ordnungsgemäß beendet ist und T wieder losgelassen wird. Diese vereinfachte Schaltung ist in Textabb. 1 dargestellt.

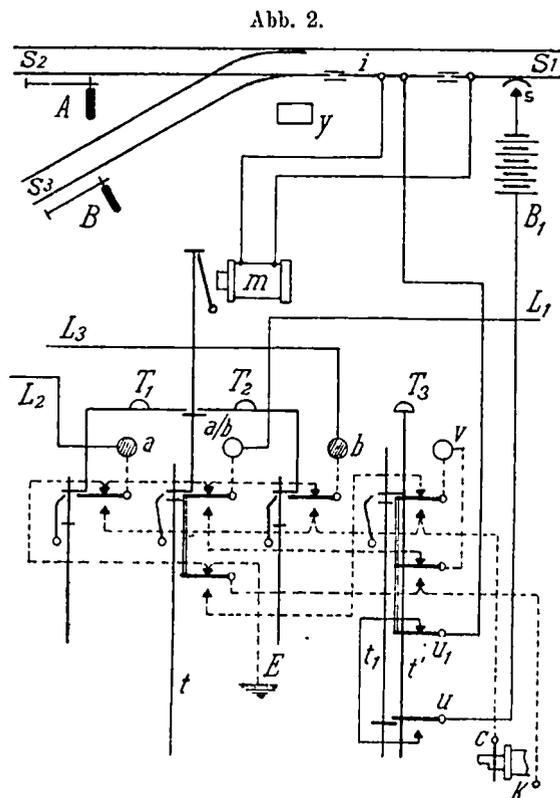
Auch bei der in Abb. 2, Tafel XXI angedeuteten Schaltung für Bahnbzweigungen, welche die »halbe« Hebelsperre

zu ersetzen vermag, läßt sich eine Vereinfachung anbringen. Da nämlich das Anfangsfeld a/b, welches auf den Verschluß der beiden Signale A und B einwirkt, niemals allein, sondern stets zugleich mit dem einen oder andern Endfelde a oder b durch den Doppeltaster T<sub>1</sub> oder T<sub>2</sub> geblockt werden kann, vorausgesetzt, daß die auch durch ein Gleichstromsperrefeld zu ersetzende elektrische Druckknopfsperre m durch die letzte Achse des Zuges ausgelöst wurde, so kann man die beiden unteren Druckstangentaster der beiden Endfelder, Vormeldeblockfelder a und b, welche beim Blocken die Erdleitung oder gemeinschaftliche Rückleitung vom Induktorkörper K zu trennen haben, in einen einzigen Stromschlußhebel verschmelzen und diesen an die Druckstange des gemeinschaftlichen Anfangs-



\*) Organ 1906, S. 89.

feldes a/b hängen; die Schaltung dieses zweiten Druckstangen-tasters in a/b macht keine Schwierigkeiten, da ja nur die Achse an den Induktorkörper K, die obere Ruhe-Klemme an Erde



oder Rückleitung, und die untere Arbeits-Klemme mit dem Fahrstraßenblocke v, T<sub>3</sub> zu verbinden ist (Textabb. 2).

Die von Boda angeführten Lösungen der Aufgabe, die Hebel- und Unterweg-Sperre der Ausfahrtsignalhebel durch die bekannten und bewährten Stellwerksteile zu ersetzen, sind unter der Voraussetzung durchgeführt, daß das Anfangsfeld der Blocklinie im Stellwerke untergebracht ist; es ist dabei gleichgültig, ob die einzelnen Ausfahrtsignale A, B, C, D . . . für die Gleise II, III, IV, V . . . noch unter besonderem mechanischen oder elektrischen Verschlusse stehen, der nur durch den Stationsbeamten je nach der bevorstehenden Zugfahrt gelöst werden kann, oder ob der Stellwerkswärter selbst, ohne unmittelbare Einflusnahme des Verkehrsbeamten der Station nur auf dessen Weisung mittels des Fernsprechers oder eines Gleisanzeigers, die »Fahrt«-Stellung des richtigen Ausfahrtsignales durch Blockung der betreffenden Fahrstraße vorbereitet, und sodann auch vornimmt.

Im ersten Falle steht entweder jeder Signalhebel unter Verschluss eines besondern Blockfeldes, welches unter Umständen auch von anderer Bauart sein kann, als das Fahrstraßenfeld und das Anfangsfeld der Blocklinie, etwa Gleichstrom- oder mechanische Blockung haben kann; dann werden die zugehörigen Freigabefelder im Dienstraume der Station vom Beamten je nach der bevorstehenden Zugausfahrt bedient; oder man verwendet die Gruppenblockung, wobei für alle auf ein bestimmtes Streckengleis mündenden Stationsgleise ein gemeinschaftliches Freigabefeld in der Station und ein gemeinschaftliches Ver-

schlußfeld im Stellwerke verwendet wird; dann wird die Blockung der richtigen Fahrstraße durch die Stromführung über die Fahrstraßenknebel im Stellwerke und im Stationsblockwerke erzwungen.

Jedenfalls liegt im ersten Falle die ganze Verantwortung für den Zugverkehr in der Hand des Verkehrsbeamten.

Im zweiten Falle hat der Stellwerkswärter meist fast die volle Verantwortung für die Freigabe des richtigen Ausfahrtsignales, was umso eher zulässig ist, als die Abfahrt des Zuges nicht nur von der »Fahrt«-Stellung des Signales, sondern auch von der persönlichen Zustimmung des Beamten abhängt; die »Fahrt«-Stellung eines unrichtigen Ausfahrtsignales könnte also nicht leicht übersehen werden. Die Umstellung der Ausfahrtsignale von »Halt« auf »Fahrt« läßt sich übrigens auch in diesem Falle ganz von dem Willen des Verkehrsbeamten abhängig machen, indem man den Signalkuppelstrom jedes Ausfahrtsignales über einen Stromschliesser beliebiger Bauart, der erforderlichen Falles vom Beamten geschlossen oder offen gehalten, beziehungsweise nachträglich unterbrochen wird, so daß dadurch die Umstellung des Signales von »Halt« auf »Fahrt« ermöglicht oder unmöglich gemacht, beziehungsweise das schon auf »Fahrt« stehende Ausfahrtsignal in die »Halt«-Lage zurückgeführt wird.

Besonders bei den Sicherungsanlagen, bei denen dem Stationsbeamten die volle Verantwortung für den Zugverkehr auch bei Ausfahrten übertragen ist, verdient jedoch die Verlegung des Anfangsfeldes der Blocklinie in das Stationsblockwerk Beachtung; allerdings darf dabei der Umstand nicht übersehen werden, daß bei durch unerwartete Vorgänge geänderten Fahrpläne, oder bei vorkommenden Irrtümern die Zurücknahme einer bereits erteilten Ausfahr-Erlaubnis möglich sein muß, ohne daß das Anfangsfeld der Blocklinie verschlossen wird oder bleibt; die Blockung dieses Feldes darf vielmehr grundsätzlich erst dann endgültig bestehen bleiben, wenn die Blocklinie tatsächlich besetzt ist, wenn also der Zug die Station verlassen hat. Diese Bedingung läßt sich bei den üblichen Anordnungen nur dann erreichen, wenn das Anfangsfeld der Blocklinie beim Ausenblocke, also im Stellwerke untergebracht wird\*); dabei wird eine geeignete Melde-Einrichtung erforderlich, damit der Stationsbeamte stets Kenntnis von der Lage des Anfangsfeldes der Blocklinie erhält und darnach den Lauf der Züge zwischen der Station und dem ersten Streckenblockposten beurteilen kann. Aber auch in diesem Falle ist die Zurückgabe einer von der Station irrtümlich erfolgten Ausfahr-erlaubnis seitens des Stellwerkswärters auf erfolgten Widerruf nur solange ohne Störung möglich, als die »Fahrt«-Stellung des irrtümlich freigegebenen »Ausfahr«-Signales noch nicht erfolgt ist, weil die Blockung des Anfangsfeldes durch den Wärter dem Wiederverschlusse des betreffenden Signalhebel-feldes unbedingt vorangehen muß, um eben die Blockung des Anfangsfeldes nach erfolgter Ausfahrt des Zuges zu erzwingen. Die getrennte Bedienung des Anfangsfeldes und des Signalhebel-

\*) Eisenbahntechnik der Gegenwart, II. Band, IV. Abschnitt, Scholkmann, Signal- und Sicherungs-Anlagen. Wiesbaden, C. W. Kreidels Verlag, Seite 946

feldes ist nämlich der gleichzeitigen Bedienung durch Doppel-tasten in diesem Falle vorzuziehen, weil dadurch die Strecken-blockung, das Anfangsfeld, von der Stationsblockung, den Hebefeldern, soweit unabhängig gemacht werden kann, das trotz erzwungener Reihenfolge der Bedienung doch die Stations-blockung als selbständige Einrichtung angesehen und nach beliebiger anderer Bauart ausgeführt werden kann.

War nun aber das irrtümlich freigegebene Ausfahrtsignal noch nicht auf »Fahrt« gezogen, so besteht beim Anfangsfelde noch die mechanische oder elektrische Druckknopfsperre, so daß das Anfangsfeld noch nicht verschlossen werden kann, während sich das irrtümlich freigegebene Hebefeld ohne weiteres verschließen läßt, da der Zwang für die Reihenfolge der Bedienung: zuerst Anfangsfeld, dann Hebefeld, erst bei der »Fahrt«-Stellung eines der betreffenden Ausfahrtsignale ge-schaffen wird.

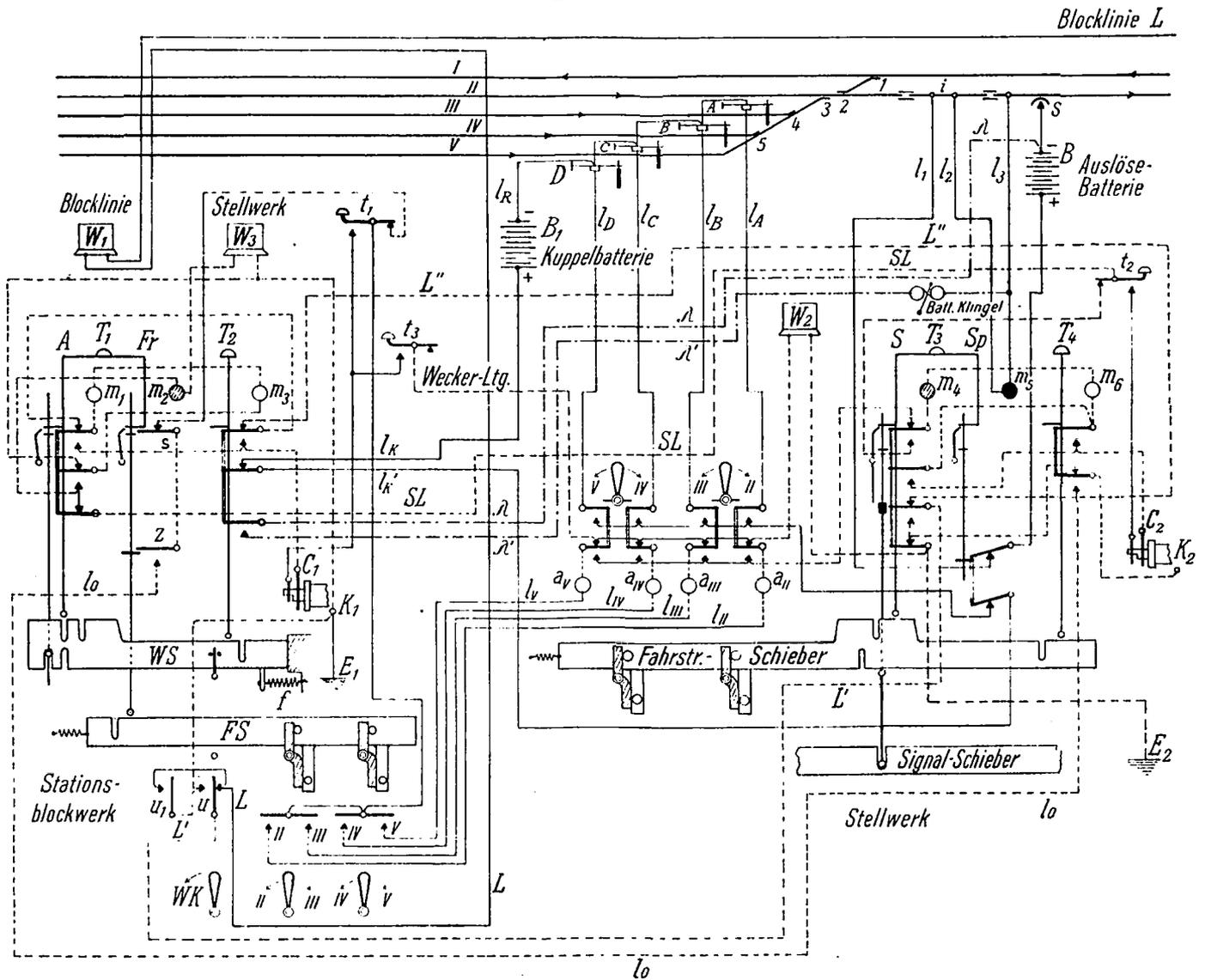
Nach der folgenden Beschreibung läßt sich aber mit be-währten Mitteln und ohne Verwendung neuartiger Einzelteile bei Anordnung des Anfangsfeldes der Blocklinie im Stations-blockwerke auch die Aufgabe lösen, den Widerruf einer irrtümlich erfolgten Ausfahr-Erlaubnis jederzeit, also auch nach »Fahrt«-Stellung des unrichtigen Ausfahrtsignales, zu erteilen, und gleichzeitig ähnlich, wie bei den Vorschlägen Boda's, die Unterweg- und Hebel-Sperre entbehrlich zu machen.

Je nachdem die anschließende Blocklinie vierteilig mit »Vorblocken« oder zweiteilig eingerichtet ist, werden sich auch verschiedene Lösungen der Aufgabe mit verschiedenen Schal-tungen ergeben.

a) Schaltungen bei Verwendung vierteiliger Streckenblockwerke auf Blocklinien mit Vorblockung, Vormeldung.

Textabb. 3 zeigt die Anordnung und das Zusammenwirken der elektrischen und mechanischen Verschlufs-Einrichtungen im

Abb. 3.



Stationsblockwerke und im Stellwerke. A ist das Anfangsfeld der Blocklinie, welches im Stationsblockwerke untergebracht und mit dem Signal-Freigabefelde Fr gekuppelt ist; beide Blockfelder sind mit Sicherheitsklinken gegen wiederholtes Drücken ausgerüstet.

Die Sperrstange des Freigabefeldes Fr arbeitet mit dem Fahrstrassenschieber FS zusammen, so daß der Doppeltaster T<sub>1</sub>, A—Fr, erst dann gedrückt werden kann, wenn der Fahrstrassenschieber für irgend ein Ausfahr-Gleis umgelegt ist; die Ankündigung des betreffenden Gleises erfolgt mittels des Weck-

tasters  $t_1$  im Stationsblockwerke und der Anzeigevorrichtungen  $a_{II}$   $a_{III}$   $a_{IV}$   $a_V$  und des Weckers  $W_2$  im Stellwerke; in Textabb. 3 sind vier Fahrstraßen angenommen.

Für den Widerruf einer irrtümlich erteilten Ausfahr-erlaubnis ist ein Druckknopf  $T_2$  vorgesehen, welcher von dem Widerruf-Knebel WK und dem Widerruf-Schieber WS abhängig gemacht ist; WS aber steht außerdem unter dem Einflusse der Sperrstange und der verlängerten Druckstange des Anfangsfeldes A, so daß der Widerruf-Knebel WK aus seiner Ruhelage nur dann nach links umgelegt werden kann, wenn vorher die beiden Blockfelder A und Fr mit dem Doppeltaster  $T_1$  geblockt sind, also wenn der Beamte vorher die Abfahrt eines Zuges angeordnet hatte; ein Widerruf kann eben nur dann erfolgen, wenn vorher ein Befehl erteilt ist. Um eine irrtümliche Bedienung des Widerruf-Knebels zu verhüten, wird dieser zweckmäßig auch noch mit einem Bleisiegel in der Ruhelage festzubinden sein.

Der Widerruftaster  $T_2$  wird nebst den drei angehängten Stromschlußhebeln am einfachsten so ausgeführt, wie die Druckstange eines gewöhnlichen Blockfeldes; man kann dabei auch den Rechen nebst Elektromagnet  $m_3$  einbauen und durch beliebige gewählte Farben hinter dem Blockfensterchen andeuten, ob der Widerruf erteilt wurde oder nicht;  $m_3$  müßte dann unmittelbar hinter  $m_1$  eingeschaltet werden, wie dies in Textabb. 3 durch gestrichelte Linien angedeutet ist. Die Sperrklinke, die Sperrstange, die Sicherheitsklinke und die Druckstangensperre, die Hilfsklinke für vollständiges Ausblocken, bleiben aber ganz weg, und es dürfte zumeist auch überflüssig sein, den Elektromagneten  $m_3$  mit Rechen und Blockfenster einzubauen, da man ja aus der Stellung des Widerrufknebels WK unzweifelhaft erkennt, ob ein Widerruf der Ausfahr-Erlaubnis erteilt wurde.

Dagegen hat der den Widerruf bewirkende Druckknopf  $T_2$  den Kuppelstrom zu unterbrechen und das Sperrfeld, die elektrische Druckknopfsperre  $Sp$ , im Stellwerke auszulösen, um ein möglicherweise schon auf »Fahrt« gestelltes Ausfahrtsignal wieder in die »Halt«-Lage zu bringen, oder dessen »Fahr«-Stellung unmöglich zu machen. Um dabei dem Stellwerkswärter den Widerruf auch durch ein hörbares Signal bekannt zu geben, kann in die zum Sperrfelde führende Leitung eine Batterie-Klingel, ein Rasselwecker ohne Selbstunterbrechung, eingeschaltet werden, welche erforderlichen Falles auch noch mit einer Fallscheibe versehen werden kann.

Im Stellwerke ist das Signalblockfeld S mit dem Gleichstrom-Sperrfelde  $Sp$ , der elektrischen Druckknopfsperre, Auslöse-Vorrichtung, gekuppelt; beide werden mit Hilfe des gemeinschaftlichen Druckknopfes  $T_3$  verschlossen. Das Signalblockfeld S wird mit dem bekannten Selbstverschlusse\*) ausgerüstet, während der Kuppelstrom der »Halt«-Fall-Vorrichtungen, der elektro-magnetischen Flügelkuppelung, der Ausfahrtsignale durch einen Stromschließer geschlossen und geöffnet wird, der von der Sperrstange des Sperrfeldes gesteuert wird. Dadurch wird die Unterweg- und Hebel-Sperre entbehrlich, weil die Kuppelbatterie bei der Auslösung des Sperrfeldes

\*) Eisenbahntechnik der Gegenwart, II. Band. IV. Abschnitt, Seite 1348 unten und 1349 oben: »Verschlußwechsel.«

durch die letzte Achse des Zuges oder beim Widerruf unterbrochen wird und nur durch Niederdrücken des Doppeltasters  $T_3$  wieder geschlossen werden kann, was erst nach Rückstellung des Stellhebels möglich wird; dabei tritt aber der Selbstverschlus des Signalblockfeldes S ein, der sich nur durch Ausführung des vollständigen elektrischen Blockverschlusses beseitigen läßt, so daß die Blockung des Ausfahrtsignales erzwungen wird.

Zur Auflösung des Signalblockfeldes S dient nun ein Blocktaster  $T_1$  im Stellwerke, der in ähnlicher Weise wie  $T_2$  im Stationsblockwerke einen Elektromagneten  $m_6$  und einen Rechen erhalten kann, so daß ein vollständiges Blockfeld entsteht, jedoch mit Hinweglassung der Sperrklinke, der Sperrstange, der Sicherheitsklinke und der Druckstangensperre; unbedingt erforderlich ist aber der Rechen und der Elektromagnet  $m_6$  nicht, weil zuerst der Verschlus des Fahrstraßenschiebers durch die hochspringende Sperrstange des Signalblockfeldes S bewirkt, und dann erst der Signalschieber frei wird, so daß man aus der Entriegelung des Signalhebels oder des Signalknebels mit Sicherheit auf den erfolgten Verschlus der Fahrstraße schließen kann. Der Fahrstraßensverschluß besteht dann aber so lange, bis das Signal mit  $T_3$ , S—Sp, wieder geblockt ist, was erst möglich wird, wenn das Sperrfeld durch den ausgefahrenen Zug selbst oder beim Widerruf durch den Beamten ausgelöst worden ist.

Jedenfalls aber darf sich  $T_1$  erst dann drücken lassen, wenn der Fahrstraßen-Knebel oder -Hebel umgelegt ist;  $T_1$  muß daher in den Fahrstraßenschieber eingreifen. Aber auch dann darf der Stromweg, auf dem der Signalblock S aufgelöst wird, nur unter der Bedingung geschlossen sein, daß im Stellwerke und im Stationsblockwerke dieselbe Fahrstraßenleitung mit Hilfe der Fahrstraßenknebel eingeschaltet ist, daß überdies die Sperrstange des Freibefeldes Fr im Stationsblockwerke in geblockter Lage den umgelegten Fahrstraßenknebel festhält und daß dabei der Doppeltaster  $T_1$ , A—Fr, in seiner obern Ruhelage durch die Sicherheitsklinke gesperrt ist, was mit Hilfe des Zustimmungstromschließers z und des Sicherheitstromschließers s überprüft wird; man kann auch an der Sicherheitklinke von Fr selbst einen Stromschließer anbringen, der z und s in ihrer Wirkung ersetzt.

Ein Umstand verdient endlich noch Erwähnung; da das »Vorblocken« nur dann erfolgen soll, wenn das Signalblockfeld S nach wirklich erfolgter Ausfahrt eines Zuges wieder verschlossen wird, so muß die auf die Strecke führende Blockleitung L bei etwaigem Widerruf einer bereits freigegebenen Ausfahrt abgeschaltet werden, um beim Verschlusse des Signalblockfeldes S gemäß dem erfolgten Widerruf nur das Freibefeld Fr im Stationsblockwerke, nicht aber auch das Vormeldefeld im benachbarten Streckenblockposten aufzulösen. Die dazu erforderliche Umschaltung kann man am einfachsten dem Widerrufknebel übertragen, der ja so lange in der umgelegten Stellung verschlossen bleibt, bis der Beamte wieder eine Ausfahrt mit  $T_1$ , A—Fr, freigegeben hat.

Alles Übrige kann aus Textabb. 3 mit genügender Deutlichkeit entnommen werden.

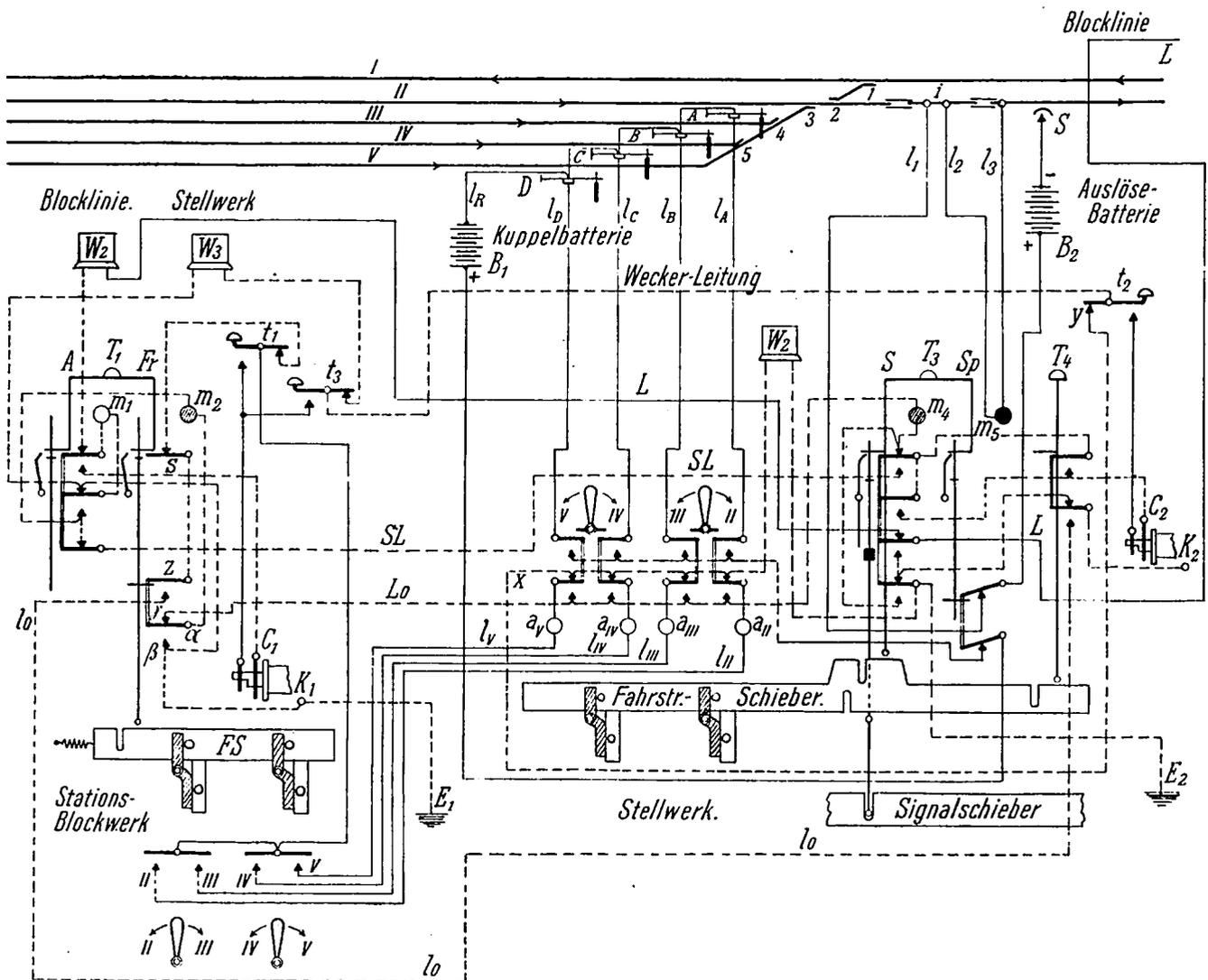


Signalfeldes S im Stellwerke erst dann eintreten kann, wenn die Sperrstange des Freigabefeldes Fr im Stationsblockwerke die Hochlage erreicht hat; dies wird dadurch erreicht, daß der Strom beim Blocken des Signalverschlusfeldes S zunächst seinen Weg von C<sub>2</sub>, dem Induktor im Stellwerke, über die Leitung SL und m<sub>2</sub> und über einen Tellerstromschließer an der Sperrstange von Fr unmittelbar zur Erde oder Rückleitung nimmt, und erst dann in die Leitung L<sub>0</sub> und damit zu den Spulen m<sub>4</sub> des Signalverschlusfeldes S gelangen kann, wenn die Sperrstange von Fr tatsächlich die Hochlage vollständig erreicht und dadurch den Zustimmungstromschließer z unter-

brochen hat. Daher kann jetzt keine zweite Umstellung des Ausfahrsignals für dasselbe Gleis bewirkt werden, denn der Versuch durch Niederdrücken von T<sub>4</sub> und Drehen der Induktorkurbel den Signalverschluss S für dasselbe Gleis nochmals aufzulösen, bleibt wegen der Unterbrechung bei z in Fr. im Stationsblockwerke wirkungslos.

Falls man es als nicht erforderlich erachtet, die Möglichkeit des Widerrufs einer bereits erteilten Ausfahrfreigabe zu schaffen, kann man einfach den Druckknopf T<sub>2</sub> mit den Stromschließern im Stationsblockwerke weglassen, und hätte dann die Schaltung nach Textabb. 5 durchzuführen.

Abb. 5.



Unter allen Umständen verdient aber die Schaltung nach Textabb. 4 am meisten Beachtung, weil sie den strengsten Bedingungen am vollständigsten genügt.

b) Schaltungen bei Verwendung zweiteiliger Streckenblockwerke auf Blocklinien ohne Vormeldung.

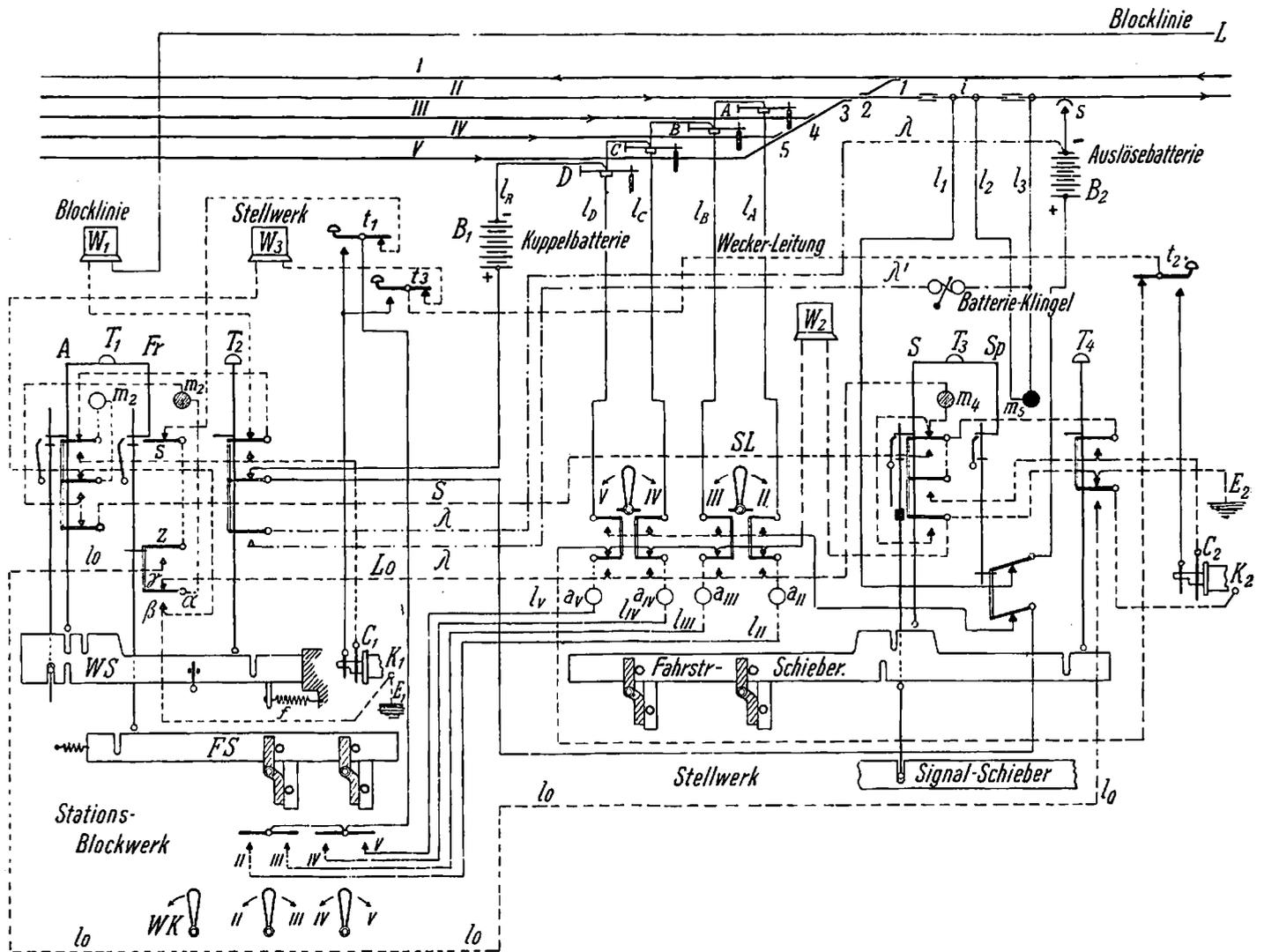
Bei Verwendung zweiteiliger Streckenblockwerke vereinfacht sich die Schaltung in allen Fällen dadurch, daß es nicht erforderlich ist, die Wechselströme beim Verschlusse des Signal-

feldes auch in die Leitung zum Streckenblocke zu senden; dabei kann bei derartigen Blocklinien im Stellwerke der Induktorkörper K<sub>2</sub> unmittelbar an die Erde oder Rückleitung gelegt werden, während die Leitung L vom Streckenblocke nicht über die Blockwerke im Stellwerke, L' L'', zu führen ist, sondern unmittelbar in das Stationsblockwerk einmündet. Da das Vorblocken wegfällt, so ist es dabei auch nicht erforderlich, den Widerrufknebel zur Unterbrechung der Streckenblockleitung heranzuziehen, daher kann auch dieser Stromschließer bei der zweiteiligen Blocklinie erspart werden.

Man gelangt dadurch zu der Schaltung Textabb. 6, die sich an die Schaltung der Textabb. 4 unmittelbar anlehnt. In gleicher Weise lassen sich die Schaltungen und Text-

abb. 3 und 5 den zweiteiligen Blocklinien anpassen, sie stehen dann aber an Vollkommenheit hinter der Schaltung nach Textabb. 6 zurück. Zum Schlusse sei noch kurz angedeutet, wie

Abb. 6.



die Farbscheiben auf den Rechen der einzelnen Blockfelder anzuordnen sind.

1. Blockfeld A: Anfangsfeld der Blocklinie; Ruhelage »frei«, Rechen hoch; obere Hälfte rot, untere Hälfte weiß; Blockfenster weiß.
2. Blockfeld Fr: Freigabefeld für das Ausfahr-Signal; Ruhelage »frei«, Rechen hoch; obere Hälfte weiß, untere Hälfte rot; Blockfenster rot.
3. Blockfeld T<sub>2</sub>: Widerruf der Ausfahrt; Ruhelage »frei«, Rechen hoch; obere Hälfte schwarz, untere Hälfte weiß; Blockfenster weiß.

4. Blockfeld S: Signalverschlusfeld; Ruhelage »geblockt«, Rechen unten; obere Hälfte rot, untere Hälfte weiß; Blockfenster rot.
5. Blockfeld Sp: Sperrfeld, elektrische Druckknopfsperre; Ruhelage »geblockt«, Rechen unten; obere Hälfte schwarz, untere Hälfte weiß; Blockfenster schwarz.
6. Blockfeld T<sub>4</sub>: gleichwertig mit dem Fahrstraßen-Verschlusfelde; Ruhelage »frei«, Rechen hoch; obere Hälfte grün, untere Hälfte weiß; Blockfenster weiß.

(Schluß folgt.)

# Der Balken mit elastisch gebundenen Auflagern bei Unsymmetrie mit Bezugnahme auf die Verhältnisse des Eisenbahnoberbaues.

Von A. Francke, Baurat in Alfeld a. d. Leine.

(Schluß von Seite 191.)

## 7. Der Balken mit beliebig vielen und beliebig verteilten Einzelstützen und Einzelbelastungen.

Für den in Textabb. 18 dargestellten Balken sei wie bisher die rechte Seite die + Seite. Auf der rechten Seite

neue Stützengleichung in der für übersichtliche Bildung der allgemeinen Determinante zweckmäßigen Form so, daß auf der rechten Seite der einfache Wert  $+\frac{\psi P}{mk}$  erscheint, mithin der

sich auf diese Stütze beziehende Wert P in der Gleichung keinen

anderen Faktor als  $+\frac{\psi}{mk}$  erhält,

so kann man, wie an dem bestimmten Beispiele der Stütze  $P_7$  näher erläutert werden soll, diese bestimmte Stützengleichung ohne weiteres für sich niederschreiben:

$$\begin{aligned} \text{Gl. 7)} \quad & 2 m M (1 + \gamma_7)^2 + 2 Q [\gamma_7 \delta] \\ & + \frac{\psi P_7}{mk_7} + \frac{2}{3} \sum_r \epsilon^{3 \cdot 7} P + 2 \sum_1 P [\beta \gamma_7] \\ & = \frac{2}{3} \sum_r \zeta^3 R + 2 \sum_1 R [\sigma \gamma_7]. \end{aligned}$$

In dieser Gleichung bedeutet  $\gamma_7$  stets den größten Abstand der Stütze  $P_7$  von den Endlagern, also da  $P_7$  auf der

rechten Seite von 0 steht, die Winkelzahl des Abstandes  $P_7$  vom linken Auflagerpunkte.

$$[\gamma_7 \delta] \text{ bedeutet den Ausdruck } 1 + \gamma_7 - \frac{\gamma_7^3}{3} + \delta (1 + \gamma_7)^2,$$

während  $[\beta \gamma_7] = 1 + \beta - \frac{\beta^3}{3} + \gamma_7 (1 + \beta)^2$  ist und

$$[\sigma \gamma_7] = 1 + \sigma - \frac{\sigma^3}{3} + \gamma_7 [1 + \beta]^2.$$

$\sum \epsilon^3 P$  bedeutet die Summe aller zwischen 0 und  $P_7$  stehenden Stützendrücke P, jedes vervielfältigt mit dem Kubus seines Abstandes von  $P_7$ . Nach Maßgabe der Zeichnung würde daher  $\sum \epsilon^3 P = \epsilon^{3 \cdot 1} P_1 + \epsilon^{3 \cdot 3} P_3 + \epsilon^{3 \cdot 5} P_5$  zu setzen sein.

Ebenso bedeutet  $\sum_r \zeta^3 R$  die Summe aller zwischen 0 und  $P_7$  stehenden Räder, jedes vervielfältigt mit dem Kubus der Winkelzahl seines Abstandes von  $P_7$ .

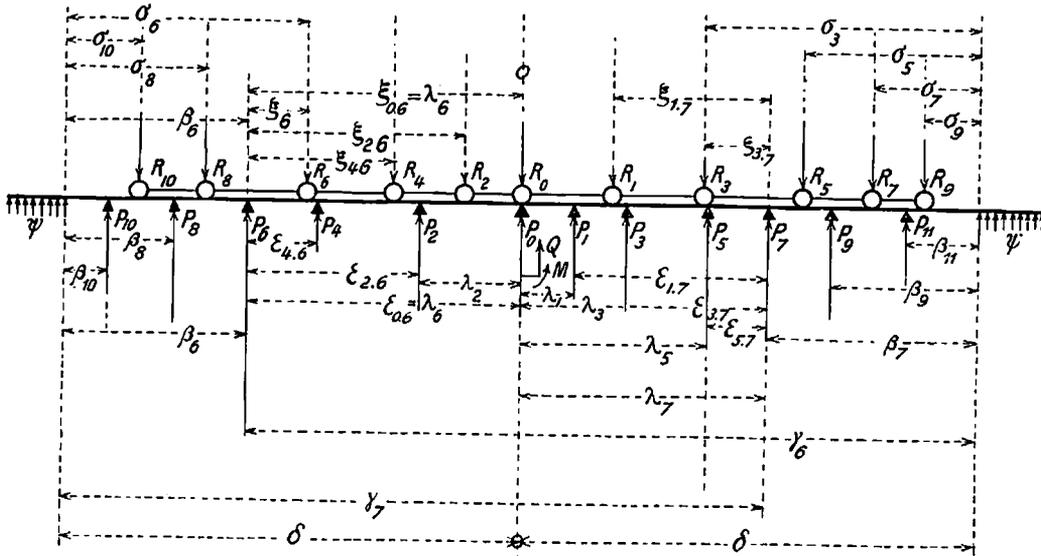
$\sum_1 P [\beta \gamma_7]$ ;  $\sum_1 R [\sigma \gamma_7]$  beziehen sich auf alle auf der linken Seite, also der andern Seite, als auf welcher die Stütze  $P_7$  dieser bestimmten Stützengleichung 7) steht, befindlichen Stützen und Räder. Weil  $P_7$  auf der rechten, positiven Seite steht, erscheint der Ausdruck  $2 Q [\gamma_7 \delta]$  als positiver Wert.

Für eine beliebige auf der linken Seite stehende Stütze gilt die gleichgebaute Stützengleichung für Stütze 6:

$$\begin{aligned} \text{Gl. 6)} \quad & 2 m M (1 + \gamma_6)^2 - 2 Q [\gamma_6 \delta] + \frac{\psi P_6}{mk_6} + \frac{2}{3} \sum_1 \epsilon^3 P \\ & + 2 \sum_1 P [\beta \gamma_6] = \frac{2}{3} \sum_1 \zeta^3 R + 2 \sum_r R [\sigma \gamma_6]. \end{aligned}$$

Das Glied  $2 Q [\gamma_6 \delta]$  erscheint hier mit dem Zeichen —, weil Stütze 6 auf der — Seite steht,  $\sum_1 \epsilon^3 P$  ist  $= \epsilon^{3 \cdot 0} P_0 + \epsilon^{3 \cdot 2} P_2 + \epsilon^{3 \cdot 4} P_4$ .

Abb. 18.



befinden sich eine beliebige Anzahl von Stützen, elastisch gelagerten Querschwellen und eine beliebige Anzahl von Einzellasten, Rädern R; als Kennzeichen dieser Seite sind die ungeraden Zahlen, für die linke Seite für Stützen und Lasten die geraden Zahlen gewählt. Der Vollständigkeit halber sind für den Mittelpunkt 0 die beiden Werte  $P_0$  und  $R_0$  aufgenommen, da bei beliebiger Verteilung ja auch an dieser Stelle ein Rad oder eine Schwelle, oder beides vorhanden sein kann. Diese Werte  $P_0$ ,  $R_0$  werden der linken Trägerseite zugewiesen, also ist der gesuchte Wert Q die unmittelbar rechts von 0 wirkende Querkraft.

Zur Bestimmung der Kräfteverteilung stehen nun nach dem früher Gesagten die beiden Hauptgleichungen zu Gebote:

$$\begin{aligned} \text{Gl. I)} \quad & 4 m M (1 + \delta) + \sum P (1 + \beta)^2 = \sum R (1 + \sigma)^2, \\ \text{Gl. II)} \quad & 2 Q [\delta] + \sum_1 P [\beta \delta] - \sum_r P [\sigma \delta] = \sum_1 R [\sigma \delta] \\ & - \sum_r R [\sigma \delta]. \end{aligned}$$

Der Wert  $P_0$ ,  $R_0$  wird gegebenen Falles, wenn nämlich in 0 tatsächlich eine Stütze oder ein Rad vorhanden ist, nach der über Q getroffenen Festsetzung mit in  $\sum_1 P [\beta \delta]$ , beziehungsweise  $\sum_1 R [\sigma \delta]$  mit dem Einzelwerte  $P_0 [\delta]$  beziehungsweise  $R_0 [\delta]$  erscheinen.

Sind nun im ganzen n Einzelstützen vorhanden, so ist der Balken statisch betrachtet n + 2 fach unbestimmt und man bedarf daher noch der Aufstellung von n verschiedenen Bestimmungsgleichungen. Für jede vorhandene Stütze ist je eine besondere Bestimmungsgleichung erforderlich, und diese besondere Stützengleichung kann leicht für sich besonders nach allgemeinen Regeln aufgestellt werden. Schreibt man jede

Für die Stütze  $P_0$ , welche also nach der hier angenommenen Darstellung als unmittelbar links neben 0 liegend gedacht wird, gilt die Stützgleichung:

$$\text{Gl. 0)} \quad 2 m M (1 + \delta)^2 - 2 Q [\delta] + \frac{\psi P_0}{mk_0} + 2 \sum_r P [\beta \delta] \\ = 2 \sum_r R [\sigma \delta],$$

sie fällt, wie überhaupt jede andere Stützgleichung fort, wenn die betreffende Stütze  $P_0$  nicht vorhanden ist.

Der Beweis für die allgemeine Gültigkeit dieser hier gegebenen Stützgleichungen kann auf Grund der bereits weiter oben gegebenen Betrachtungen wie folgt geführt werden.

Wir fanden die beiden für die rechte, die + Seite gültigen Gleichungen:

$$\text{Gl. 1}^r \quad \begin{cases} 2 m^2 E J \varphi - 2 m M (1 + \delta) + Q (1 + \delta)^2 - \sum_r P \\ \quad (1 + \beta)^2 + \sum_r R (1 + \sigma)^2 = 0, \\ 4 m^3 E J h + 2 m M (1 + \delta)^2 - Q [\delta] + 2 \sum_r P [\beta \delta] \\ \quad - 2 \sum_r R [\sigma \delta] = 0. \end{cases}$$

In diesen beziehen sich die Summen auf alle rechts von 0, also rechts von der Schnittstelle der in 0 wirkenden Querkraft  $Q$  befindlichen lotrechten Kräfte  $P_r$ ,  $R_r$ , und diese Gleichungen bleiben gültig bei beliebig vielen und beliebig gestellten Kräften  $P_r$ ,  $R_r$ .

Für die linke Seite gelten die gleichgebauten, durch Vertauschung von  $\varphi$  mit  $-\varphi$ ,  $Q$  mit  $-Q$  entstehenden Gleichungen:

$$\text{Gl. 1}^l \quad \begin{cases} -2 m^2 E J \varphi - 2 m M (1 + \delta) - Q (1 + \delta)^2 - \sum_l P \\ \quad (1 + \beta)^2 + \sum_l R (1 + \sigma)^2 = 0, \\ 4 m^3 E J h + 2 m M (1 + \delta)^2 + Q [\delta] + 2 \sum_l P [\beta \delta] \\ \quad - 2 \sum_l R [\sigma \delta] = 0. \end{cases}$$

Hier umfassen die Summen alle links von der Schnittstelle der in 0 wirkenden Querkraft  $Q$  stehenden Kräfte  $P_l$ ,  $R_l$ , insbesondere also auch nach der hier gemachten besonderen Voraussetzung über die Querkraft  $Q$  die Kräfte  $P_0$ ,  $R_0$ .

Jede einzelne Stützgleichung, beispielsweise diejenige der Stütze  $P_7$  oder  $P_6$ , wird gefunden auf Grund des für diese Stütze bestehenden besondern Zwanges der elastischen Bindung

dieser Stütze:  $y_7 = \frac{P_7}{k_7}$ ,  $y_6 = \frac{P_6}{k_6}$ , oder nach Ausführung bei

Betrachtung des Wertes  $4 m^3 E J y_7 = 4 m^3 E J \frac{P_7}{k_7} = \frac{\psi P_7}{mk_7}$ , auf Grund der Gleichungen:

$$\text{Gl. 7)} \quad 4 m^3 E J h + 4 m^2 E J \varphi \lambda_7 - 2 m M \lambda_7^2 + \frac{2}{3} Q \lambda_7^3 \\ + \frac{2}{3} \sum_r \xi^3 R - \frac{2}{3} \sum_r e^3 P - \frac{\psi P_7}{mk_7} = 0,$$

$$\text{Gl. 6)} \quad 4 m^3 E J h - 4 m^2 E J \varphi \lambda_6 - 2 m M \lambda_6^2 - \frac{2}{3} Q \lambda_6^3 \\ + \frac{2}{3} \sum_l \xi^3 R - \frac{2}{3} \sum_l e^3 P - \frac{\psi P_6}{mk_6} = 0.$$

Hier umfassen die Summen alle zwischen der Stelle der Querkraft  $Q$  in 0 und der betreffenden Stütze,  $P_7$  oder  $P_6$ , befindlichen Kräfte  $P_r$  oder  $P_l$ ; diese Gleichungen bleiben allgemein gültig bei beliebiger Annahme von Einzelstützen  $P$  oder von Einzellasten  $R$  zwischen der Schnittstelle  $Q$  und der betreffenden Stütze  $P_7$  oder  $P_6$ .

Die Stützgleichung der auf der rechten Seite befindlichen Stütze 7 wird aber in der gegebenen Form gefunden durch Entfernung der Werte  $4 m^3 E J h$ ,  $4 m^2 E J \varphi \lambda_7$  mit Hilfe der beiden auf die andere, linke Seite bezüglichen Gl. 1<sup>l</sup>), da die allgemeinen Beziehungen bestehen:

$$[\delta] + (1 + \delta)^2 \lambda - \frac{\lambda^3}{3} = [\gamma \delta] \text{ für } \delta + \lambda = \gamma, \\ \lambda^2 + (1 + \delta)^2 + 2 (1 + \delta) \lambda = (1 + \delta + \lambda)^2 = (1 + \gamma)^2, \\ [\beta \delta] + \lambda (1 + \beta)^2 = [\beta \gamma].$$

Umgekehrt kann die Stützgleichung der auf der linken Seite von  $Q$  befindlichen Stütze  $P_6$  durch Entfernung der Werte  $4 m^3 E J h$ ,  $-4 m^2 E J \varphi \lambda_6$  mit Hilfe der beiden auf die rechte Seite bezüglichen Gl. 1<sup>r</sup>) gewonnen werden.

In Vorstehendem ist gezeigt, das und wie für einen beliebig gestützten, mit beliebigen Einzellasten belasteten Balken mit elastisch gebundenen Enden die zur Hebung der statischen Unbestimmtheit erforderlichen Bedingungsgleichungen rechnermäßig aufgestellt werden können. Für den Eisenbahn-Querschwellenoberbau ist damit die Lösung der Aufgabe gegeben, die Wirkungen eines beliebig zusammengesetzten Lastzuges bei willkürlicher Anordnung der Schwellenlage zu einheitlicher Darstellung zu bringen.

Es wird nochmals hervorgehoben, das die Betrachtungen und Formeln ohne einschränkende Voraussetzungen gemacht, also allgemein gültig sind. Jeder Elastizitätszahl  $k$  einer Querschwellenoberbau kann unabhängig von allen anderen Werten jede beliebige Größe von dem dem Fortfalle der betreffenden Einzelstützung entsprechenden Werte 0 bis zu dem starrer Stützung angehörigen Grenzwerte  $\infty$  zugewiesen werden. Ebenso kann  $\psi$ ,  $m$  jeder Wert von 0 bis  $\infty$  gegeben werden.

Über die Bedeutung der einzelnen Gleichungen ist noch das Folgende zu sagen.

Die Hauptgleichung I) kann als der allgemeine Satz über das Biegemoment  $M$  der Mitte eines Balkens mit elastisch gebundenen Enden betrachtet werden.

Ist für den nicht durch Zwischenstützen gestützten Balken der allgemeine Satz:

$$4 m M = \frac{R (1 + \sigma)^2}{1 + \delta}$$

bekannt, so ist damit auch die Hauptgleichung I) für den Balken mit Zwischenstützen  $P$  bekannt, weil die Kräfte  $P$  als negative Lasten des Balkens ohne Zwischenstützen angesehen werden können.

Ähnliches gilt für Hauptgleichung II), welche als sinn-gemäße Zusammenzählung der von den Einzellasten  $R$ ,  $P$  im Balken erzeugten Querkräfte  $2 Q = \pm \frac{R [\sigma \delta]}{[\delta]}$  aufgefaßt werden kann.

Gleichungen I) und II) machen keinerlei Voraussetzungen über irgend welchen den Stützenkräften  $P$  durch die elastische Bindung  $k$  etwa auferlegten Zwang.

Jede einzelne hinzutretende Stützgleichung beruht auf der Betrachtung der elastischen Verbiegung des Balkenstückes  $\lambda$  vom Mittelpunkte 0 bis zur Stützenstelle, und dieser Stützung



## Sandstreu-Vorrichtung Bauart Haas.\*)

Von E. Wehrenfennig, Oberinspektor der österreichischen Nordwestbahn.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 4 auf Tafel XL.

Die Süd-Norddeutsche Verbindungsbahn hat eine ihrer Lokomotiven mit einem Sandstreuer nach Haas ausgerüstet, der sich bei schwierigen Anfahrbedingungen, steilen Steigungen und schlüpfrigen Schienen gut bewährt; die Bahnverwaltung bringt ihn nun bei einer weitem Anzahl ihrer Lokomotiven in Verwendung.

In Abb. 1 bis 3, Tafel XL ist die Anordnung gezeichnet. Der Rundkessel der Lokomotive trägt einen Sandbehälter B, welcher mit lotrechten Blechtaschen T versehen ist, in diese münden die Sandauslaufrohre R. Mit der Zugstange Z öffnet der Führer die mittels Hahn W absperrbare Dampfleitung I und dreht die Welle n. Dabei wird der Sand mit den Stiften b gelockert.

Die mit der Welle n verkeilten Abschlussschieber s geben dann die Öffnungen der Wand der in die Sandkasten eingebauten Blechtaschen frei und der untere Teil der Taschen füllt sich mit losem Sande, der dann in die vor die Räder führenden Auslaufrohre R abfließt.

Nach Öffnen des Hahnes W tritt der Dampf in den untern Hohlraum des Dampfstopfes P (Abb. 4, Tafel XL) und von hier durch die ringsum am Mantel befindlichen drei kleinen Löcher q des Arbeitszylinders C in letztern ein.

Der vasenförmige Ansatz des Zylinders C hat den Zweck, das Niederschlagwasser zurückzuhalten, damit die Vorrichtung ohne Verzug in Gang kommt.

Der Dampfdruck hebt nun den durch das Gewicht G belasteten Kolben K so hoch, daß der Dampf zwischen Kolben und Arbeitszylinder C durch den Kanal a A entweichen kann. Sobald kein Dampfdruck mehr vorhanden ist, führt das nötigen Falles mit Feder F auszustattende Gewicht G den Kolben wieder zurück.

Die Bewegung des Kolbens wird durch die Kolbenstange o und die Druckstäbe d auf den einarmigen, mit der Welle f verkeilten Hebel e übertragen. Da die untern löffelförmig ausgebildeten Enden der gleichfalls fest auf der Welle sitzenden Hebel LL bei ihrer Bewegung die Öffnungen der Sandauslaufrohre R mehr oder weniger verschließen, so kann der Sand in entsprechender Menge ablaufen.

Der beschriebene Vorgang wiederholt sich in der Minute

\*) D. R. P. 144614.

150 bis 300 mal, je nach der Größe des Dampfdruckes, ähnlich wie bei dem Latowski'schen Lätewerke.

Durch die Kanäle t und j kann das Niederschlagwasser abfließen. Das Ablaufröhrchen i ist zum Schutze gegen Frost in das Auspuffrohr gelegt. Der Hub des Kolbens ist durch die Dampfbuffer k und den Luftbuffer g begrenzt. Durch diese Buffer wird auch stoßfreier Gang des Kolbens erzielt. Mittels des Ögefäßes J wird der Kolben geschmiert.

Die gestreute Sandmenge hängt von dem Maße der Öffnung des Abschlussschiebers s und der Schwingungszahl der Löffel ab. Der Lokomotivführer hat es daher in der Hand, die Tätigkeit des Streuers durch den Grad der Öffnung des Dampfabsperrehebers am Stehkessel und des Zuges an der Stange Z nach Bedarf einzustellen.

Ein weiterer Vorzug ist, daß der Streuer als Handsandstreuer benutzt werden kann, wenn der Dampftrieb einmal versagen sollte; das Streuen geschieht dann durch Hin- und Herbewegung der Zugstange Z.

Die Ergebnisse, welche mit dieser Vorrichtung erzielt sind, befriedigen in jeder Hinsicht. Durch die Vermeidung der Berührung des Sandes mit Dampf, durch die Auflockerstifte b und die rasch schwingenden Löffel L wird das Zusammenballen des Sandes verhindert.

Der Abfluß des Sandes erfolgt gleichmäßig. Letzteres, sowie die zuverlässige Wirkung gestatten, der Bemessung der Zuglast auf Steigungen und bei ungünstiger Witterung eine höhere Zugkraft zu Grunde zu legen. Bei windigem Wetter kommt auch bedeutend mehr des gestreuten Sandes zur Wirkung, als bei dem früher verwendeten Sandstreuer Bauart Gresham.

Der Dampfverbrauch ist gering; die Handhabung einfach und der Führer wird durch die Handhabung nicht erheblich mehr belastet.

Bei dreißig Lokomotiven der preussischen Staatsbahnen ist der beschriebene Sandstreuer mit gutem Erfolge in Betrieb, weitere Anbringung wird beabsichtigt.

Für Österreich ist das Ausführungsrecht der Maschinen-Bauanstalt und Eisengießerei der Süd-Norddeutschen Verbindungsbahn in Reichenberg erteilt, die einen solchen Streuer in der deutsch böhmischen Ausstellung in Reichenberg 1906 ausgestellt hatte.

## Neuere Lokomotivsteuerungen.

Von Metzeltin, Regierungsbaumeister a. D. zu Hannover-Linden.

Hierzu Zeichnungen Abb. 1 bis 25 auf Tafel XXXVIII und Abb. 26 bis 37 auf Tafel XXXIX.

(Fortsetzung von Seite 196.)

Bei den günstigen Erfahrungen mit der Lentz'schen Ventilsteuerung im Dampfmaschinenbaue hat sich 1905 die Hannoversche Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft auf Anregung von Lentz als erste entschlossen, eine Lokomotive mit Ventilsteuerung auszuführen. Es handelte sich hierbei um eine der Ilseder Hütte gehörige  $\frac{2}{3}$  gekuppelte Tenderlokomotive mit hinterer Laufachse, die im Jahre 1899 gebaut war und folgende Hauptabmessungen besaß: (Textabb. 1 und 2)

Spurweite . . . . .	780 mm
Zylinderdurchmesser d . . . . .	250 "
Kolbenhub h . . . . .	450 "
Raddurchmesser D . . . . .	900 "
Achsstand, fest . . . . .	1675 "
"    ganzer . . . . .	3200 "
Dampfdruck p . . . . .	11 at
Rostfläche R . . . . .	0,8 qm

Heizfläche des Überhitzers . . . . .	7 qm
«    ganze II . . . . .	42,86 «
Kohlenraum . . . . .	350 kg
Wasserraum . . . . .	1730 ltr
Leergewicht . . . . .	12660 kg
Reibungsgewicht . . . . .	12700 «
Dienstgewicht . . . . .	16500 «
Zugkraft $0,6 p \frac{d^2 h}{D}$ . . . . .	2060 «

Diese Lokomotive befand sich im Jahre 1905 bei der genannten Firma in Ausbesserung, bei der hiermit verbundenen

Abb. 1.

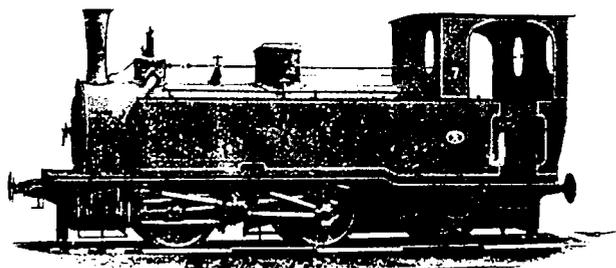
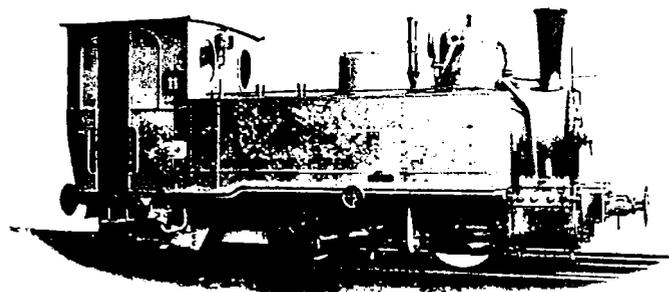


Abb. 2.



Kesseluntersuchung war ein Pielock-Überhitzer von 7 qm Heizfläche in den Kessel eingebaut.

Da man die bisher vorhandenen alten Flachschieber zu belassen gedachte, wurde der Überhitzer verhältnismäßig klein gewählt und zwar so, daß er 270 bis 280° Überhitzung im Dome ergeben sollte. Erst als der Kessel fertiggestellt war, wurde beschlossen, die Lokomotive mit der Lentz-Ventilsteuerung auszurüsten, so daß diese für Verwendung hoch überhitzten Dampfes geeignete Steuerung im vorliegenden Falle mit einer verhältnismäßig geringen Überhitzung arbeiten mußte. Der Umbau der eigentlichen Maschine für Ventilsteuerung vollzog sich sehr leicht: es wurden nur die Zylinder erneuert, wobei die mit Rücksicht auf die Verwendung von Heißdampf wünschenswerte Vergrößerung des Zylinderdurchmessers von 250 mm auf 260 mm leicht ausgeführt werden konnte. Die Zugkraft stieg damit auf 2200 kg, beträgt also  $\frac{1}{5,8}$  des Reibungsgewichtes. Textabb. 1 und 2 zeigen die Lokomotive vor und nach dem Umbau. Die Steuerung blieb die alte Allansche Schwingensteuerung, bis auf die Schieberschubstange; nur diese wurde durch eine Stange mit Hubbögen ersetzt.

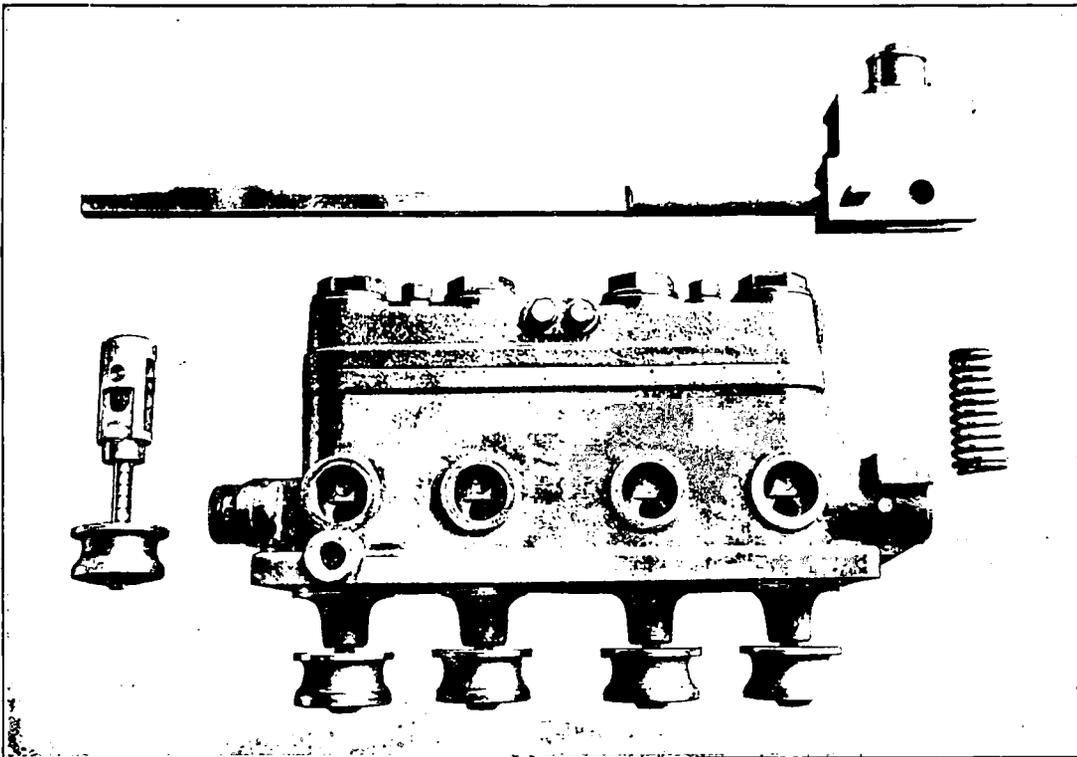
Abb. 5 und 6, Taf. XXXVIII zeigen Längs- und Querschnitt

durch den Zylinder nebst Ventilkasten, Textabb. 3 die Einzelteile der Ventilsteuerung. Alle vier Ventile sind in einer Reihe angeordnet; die beiden Einlaßventile liegen nach der Mitte, die Auslaßventile nach den Enden zu. Die Ventile sind leichte gußeiserne Doppelsitzventile von 94 und 90 mm Durchmesser und 40 mm Höhe. Die Ventilsitze sind nicht eingesetzt, sondern an den Zylinder angegossen. Ihre Bearbeitung geschieht durch Fräser mittels genauer Lehren. Die Ventilspindeln *s* sind in den gußeisernen Führungen *f* nur durch die in den Abb. 5 und 6, Taf. XXXVIII sichtbaren Nuten, also durch Labyrinth abgedichtet. Das Schleifen der Spindel und der Führung auf denselben Durchmesser erfordert peinlich genaue Arbeit, da die Führung zugleich reibungsfrei und dampfdicht erfolgen muß. Wie langjährige Erfahrungen im Dampfmaschinenbaue beweisen, liegt darin bei diesen kleinen Durchmessern keine Schwierigkeit und richtig hergestellte Spindeln halten jahrelang dicht. Gegenüber den Kolbenschiebern, für deren Herstellung insbesondere bei den Heißdampflokomotiven der preussischen Staatsbahnen Arbeiten nach Lehren unter Einhaltung von Spielräumen von 0,045 mm zwischen Schieberringen und Schieberbüchsen vorgeschrieben ist, muß besonders betont werden, daß es sich bei den geringen Spindelabmessungen auch bei Heißdampf nur um verschwindend geringe Änderungen der Masse\*) durch Wärme handelt, und daß die Ausdehnung, weil alle Querschnitte der Spindel und Führungen zylindrisch sind, gleichmäßig erfolgt, unrunde Verwerfungen also ausgeschlossen sind. Der auf die Ventilspindel aufgeschraubte, im Ventilkasten geführte Kopf *b* trägt eine um den Zapfen *z* leicht drehbare Rolle von 35 mm Durchmesser. Letztere läuft auf der durch den Kopf gehende Hubbögenstange *h*, die an die Stelle der Schieberstange bei der Schwingensteuerung tritt. Durch Hin- und Herbewegung dieser Stange werden die vier Ventile durch die vier symmetrisch angeordneten Hubbögen abwechselnd gehoben, während der Schluß durch die über den einzelnen Ventilen liegenden Federn erfolgt. Alle zur Betätigung der Ventile erforderlichen Teile arbeiten also außerhalb des Dampfraumes und sind von einem gußeisernen Kasten eingeschlossen, also der Einwirkung des Dampfes und Staubes völlig entzogen. Der Aufsatz dieses Kastens dient als Ölgefäß, aus dem vier kleine Dochte das Öl auf die Köpfe der Ventillführungen leiten. An den Kanal *k* kann ein Kupferrohrchen angeschlossen werden, welches den etwa durch die Spindelführungen dringenden Niederschlag nach außen leitet. Die in Textabb. 3 sichtbaren vier Schaulöcher dienen zur Prüfung der richtigen Einstellung der Ventile, die derart erfolgt, daß die Rollen an den niedrigsten Stellen der Hubbögenstange gerade anfangen, sich abzuheben.

Die Spindelführungen werden von unten an den Boden des Ventilkastens angeschraubt. Durch Lösen der zehn Befestigungsschrauben des Ventilkastens auf dem Zylinder und Abkuppeln der Hubbögenstange von der Schubstange kann der ganze Ventilkasten im Betriebe von zwei Mann in weniger als 15 Minuten abgenommen werden, wie Versuche an der noch zu beschreibenden  $\frac{2}{5}$  gekuppelten Schnellzuglokomotive gezeigt haben. Als Hilfs-

\*) Eine Spindel von 24 mm würde sich bei Erwärmung von 0 bis 300° nur um 0,085 mm, ein Kolbenschieber von 150 mm Durchmesser um 0,48 mm ausdehnen.

Abb. 3.



werkzeug ist hierzu abgesehen von Schraubenschlüsseln höchstens eine Stange oder ein Bindestrick zum bequemeren Anfassen nötig gewesen. Bei Abnehmen eines Schieberkastendeckels, der bei Schnellzuglokomotiven mit Flachschiebern etwa 150 bis 190 kg wiegt, muß zunächst die Bekleidung entfernt werden, die bei dem nicht dampfführenden Ventilkasten nicht vorhanden ist; dann müssen etwa 25 bis 28 Schrauben gelöst werden und zum Abheben des schweren Deckels ist ein Flaschenzug nötig.

Die Hubbögen sind so ausgebildet, daß sich an eine ganz schwach geneigte Anlauffläche eine stark geneigte Hubfläche anschließt. Die Flächen müssen so ausgebildet sein, daß die Beschleunigung keine scharfen Wechsel aufweist. Die Federn sind dann so zu berechnen, daß sie die Rolle sowohl beim Öffnen, wobei vor Erreichung des Ventilhubes eine Verzögerung eintritt, als auch besonders beim Schließen stets an die Hubbögenstange andrücken. Abb. 7 und 8, Taf. XXXVIII zeigen die Erhebungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Linien\*) für die Ventile der Lokomotive der Iseder Hütte bei 300 Umdrehungen und 0,25 und 0,5 Füllung. Hiernach beträgt der größte Beschleunigungsdruck bei dem geringen Ventilgewichte von 3,34 kg und einem Hube von 13 mm und dem kaum vorkommenden Falle von 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Füllung bei 300 Umdrehungen nur 134 kg, bei etwa 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Füllung und 300 Umdrehungen nur 48 kg. Unter Berücksichtigung des Dampfdruckes und aller sonstigen Umstände ergibt sich ein mittlerer Druck auf die Rolle von nur 36 kg, also bei der Breite der Stange von 24<sup>mm</sup> ein mittlerer Druck von nur 1,5 kg/m, während sich beispielsweise für die Radreifen bei 72<sup>mm</sup> Schienenkopfbreite und 8 t Raddruck 110 kg/mm ergibt.

\*) Anleitung zur zeichnerischen Ermittlung solcher Linien: Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 1902, S. 1924.

Bei den geringen Kräften\*) hat es keine Schwierigkeit, genauen Schluß der Ventile zu erzielen. Die Schaulinien in Abb. 9 bis 12, Taf. XXXVIII zeigen das gute Arbeiten der Steuerung, insbesondere den genauen Abschluß. Die Steuerung wurde nach halbjährigem Betriebe aufgenommen; weder an der Stange noch an den Ventilen haben sich bis dahin Abnutzungen gezeigt; auch nach Jahresfrist arbeitet die Steuerung tadellos. Abgesehen von dem Ersatze einer gebrochenen Feder sind keine Arbeiten erforderlich geworden. Die Ventile und die Spindeln sind dicht wie im Anfange.

Bei ganz kleinen Lokomotiven hat die Erzielung

schnellen Ventilschlusses bei Belassung der übrigen Steuerungsteile in ihrer bisherigen Gestalt insofern einige Schwierigkeit, als die Rollendurchmesser der Herstellung wegen eine untere Grenze haben, sich somit die Hubbögen auf eine nicht zu unterschreitende Länge ausdehnen müssen. Ist aber eine solche Lokomotive, oder wenigstens die Steuerung neu zu entwerfen, so bietet die Wahl entsprechend größerem Hube der Ventilstange keine Schwierigkeit, wie später ein Ausführungsbeispiel zeigen wird. Hierdurch ergibt sich eine schnellere Bewegung der Hubbögenstange. Die zur Ausbildung der Hubbögen erforderliche Länge bleibt dieselbe und wird daher ungefähr im Verhältnisse der Vergrößerung des Stangenhubes schneller durchlaufen. Für die Steuerung selbst bedeutet die Vergrößerung des Schieberhubes keinen Nachteil, da die Hubbögenstange selbst so gut wie reibungslos arbeitet. Bei größeren Lokomotiven ergibt sich schon bei Verwendung der vorhandenen Steuerung ein ganz erheblicher Unterschied in der Eröffnung der Dampfeinströmung und in der Geschwindigkeit für den Abschluß.

Die Abb. 13 bis 16, Taf. XXXVIII zeigen beispielsweise die Schieberöffnung-Schaulinien der preussischen 2/4 gekuppelten Schnellzug-Lokomotive im Vergleiche zu den Eröffnungen bei Ausbildung einer Ventilsteuerung unter der Voraussetzung, daß

\*) Bei schweren Schiebern ergeben sich bei hohen Geschwindigkeiten Beschleunigungsdrücke von 1000 kg und mehr. Amerikanische Bahnen schreiben den Lokomotivführern vielfach vor, die Steuerung bei Absperrung des Dampfes nicht eher ganz auszulegen, als bis sich die Geschwindigkeit vermindert hat, da bei der meist recht schweren Ausführung der Kolbenschieber und dem großen Hube bei ausgelegter Steuerung oft Brüche der Schieberstangen beobachtet wurden, die zweifellos auf die zu hohen Beanspruchungen durch die Beschleunigungsdrücke zurückzuführen sind.

die Steuerung belassen und nur an Stelle des Schiebers von 258×435 mm Grundfläche mit seiner Schieberstange vier Doppelsitzventile von 110 mm Durchmesser und 12 mm Hub mit einer Hubbögenstange eingesetzt werden.

Mit der erwähnten Lokomotive der Ilseder Hütte sind im August 1905 eingehende Verbrauchsversuche durchgeführt. Diese konnten sich insbesondere auch auf die genaue Messung des Kohlenverbrauches erstrecken, da die Ilseder Hütte für diese kleinen Lokomotiven als Heizstoff Kohlenziegel von ziemlich gleichmäßigem Gewichte verwendet.

Die Heißdampf-Ventillokomotive Nr. 11 (Textabb. 2) fuhr mit einer genau gleichen Nafsdampf-Schieberlokomotive Nr. 13

in demselben Zugdienste, und zwar mit stets ungefähr denselben Lasten vor denselben Zügen Grofs-Ilsede—Lengede. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Zusammenstellung III enthalten. Mit der Ventillokomotive wurde eine Ersparnis an Wasser von 30,6% und an Kohle von 19,5% erzielt. Im Dezember 1905, nachdem jede der beiden Lokomotiven inzwischen etwa 17500 km durchlaufen hatte, wurde eine Nachprüfung dieser Versuche vorgenommen. Seit August 1905 hatten an der Ventillokomotive keine Ausbesserungen stattgefunden; es war nicht nötig gewesen, die Steuerung oder den Überhitzer nachzusehen. Die zum Vergleiche verwendete Nafsdampflokomotive hatte kurz vor diesen Versuchsfahrten 66 neue

### Zusammenstellung III. Tagesleistung jeder Lokomotive 140 km.

Lokomotive Nr. 11. Ventilsteuerung, Heißdampf.

Lokomotive Nr. 13. Schiebersteuerung, Nafsdampf.

August 1905.

T a g	L e i s t u n g		Wasser- ver- brauch kg	Kohlen- ver- brauch kg	Bemerkungen	T a g	L e i s t u n g		Wasser- ver- brauch kg	Kohlen- ver- brauch kg	Bemerkungen
	beladene Achsen zu 3,05 t	leere Achsen zu 1,05 t					beladene Achsen zu 3,05 t	leere Achsen zu 1,05 t			
23. Aug. 05	290	258	4404	741	sehr windig, Regen	21. Aug. 05	240	260	5920	844	schön
24. „ 05	266	256	4872	737	windig	22. „ 05	206	260	5850	840	windstill
25. „ 05	276	318	5260	732	schön	28. „ 05	270	298	6840	800	Regen und Wind
26. „ 05	254	274	4460	649	fast windstill	29. „ 05	260	242	6400	761	Regen und Wind
zusammen	1086	1106	18996	2859	—	zusammen	976	1060	25010	3245	—
Durchschnitt am Tage	272	277	4749	715	—	Durchschnitt am Tage	244	265	6253	811	—

beförderte Zuglast ohne Lokomotive:  $1086 \cdot 3,05 + 1106 \cdot 1,05 = 4474$  t,  
geleistete tkm  $4474 \cdot 14 = 62636$ ,  
Kohlenverbrauch für 1000 tkm 45,6 kg,  
Wasserverbrauch für 1000 tkm 308,3 kg.

beförderte Zuglast ohne Lokomotive:  $976 \cdot 3,05 + 1060 \cdot 1,05 = 4090$  t,  
geleistete tkm  $4090 \cdot 14 = 57260$ ,  
Kohlenverbrauch für 1000 tkm 56,7 kg,  
Wasserverbrauch für 1000 tkm 486,8 kg.

### Zusammenstellung IV. Tagesleistung jeder Lokomotive 140 km.

Lokomotive Nr. 11. Ventilsteuerung, Heißdampf.

Lokomotive Nr. 13. Schiebersteuerung, Nafsdampf.

Dezember 1905.

T a g	L e i s t u n g		Wasser- ver- brauch kg	Kohlen- ver- brauch kg	Bemerkungen	T a g	L e i s t u n g		Wasser- ver- brauch kg	Kohlen- ver- brauch kg	Bemerkungen
	beladene Achsen zu 3,05 t	leere Achsen zu 1,05 t					beladene Achsen zu 3,05 t	leere Achsen zu 1,05 t			
30. Nov. 05	286	246	6160	774,0	heftiger Seitenwind	28. Nov. 05	276	280	7140	846,0	gutes Wetter, mäßiger Wind
1. Dez. 05	340	320	5920	850,0	schönes Wetter, mäßiger starker Wind	4. Dez. 05	274	282	7326	806,4	trübes Wetter, wind- still
8. „ 05	352	280	6142	753,6	trübes Wetter, schwacher seitlicher Wind	5. „ 05	288	300	7393	868,8	trübe, schwacher Wind
9. „ 05	304	324	5984	702,0	trübe, Regenschauer, mäßiger starker Seitenwind	6. „ 05	288	286	7375	849,6	ziemlich stürmisch, ab und zu starkes Schneegetöber
zusammen	1282	1170	24206	3079,6	—	zusammen	1126	1148	29234	3370,8	Die Lokomotive hatte vor den Vergleichs- fahrten 66 neue Rohre erhalten
Durchschnitt am Tage	320,5	292,5	5051,5	769,9	—	Durchschnitt am Tage	281,5	287	7308,5	842,7	—

beförderte Zuglast ohne Lokomotive:  $1282 \cdot 3,05 + 1170 \cdot 1,05 = 5138,6$  t,  
geleistete tkm  $5138,6 \cdot 14 = 71940,4$ ,  
Kohlenverbrauch für 1000 tkm 42,8 kg,  
Wasserverbrauch für 1000 tkm 336,5 kg.

beförderte Zuglast ohne Lokomotive:  $1126 \cdot 3,05 + 1148 \cdot 1,05 = 4639,7$  t,  
geleistete tkm  $4639,7 \cdot 14 = 64955,9$ ,  
Kohlenverbrauch für 1000 tkm 51,9 kg,  
Wasserverbrauch für 1000 tkm 450,1 kg.

Rohre erhalten, mußte also eine etwas bessere Ausnutzung der Heizgase liefern, da sich die Rohre der Heißdampf-Lokomotive bei dem sehr schlechten Speisewasser inzwischen ziemlich stark mit Kesselstein bedeckt hatten. Die Ergebnisse dieser Dezember-Versuche sind in Zusammenstellung IV mitgeteilt. Die Ventillokomotive erzielte 25,2% Wasserersparnis und 17,5% Kohlenersparnis, ein Ergebnis, das im höchsten Maße befriedigte und mit Rücksicht auf den Einfluß der Witterungsverhältnisse auf die Genauigkeit der Streckenversuche mit dem Versuchsergebnis vom August als übereinstimmend erachtet werden kann. Die Dampfwärme betrug im Mittel etwa 275°, die Überhitzung also 90°. Man schätzt die Kohlenersparnis auf 1% für je 10° Überhitzung. Bei kleinen Werklokomotiven mit stark wechselnder Beanspruchung und häufigen Unterbrechungen im Betriebe wird die Ersparnis etwas größer angenommen werden dürfen. Rechnet man im vorliegenden Falle mit 1,1 bis 1,3% Ersparnis für je 10° Überhitzung, so dürften etwa 6 bis 8% der Ersparnis an Kohlen auf die Anwendung der Ventilsteuerung zurückgeführt werden können. Diese Ersparnis ist zum Teil dem genaueren Arbeiten der Ventilsteuerung, zum Teil aber auch dem Fortfalle der Schieber- und Stopfbüchsen-Reibungsarbeit zuzuschreiben; sie ist durchaus wahrscheinlich, denn man kann bei einer Dampfmaschine mit Dampfdehnungssteuerung bei Dampfdrücken von 9 bis 10 at und Füllungen von 0,3 bis 0,5 auf eine Ersparnis von 0,9 bis 1,0 kg Dampf an nutzbarem Dampfverbrauche für 1 P.S./St. rechnen\*). Da der Dampfverbrauch bei dieser Lokomotive auf etwa 15 kg für 1 P.S./St. zu schätzen ist, wird man etwa 7% Dampfersparnis durch die Anwendung der Ventilsteuerung erwarten können. Bei großen Lokomotiven, deren Dampfverbrauch etwa 10 kg beträgt, steigt die Ersparnis entsprechend.

Zu beachten ist ferner, daß Ventile nach den Erfahrungen

\*) Hütte 19. Auflage I, S. 979.

an Dampfmaschinen auch nach jahrelangem Betriebe dicht halten. Schieber werden mit der Zeit mehr undicht.

Die durch Anwendung der Ventilsteuerung erzielten Ersparnisse werden also mit der Länge der Betriebsdauer der verglichenen Lokomotiven zunehmen.

Wenn auch die Lokomotive der Ilseder Hütte nur mit Geschwindigkeiten bis zu etwa 25 km/St., also 150 Radumdrehungen läuft, so wurde sie doch, wie das im Hüttenbetriebe üblich ist, sehr stark beansprucht. Auch die Bedienung war nicht grade die geschickteste. Daher trat bei dem gegen die Naßdampflokomotive um 10 mm vergrößerten Zylinderdurchmesser sehr häufig Radschleudern ein. Da sich die Steuerung der Lokomotive nach Untersuchung im Januar 1906 trotzdem außerordentlich gut gehalten hatte, wurde die Hannoversche Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft ermutigt, diese Steuerung auf die bekannte  $\frac{2}{5}$  gekuppelte vierzylindrige Schnellzug-Verbundlokomotive ihrer Bauart für die preussischen Staatseisenbahnen, die bei 100 km/St. Fahrgeschwindigkeit 270 Radumdrehungen macht, zu übertragen. Die betreffende Lokomotive ist in Mailand ausgestellt.

Von der Fabrik war in Aussicht genommen, die Lokomotive gleichzeitig auch mit einem Pielock-Überhitzer auszustatten. Die preussischen Staatsbahnen lehnten jedoch eine so ausgerüstete Verbundlokomotive ab. Die Begründung der Ablehnung sagte u. a., daß ein Bedürfnis, Verbundwirkung mit Heißdampf bei Lokomotiven zugleich anzuwenden, nicht anerkannt werden könne. Man erklärte sich aber bereit, diese Lokomotive später mit der Ventilsteuerung zu übernehmen, falls ein mehrwöchiger Probetrieb ihre dauernde Betriebstüchtigkeit ergäbe.\*)

\*) Diese Erklärung ist inzwischen erfolgt. Die Lokomotive geht nach Schluß der Mailänder Ausstellung in den Lokomotivpark der K. E.-D. Hannover über.

(Schluß folgt.)

## Die Verwendung von alten Schienen auf den Eisenbahnen Indiens und Ceylons.

Von Dr.-Ing. O. Blum, Regierungs-Baumeister in Berlin.

Hierzu Zeichnungen Abb. 5 bis 12 auf Tafel XL.

Auch bei einem Nicht-Techniker muß es bei einer Reise durch Indien und Ceylon auffallen, in welchem großem Umfange alte Schienen zu allen möglichen Bauzwecken verwendet sind, man findet beinahe keine Art von Baulichkeiten, bei der nicht alte Schienen zur Anwendung gekommen wären. In erster Linie haben die Eisenbahnen ihre für den Betrieb unbrauchbaren Schienen für ihre eigenen Zwecke verbraucht, aber auch bei anderen öffentlichen und privaten Bauten sind allenthalben alte Schienen zu sehen.

Die Gründe dieser starken Verwendung sind folgende. Zunächst waren viele der zuerst eingeführten Eisenschienen so schwach und aus so schlechtem Stoffe, daß sie den Betriebslasten nicht lange gewachsen waren und bald durch neu eingeführte ersetzt werden mußten. Man erhielt damit große Mengen alter Schienen, die in Indien für Tragwerke viel höheren Wert hatten, als in Ländern mit entwickeltem Eisen-Gewerbe, weil die sonst zu den Bauausführungen nötigen Walzeisen unter hohen Beförderungskosten von Europa hätten eingeführt werden müssen.

Eigene Walzwerke hat Indien bisher noch nicht, da das Land keine Eisenerze besitzt; es wird jetzt allerdings die Anlage eines Werkes geplant, dessen Hauptaufgabe wohl darin bestehen wird, altes Eisen einzuschmelzen und neu zu walzen. Dann würde wohl auch nicht mehr eine so ausgedehnte Verwendung von alten Schienen zu erwarten sein. Als günstige Umstände kamen noch in Betracht, daß die zuerst eingeführten Schienen meist symmetrische Doppelkopfschienen waren, die sich für Bauzwecke gut eignen, und daß sie aus verhältnismäßig weichem Eisen bestanden, das sich gut biegen und bearbeiten ließ. Die einzelnen aus ihnen bestehenden Bauten sind fast ausnahmslos sehr geschickt durchgebildet und befriedigen auch vom architektonischen Standpunkte durchaus; nirgend hat man den Eindruck, ein aus Alteisen zusammengeflicktes Bauwerk vor sich zu haben. Zu dem guten und gefälligen Aussehen trägt die Verwendung von gußeisernen Teilen zur Verbindung und Verzierung viel bei.

Was dem Reisenden zuerst und am eigenartigsten auffällt

ist der Ersatz der Stationsglocke durch ein etwa 70 cm langes Schienenstück, das am Bahnsteige aufgehängt ist; auf ihm gibt der würdig dreinschauende Inder mit einem alten Schienennagel das Zeichen zum Einsteigen. Auf der Fahrt sieht man dann alte Schienen als Zaunpfähle, oben oft durch eine gefällige gufseiserne Spitze gekrönt; dann auch auf den Bahnsteigen als Stützen für die Laternen und die Schilder mit den Stationsnamen. Die Signalmaste bestehen häufig aus zwei Schienen, die durch kleine, eiserne, zum Besteigen dienende Sprossen gegeneinander verstrebt sind. Da das Holz sehr teuer und besonders in Südindien gegen die Witterung und die Ameisen nicht genügend widerstandsfähig ist, so sind für die Telegraphen-Leitung vielfach Schienen als einzelne Stangen oder auch als verstrebt Gerüste in Gebrauch. Zum Abschlusse von Bahnsteigen und Rampen werden ebenfalls alte Schienen verwendet.

Bei diesen Verwendungen ist keine besondere Bearbeitung der Schienen nötig. Sie werden aber auch zu schwierigeren Bauwerken, besonders zu Überdachungen, Hallen, Fußgängerbrücken, Wassertürmen verwendet. Die Säulen werden hierbei meist aus zwei oder noch mehr Schienen zusammengesetzt, während Sparren, Pfosten und Streben in der Regel nur aus einer Schiene bestehen. Abb. 5 und 6, Taf. XL zeigen zwei-stützige Hallen mit bogenförmiger Ausbildung der Binder. Die

Überdachung des Zungenbahnsteiges in Delhi (Abb. 5, Taf. XL) lehnt sich mit dem spitzbogigen Mittelfelde sehr geschickt an das in gothischen Formen gehaltene Empfangs-Gebäude an. Die Verbindung der einzelnen Teile unter einander ist bei dieser Halle dadurch recht einfach gestaltet, daß die Schienen gegeneinander gelegt und durch Bolzen verschraubt sind. Von einstützigen Hallen zeigen Abb. 7 und 8, Taf. XL Beispiele. Bei der in Abb. 7, Taf. XL dargestellten Halle sind die Bindersparren mit den oben auseinandergespreizten Säulen bei Punkt b in der Weise verbunden, daß der Steg der einen Schiene ausgeschnitten und die andere zwischen den beiden Köpfen durchgeführt ist.

Dieselbe Verbindung findet sich auch bei der in Abb. 6, Taf. XL skizzierten Güterhalle. Die die Säule bildenden fünf Schienen der in Abb. 8, Taf. XL skizzierten Bahnsteig-Überdachung sind am Fußende durch ein gufseisernes Mittelstück verbunden.

Die aus alten Schienen bestehenden Bauwerke der Bahnen Ceylons unterscheiden sich von denen in Nordindien dadurch, daß in Ceylon keine Doppelkopf-, sondern lediglich Breitfuß-Schienen verwendet werden. Beispiele von Bahnsteighallen zeigen die Abb. 9 bis 12, Taf. XL.

## Theorie der Verbundbauten in Eisenbeton und ihre Anwendung.

Von G. Barkhausen, Professor, Geheimem Regierungsrate in Hannover.

### Inhaltsübersicht.

- I. Feststellung des Gegenstandes.
- II. Bezeichnungen.
- III. Die Grundgleichungen für Beanspruchung durch Biegemomente und Längskräfte.
- IV. Die Lösung der Grundgleichungen.
  - A. Eine Druckeinlage bekannten Querschnittes  $\varphi'$  ist vorhanden.
    - a) Lösung für Entwurfsarbeiten, unbekannt  $x$ ,  $h$ ,  $\varphi$ .
      - $\alpha$ ) Der Körper wird ohne Druckeinlage nur gebogen,  $\varphi' = D = 0$ .
      - $\beta$ ) Der Körper wird ohne Druckeinlage gebogen und gedrückt,  $\varphi' = 0$ .
      - $\gamma$ ) Der Körper wird mit Druckeinlage nur gebogen,  $D = 0$ .
    - b) Lösung für Entwurfs-Nachprüfungen, unbekannt  $x$ ,  $\sigma_e$ ,  $\sigma_b$ .
      - $\alpha$ ) Der Körper wird ohne Druckeinlage nur gebogen,  $\varphi' = D = 0$ .
      - $\beta$ ) Der Körper wird ohne Druckeinlage gebogen und gedrückt,  $\varphi' = 0$ .
      - $\gamma$ ) Der Körper wird mit Druckeinlage nur gebogen,  $D = 0$ .
    - c) Lösung für Ermittlung der Tragfähigkeit vorhandener Verbundkörper, unbekannt  $x$ ,  $D$ ,  $M$ .
      - $\alpha$ ) Der Körper wird ohne Druckeinlage nur gebogen,  $\varphi' = D = 0$ .

- $\beta$ ) Der Körper wird ohne Druckeinlage gebogen und gedrückt,  $\varphi' = 0$ .
- $\gamma$ ) Der Körper wird mit Druckeinlage nur gebogen,  $D = 0$ .
- B. Zug- und Druck-Seite haben gleiche Einlagen  $\varphi$ .
  - a) Lösung für Entwurfsarbeiten, unbekannt  $x$ ,  $h$ ,  $\varphi$ .
    - $\alpha$ ) Der Körper wird nur gebogen,  $D = 0$ .
    - $\beta$ ) Der Körper wird nur gedrückt,  $M = 0$ .
  - b) Lösung für Entwurfs-Nachprüfungen, unbekannt  $x$ ,  $\sigma_e$ ,  $\sigma_b$ .
    - $\alpha$ ) Der Körper wird nur gebogen,  $D = 0$ .
    - $\beta$ ) Der Körper wird nur gedrückt,  $M = 0$ .
  - c) Lösung für Ermittlung der Tragfähigkeit vorhandener Verbundkörper, unbekannt  $x$ ,  $D$ ,  $M$ .
    - $\alpha$ ) Der Körper wird nur gebogen,  $D = 0$ .
    - $\beta$ ) Der Körper wird nur gedrückt,  $M = 0$ .
- V. Die Aufnahme der Querkräfte.
  - A. Nur wagerechte Einlagen sind vorhanden.
  - B. Aufnahme der Querkraft durch Schrägeisen.
- VI. Rippenkörper.
  - A. Verstärkung der Deckplatte über den Rippen.
- VII. Anwendungsbeispiele mit Zahlenrechnung.
- VIII. Formeln zur Ermittlung von Durchbiegungen.

### I. Feststellung des Gegenstandes.

Wie auf den meisten Gebieten des Bauwesens spielt die Verbundbauweise in Eisenbeton auch im Eisenbahnwesen eine beträchtliche Rolle, und ihre Verwendung für Hochbauten, Brücken, Querschwellen und andere Teile wächst schnell. Daher erscheint es zeitgemäß, auch im „Organ“ eine umfassende Behandlung der theoretischen Grundlagen dieser Bauweise und

ihrer Anwendung mitzuteilen, die namentlich die möglichst einfache aber vollständige Lösung der gewöhnlichen Aufgaben ins Auge faßt.

In zwei Beziehungen soll zunächst eine Beschränkung der Allgemeinheit vorgenommen werden.

Zunächst wird die Zugwirkung des Beton bei der Ermittlung der Widerstandsfähigkeit der Verbundkörper ganz

ausgeschaltet. Zwar hat der Verfasser auch für deren Berücksichtigung bereits vergleichsweise einfache Formeln mitgeteilt,\*) so daß diese innerhalb enger Genauigkeitsgrenzen keine Schwierigkeit bietet, doch hat die übliche Art der Herstellung von Verbundbauten noch nicht den Grad von Sicherheit und Vollkommenheit erreicht, der vorausgesetzt werden muß, wenn man sich auf den Widerstand des Beton gegen Zug verlassen will. Alle Vorschriften über Berechnung von Verbundbauten fordern deshalb auch vorläufig noch die Vernachlässigung dieses Teiles des Widerstandes der Betonkörper.

Zweitens soll auch für den Beton eine unveränderliche Elastizitätszahl eingeführt werden, da das innerhalb der tatsächlich zuzulassenden Spannungen keinen erheblichen Fehler zur Folge hat. Auch in dieser Beziehung liegen aus neuerer Zeit schärfere Behandlungsweisen vor,\*\*) sie führen aber immer noch zu Verfahren, die den für die Bauausführung erwünschten Grad von Einfachheit nicht haben, und die Feststellungen dieses Gebietes durch Beobachtung sind noch nicht so sicher, daß die verwickelteren Verfahren auch einen entsprechend höheren Grad von Zuverlässigkeit der Ergebnisse bieten könnten.

Mit diesen Einschränkungen hat der Verfasser bereits eine übersichtlich geordnete Reihe von Formeln mitgeteilt,\*\*\*) die aber die Beanspruchung von Verbundkörpern gleichzeitig durch Biegemomente und Längskräfte, also die Berechnung von Gewölbequerschnitten nur teilweise, und das Vorhandensein von zwei Eiseneinlagen, in der Druckzone und in der Zugzone des Beton, wie es bei Bogen und Stützen unvermeidlich ist, gar nicht berücksichtigt.

Diese Unvollständigkeiten sollen hier vermieden werden, außerdem wird größere Einfachheit der Ergebnisse angestrebt, als in den angeführten und den meisten sonstigen Veröffentlichungen dieses Gebietes erzielt ist.

Gegenüber den staatlichen Vorschriften in Preußen†) muß auch hier betont werden, daß sich diese nur zur Nachprüfung fertiger Entwürfe oder Ausführungen, nicht zur Aufstellung statischer Berechnungen für geplante Bauwerke eignen, da sie das Bekanntsein der Abmessungen der Bauwerke voraussetzen.

Im folgenden sollen zunächst die theoretischen Grundlagen in übersichtlicher Reihenfolge entwickelt werden, daran knüpfen sich dann Ausführungen von Zahlenrechnungen, bei denen die Aufgaben des Eisenbahnbaues besonders berücksichtigt werden sollen, und weitere Formeln zur Ermittlung von Durchbiegungen.

## H. Bezeichnungen.

Als Bezeichnungen werden die heute überwiegend eingebürgerten beibehalten. Es bezeichnet:

\*) Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen 1901 S. 133; 1902 S. 243.

\*\*) Wir heben hervor: Hotopp, Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen 1906, S. 281; Dr.-Ing. P. Weiske, Dingers Polytechnisches Journal 1902, November, Heft 46, S. 725 und Dr.-Ing. Dissertation an der Technischen Hochschule zu Hannover.

\*\*\*) Deutsche Bauzeitung 1905, S. 4, 26, 30, 144.

†) Zentralblatt der Bauverwaltung 1904, S. 253.

M das Biegemoment der äußeren Kräfte für den zu untersuchenden Querschnitt und die Tiefeneinheit, positiv, wenn es den links vom untersuchten Querschnitte liegenden Körperteil mit dem Zeiger der Uhr zu drehen sucht;

D die Biegekraft für den zu untersuchenden Querschnitt und die Tiefeneinheit, positiv, wenn sie den links vom untersuchten Querschnitte liegenden Körperteil nach diesem Querschnitte hin zu bewegen sucht;

Q die Querkraft für den zu untersuchenden Querschnitt und die Tiefeneinheit, positiv, wenn sie den links vom untersuchten Querschnitte liegenden Körperteil nach oben zu bewegen sucht;

$\sigma_b$  und  $s_b$  den auftretenden und den zulässigen Kantendruck im Beton;

$\sigma_e$  und  $s_e$  die auftretende und die zulässige Spannung im Eisen, positiv als Zugspannung;

$E_b$  die unveränderlich angenommene Elastizitätszahl des Beton;

$E_e$  die Elastizitätszahl des Eisens;

n das Verhältnis  $E_e : E_b$ ;

r das Verhältnis  $\sigma_b : \sigma_e$  und  $s_b : s_e$ ;

m das Verhältnis  $\sigma_e E_b : \sigma_b E_e$  und  $s_e E_b : s_b E_e$ ;

h die Höhe des Verbundkörpers;

a den nach Gründen der Herstellung anzunehmenden, daher stets bekannten Abstand des Schwerpunktes der Eiseneinlage von der Außenfläche des Verbundkörpers;

b die Teilung der Zugeiseneinlagen;

f den ganzen Querschnitt einer Zugeiseneinlage;

$\varphi$  die Querschnittsgröße der Eiseneinlage der Zugseite des Querschnittes für die Tiefeneinheit;

$\varphi'$  die Querschnittsgröße der Eiseneinlage der Druckseite des Querschnittes für die Tiefeneinheit;

$\varphi''$  die Querschnittsgröße unter  $45^\circ$  hinaufgezogener Eiseneinlagen;

x die Höhe des gedrückten Teiles des Querschnittes, also die Höhe der Druckzone;

$\tau_1$  die Scherspannung im Beton;

$\tau_2$  die Haftspannung des Eisens im Beton;

u die Umfangsfläche der Längeneinheit einer Eiseneinlage des Querschnittes f;

g die Eigenlast eines Verbundkörpers für die Flächeneinheit;

p die Belastung des Verbundkörpers für die Flächeneinheit;

q die ganze Last des Verbundkörpers für die Flächeneinheit =  $p + g$ ;

$b_0$  die Rippenbreite eines Verbund-Rippenkörpers;

l die Stützweite eines Verbundkörpers;

c die Breite eines Stützenquerschnittes;

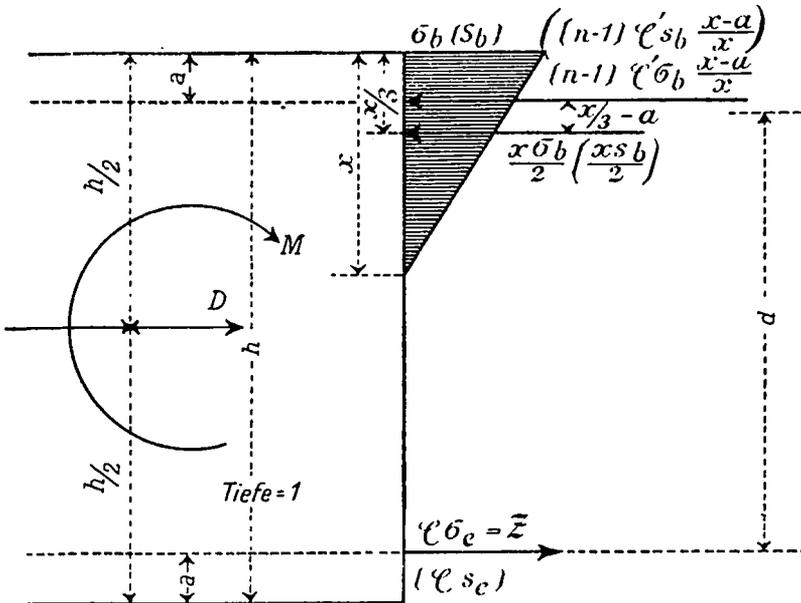
$\mathcal{D}$  die ganze Längskraft einer Stütze ohne Biegung;

d den Hebel der Zugeinlage bezüglich der Mittelkraft aller Druckwirkungen.

III. Die Grundgleichungen für Biegemomente und Längskräfte.

Für das in Abb. 1 dargestellte Stück eines Verbundkörpers können bezüglich der Momente und Längskräfte folgende Gleichungen aufgestellt werden, in denen berücksichtigt ist,

Abb. 1.



dafs, wenn die Querschnittsfläche des Beton in der Druckzone einschliesslich des Querschnittes der Druckeinlage  $\varphi'$  voll gerechnet wird, dann die Spannung der Druckeinlage selbst noch mit der Gröfse  $(n-1) \varphi' \sigma_b \frac{x-a}{x}$  anzusetzen ist, weil das Eisen dieselbe Längenänderung annehmen mufs, wie der Beton in der unmittelbaren Umgebung. Ferner ist eine genügend geringe Höhenabmessung des Querschnittes der einzelnen Einlagen vorausgesetzt, um die Ungleichförmigkeit der Spannungsverteilung innerhalb dieser Höhe vernachlässigen zu dürfen. Schliesslich wird vorausgesetzt, dafs Zug- und Druck-Einlage beide gleich weit, um  $a$ , von der Aufsenkante entfernt sind, was in den zwei Einlagen erfordernden Fällen auch stets zutreffen wird. Für die Ausführung ist zu betonen, dafs das angenommene Mafs  $a$  auf der Zugseite streng eingehalten werden mufs; kleine Abweichungen auf der Druckseite haben keinen erheblichen Einfluss auf die Spannungen.

Die vorläufig noch allgemein beibehaltene Annahme, dafs die Oberkante, der Nullpunkt der Druckspannung und das Ende der Zugeinlage nach eingetretener Formänderung in einer Geraden bleiben, liefert die Bedingung:

$$\text{Gl. 1) } \sigma_b : (E_b \cdot x) = \sigma_s : (E_s \cdot (h - a - x)), \text{ oder } x(1 + m) = h - a.$$

Die Gleichgewichtsbedingung der Längskräfte lautet:

$$\text{Gl. 2) } D + \varphi \sigma_s - \frac{\sigma_b x}{2} - (n-1) \sigma_b \varphi' \frac{x-a}{x} = 0.$$

Die Gleichgewichtsbedingung der Drehmomente lautet: für das Ende der Zugeinlage als Drehpunkt:

$$\text{Gl. 3a) } M + D(h/2 - a) - \frac{\sigma_b x}{2}(h - a - x/3) - (n-1) \sigma_b \varphi' \frac{x-a}{x}(h - 2a) = 0;$$

für den Mittelpunkt des Betondruckes als Drehpunkt:

$$\text{Gl. 3b) } M - D(h/2 - x/3) - \varphi \sigma_s (h - a - x/3) - (n-1) \sigma_b \varphi' \frac{x-a}{x}(x/3 - a) = 0.$$

für das Ende der Druckeinlage als Drehpunkt:

$$\text{Gl. 3c) } M - D(h/2 - a) - \varphi \sigma_s (h - 2a) + \frac{x \sigma_b}{2}(x/3 - a) = 0.$$

Mittels dieser drei Gleichungen können alle vorkommenden Fälle behandelt werden. Es kann vorkommen, dafs aus gegebenen Lasten und zulässigen Spannungen die Mafse des auszuführenden Verbundkörpers berechnet werden sollen, dann sind unbekannt:

a) die Gröfsen  $x$ ,  $h$  und  $\varphi$ .

Bei Nachprüfung von Entwürfen kommt es darauf an, die Spannungen zu berechnen, die der entworfene Verbundkörper unter gegebenen Belastungen erleidet, dann sind unbekannt:

b) die Gröfsen  $x$ ,  $\sigma_s$ ,  $\sigma_b$ .

Wenn bestimmt werden soll, welche Lasten ein vorhandener, ausgemessener Verbundkörper bei Einhaltung der zulässigen Spannungen tragen kann, sind unbekannt:

c) die Gröfsen  $x$ ,  $M$ ,  $D$ .

Die Lösungen der drei Grundgleichungen für diese drei Fälle sollen hergestellt werden. Dabei ist aber noch zu unterscheiden ob:

A) eine nach äufseren Verhältnissen angenommene Druckeinlage  $\varphi'$  vorhanden, also gegeben ist, oder ob:

B) bestimmt ist, dafs die Druckeinlage  $\varphi'$  der Zugeinlage  $\varphi$  gleich sein soll, wie es bei Verbundbogen die Regel bildet.

Außerdem müssen zum Zwecke der Darbietung möglichst einfacher Formeln unter A in jedem der Fälle a, b und c die Sonderfälle

$\alpha)$   $\varphi' = D = 0$ , Körper ohne Druckeinlage und ohne Längsdruck; lediglich in einem Sinne gebogener Plattenquerschnitt;

$\beta)$   $\varphi' = 0$ ,  $D > 0$  Körper ohne Druckeinlage mit Längsdruck; in einem Sinne gebogener Plattenquerschnitt mit Längsdruck;

$\gamma)$   $\varphi' > 0$ ,  $D = 0$ , Körper ohne Längsdruck mit Druckeinlage; nur in einem Sinne gebogener Plattenquerschnitt mit Eisenverstärkung in der Druckzone berücksichtigt werden.

Unter B sind in jedem der Fälle a, b und c die Sonderfälle:

$\alpha)$   $D = 0$ , der Verbundkörper mit zwei gleichen Einlagen wird nur gebogen, und

$\beta)$   $M = 0$ , der Verbundkörper mit zwei gleichen Einlagen wird nur längs gedrückt, zu berücksichtigen.

## IV. Die Lösung der Grundgleichungen.

A. Die Druckeinlage  $\varphi'$  ist gegeben.

a) Für Entwürfe.  $\sigma_b$  ist  $= s_b$ ,  $\sigma_o = s_o$ . Gesucht werden  $x$ ,  $h$  und  $\varphi$ . Nach Gl. 1) folgt unter Einsetzung der Verhältniszahl  $m$   $h - a = x(1 + m)$ , also  $h - 2a = x(1 + m) - a$ . Wird weiter in Gl. 3a) statt  $h - a = x/3$  die Größe  $h - 2a + a - x/3$  eingesetzt, so liefert sie:

$$h - 2a = \frac{\frac{s_b x}{6} (3a - x) - M}{D/2 - \frac{s_b x}{2} - (n-1) s_b \varphi' \frac{x-a}{x}}$$

Werden die beiden Ausdrücke für  $h - 2a$  gleich gesetzt, so entsteht eine Gleichung, die von den Unbekannten nur  $x$  enthält, und die nach Potenzen von  $x$  geordnet die hierunter aufgeführte Form gibt, dann nach Lösung für  $x$  die Berechnung von  $h$  nach Gl. 1) und von  $\varphi$  nach Gl. 2) gestattet:

$$\text{A. a) } \left\{ \begin{array}{l} -x^3 \frac{2+3m}{6} + x^2(1+m) \left\{ \frac{D}{2s_b} - (n-1)\varphi' \right\} + x \left\{ \frac{2M - Da}{2s_b} + (2+m)(n-1)a\varphi' \right\} = (n-1)\varphi' a^2; \\ h = a + x(1+m); \varphi = r \left( \frac{x}{2} + (n-1)\frac{x-a}{x}\varphi' \right) - \frac{D}{s_o} \end{array} \right.$$

Für den Sonderfall  $\alpha)$ ,  $\varphi' = D = 0$ , folgt durch Einsetzen dieser Werte in die vorstehenden allgemeinen Gleichungen zunächst  $-x^3 \frac{2+3m}{6} + x \frac{M}{s_b} = 0$ , also

$$\text{A. a. } \alpha) \left\{ \begin{array}{l} x = \sqrt{\frac{6M}{(2+3m)s_b}}; h = a + x(1+m); \varphi = r \frac{x}{2} \end{array} \right.$$

Der Sonderfall  $\beta)$  liefert aus  $\varphi' = 0$ ,  $D > 0$  zunächst:

$$-x^3 \frac{2+3m}{6} + x^2(1+m) \frac{D}{2s_b} + x \frac{2M - Da}{2s_b} = 0 \text{ also:}$$

$$\text{A. a. } \beta) \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{3}{2} \frac{1+m}{2+3m} \frac{1}{s_b} \left\{ D + \sqrt{D^2 + \frac{4(2+3m)s_b(2M - Da)}{3(1+m)^2}} \right\}; h = a + x(1+m); \varphi = r \frac{x}{2} - \frac{D}{s_o} \end{array} \right.$$

Schließlich entsteht im Sonderfall  $\gamma)$  aus  $\varphi' > 0$ ,  $D = 0$ :

$$\text{A. a. } \gamma) \left\{ \begin{array}{l} -x^3 \frac{2+3m}{6} - x^2(1+m)(n-1)\varphi' + x \left\{ \frac{M}{s_b} + (2+m)(n-1)a\varphi' \right\} = (n-1)a^2\varphi'; \\ h = a + x(1+m); \varphi = r \left\{ \frac{x}{2} + (n-1)\frac{x-a}{x}\varphi' \right\} \end{array} \right.$$

b) Für Entwurfs-Nachprüfungen. Gesucht werden  $x$ ,  $\sigma_b$  und  $\sigma_o$ .

Aus Gl. 3a) folgt  $\sigma_b = \frac{M + D/2(h-2a)}{x/2(h-a-x/3) + (n-1)\varphi' \frac{x-a}{x}(h-2a)}$ , aus Gl. 1):  $\sigma_o = \sigma_b n \frac{h-a-x}{x}$ ; wird  $\sigma_o$  in Gl. 2)

eingesetzt und diese dann nach  $\sigma_b$  gelöst, so folgt  $\sigma_b = \frac{D}{x/2 + (n-1)\varphi' \frac{x-a}{x} - n\varphi \frac{h-a-x}{x}}$ . Werden nun die beiden

Werte von  $\sigma_b$  einander gleich gesetzt, so entsteht eine Gleichung, die von den Unbekannten nur  $x$  enthält. Ordnet man sie nach Potenzen von  $x$ , so kann man danach  $x$  und dann  $\sigma_b$  und  $\sigma_o$  nach den obigen Ausdrücken berechnen. Es folgt:

$$\text{A. b) } \left\{ \begin{array}{l} x^3 \frac{D}{6} + x^2 \left[ \frac{M}{2} - \frac{Dh}{4} \right] + x \left\{ M \left[ (n-1)\varphi' + n\varphi \right] + \frac{D}{2} (h-2a) (n\varphi - (n-1)\varphi') \right\} = M \left\{ (n-1)a\varphi' + n(h-a)\varphi \right\} \\ + \frac{D}{2} (h-2a) \left\{ n(h-a)\varphi - (n-1)a\varphi' \right\}; \sigma_b = \frac{2M + D(h-2a)}{x(h-a-x/3) + 2(n-1)\varphi' \frac{x-a}{x}(h-2a)}; \\ \sigma_o = n\sigma_b \frac{h-a-x}{x}. \end{array} \right.$$

Für den Sonderfall  $\alpha)$   $\varphi' = D = 0$  folgt hieraus

$$x^2 \frac{M}{2} + x n M \varphi = M n (h-a)\varphi, \text{ oder}$$

$$\text{A. b. } \alpha) \left\{ \begin{array}{l} x = n\varphi \left\{ \sqrt{1 + \frac{2(h-a)}{n\varphi}} - 1 \right\}; \sigma_b = \frac{2M}{x(h-a-x/3)}; \sigma_o = n\sigma_b \frac{h-a-x}{x}. \end{array} \right.$$

Der Sonderfall  $\beta$ )  $\varphi' = 0$ ,  $D > 0$  liefert hier:

$$\text{A. b. } \beta) \left\{ \begin{aligned} x^3 \frac{D}{6} + x^2 \frac{2M - Dh}{4} + xn\varphi \left[ M + \frac{D(h-2a)}{2} \right] &= n(h-a)\varphi \left[ M + \frac{D(h-2a)}{2} \right]; \\ \sigma_b &= \frac{2M + D(h-2a)}{x(h-a-x/3)}; \quad \sigma_e = n\sigma_b \frac{h-a-x}{x}. \end{aligned} \right.$$

Im Sonderfalle  $\gamma$ ),  $\varphi' > 0$ ,  $D = 0$  entsteht aus A. b):

$$x^2 \frac{M}{2} + xM \left\{ (n-1)\varphi' + n\varphi \right\} = M \left\{ (n-1)a\varphi' + n(h-a)\varphi \right\} \text{ also:}$$

$$\text{A. b. } \gamma) \left\{ \begin{aligned} x &= \left\{ (n-1)\varphi' + n\varphi \right\} \left\{ \sqrt{1 + 2 \frac{(n-1)a\varphi' + n(h-a)\varphi}{((n-1)\varphi' + n\varphi)^2}} - 1 \right\}; \\ \sigma_b &= \frac{2M}{x(h-a-x/3) + 2(n-1)\varphi' \frac{x-a}{x} (h-2a)}; \quad \sigma_e = n\sigma_b \frac{h-a-x}{x} \end{aligned} \right.$$

c) Für Ermittlung der Tragfähigkeit eines vorhandenen Verbundbauwerkes;  $\sigma_e$  ist  $= s_e$ ,  $\sigma_b = s_b$ , gesucht werden  $x$ ,  $M$  und  $D$ . Nach den Gl. 1), 2) und 3c) folgen ohne weiteres:

$$\text{A. c. } \left\{ \begin{aligned} x &= \frac{h-a}{1+m}; \quad D = s_b \left[ \frac{x}{2} + (n-1) \frac{x-a}{x} \varphi' \right] - s_e \varphi; \quad M = (h-2a) \left[ \frac{D}{2} + \varphi s_e \right] + \frac{s_b x}{2} (a - x/3). \end{aligned} \right.$$

Im Sonderfalle  $\alpha$ ),  $\varphi' = D = 0$ , stehen den drei Gleichungen nur die beiden Unbekannten  $x$  und  $M$  gegenüber,  $\sigma_e$  kann deshalb nicht  $= s_e$  festgelegt, sondern muß als dritte Unbekannte berechnet werden. Nach Gl. 1) ist  $\sigma_e = n s_b \frac{h-a-x}{x}$ . Wird das mit  $\varphi' = D = 0$  in Gl. 2) eingesetzt, so folgt die Gleichung für  $x$ :  $x^2 + 2xn\varphi = 2n\varphi(h-a)$ . Daraus und aus Gl. 3a) folgt:

$$\text{A. c. } \alpha) \left\{ \begin{aligned} x &= n\varphi \left\{ \sqrt{1 + 2 \frac{h-a}{n\varphi}} - 1 \right\}; \quad \sigma_e = n s_b \frac{h-a-x}{x}; \quad M = \frac{s_b x}{2} (h-a-x/3). \end{aligned} \right.$$

Für den Sonderfall  $\beta$ ),  $\varphi' = 0$ ,  $D > 0$ , liefert die allgemeine Lösung A. c):

$$\text{A. c. } \beta) \left\{ \begin{aligned} x &= \frac{h-a}{1+m}; \quad D = s_b \frac{x}{2} - s_e \varphi; \quad M = \frac{1}{2} \left\{ s_b x \left[ \frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right] + s_e \varphi (h-2a) \right\} \end{aligned} \right.$$

Im Sonderfalle  $\gamma$ ),  $\varphi' > 0$ ,  $D = 0$ , muß wieder für die ausfallende Unbekannte  $D$   $\sigma_e$  als Unbekannte eingeführt werden. Wird wieder aus Gl. 1)  $\sigma_e = n s_b \frac{h-a-x}{x}$  mit  $D = 0$  in Gl. 2) eingesetzt, so folgt die Gleichung:

$$x^2 + 2x[n\varphi + (n-1)\varphi'] = 2[n\varphi(h-a) + (n-1)\varphi'a]. \text{ Aus ihr und Gl. 3c) folgt dann:}$$

$$\text{A. c. } \gamma) \left\{ \begin{aligned} x &= (n\varphi + (n-1)\varphi') \left\{ \sqrt{1 + 2 \frac{n\varphi(h-a) + (n-1)\varphi'a}{[n\varphi + (n-1)\varphi']^2}} - 1 \right\}; \quad \sigma_e = n s_b \frac{h-a-x}{x}; \\ M &= \sigma_e \varphi (h-2a) + \frac{s_b x}{6} (3a-x). \end{aligned} \right.$$

**B. Auf beiden Seiten des Verbundkörpers ist dieselbe Einlage  $\varphi$  vorhanden, Bogen.**

In den allgemeinen Gleichungen 1) bis 3c) ist überall  $\varphi' = \varphi$  zu setzen, so daß kein bekanntes  $\varphi'$  mehr vorhanden ist, die obigen Lösungen treffen daher nicht mehr zu.

a) Für Entwürfe.  $\sigma_e$  ist  $= s_e$ ,  $\sigma_b = s_b$ , gesucht werden  $x$ ,  $h$  und  $\varphi$ . Wird aus den Gl. 1) und 3c)  $h - 2a$  entwickelt,

$$\text{so entsteht die Gleichung } h - 2a = \frac{M + \frac{s_b x}{2} (x/3 - a)}{D/2 + \varphi s_e} = x(1+m) - a.$$

Hieraus folgt  $\varphi = \frac{6M + s_b x(x-3a)}{6s_e[x(1+m)-a]} - \frac{D}{2s_e}$ . Einen zweiten Ausdruck für  $\varphi$  erhält man aus Gl. 2)

$$\varphi = \frac{D - \frac{s_b x}{2}}{(n-1)s_b \frac{x-a}{x} - s_e}. \text{ Werden die beiden Werte von } \varphi \text{ einander gleich gesetzt, so entsteht eine Gleichung, die von}$$

den Unbekannten nur noch  $x$  enthält. Ordnet man diese nach Potenzen von  $x$  und benutzt sie zur Ermittlung von  $x$ , so sind dann auch  $h$  und  $\varphi$  nach den vorstehenden Ausdrücken zu berechnen. So ergibt sich:

$$B. a) \left\{ \begin{aligned} &x^3 s_b \left\{ 2 + 3m + (n-1)r \right\} - x^2 \left\{ 3(m+1)D [1 + (n-1)r] + 4(n-1)r s_b a \right\} - x \left\{ 6M [1 - (n-1)r] - \right. \\ &\quad \left. 3Da [1 + (n-1)(m+2)r] - 3(n-1)r s_b a^2 \right\} = 3(n-1)ra \left\{ 2M + Da \right\}; h = a + x(1+m); \\ &\quad \varphi = \frac{s_b x - 2D}{2s_e \left[ 1 - (n-1)r \frac{x-a}{x} \right]}. \end{aligned} \right.$$

Da dieser Fall auf der Annahme des Vorhandenseins zweier gleicher Einlagen beruht, so kann hier  $\varphi' = 0$  nicht in Frage kommen. Die Sonderfälle beschränken sich also auf die beiden:  $\alpha)$   $D = 0$ , der Körper ist nur einer biegenden Wirkung ausgesetzt, wie die mit zwei Einlagen ausgestattete Eisenbahnschwelle, und  $\beta)$   $M = 0$ , der Körper ist nur einem Längsdrucke ausgesetzt, wie jede in ihrer Schwerachse belastete, von Momenten freie Stütze.

Der Sonderfall  $\alpha)$ ,  $D = 0$ , liefert:

$$B. a. \alpha) \left\{ \begin{aligned} &x^3 \left\{ 1 + \frac{2+3m}{(n-1)r} \right\} - x^2 4a - x \left\{ 6 \frac{M}{s_b} \left[ \frac{1}{(n-1)r} - 1 \right] - 3a^2 \right\} = 6a \frac{M}{s_b}; h = a + x(1+m); \\ &\quad \varphi = \frac{s_b x}{2s_e \left[ 1 - (n-1)r \frac{x-a}{x} \right]}. \end{aligned} \right.$$

Im Sonderfalle  $\beta)$ ,  $M = 0$ , ist überhaupt keine Zugeinlage da, und  $x$  wird  $\infty$ , also sind die allgemeinen Grundgleichungen nicht zu verwenden. Ist der ganze Längsdruck der Stütze =  $\mathfrak{D}$ , die Tiefe des Querschnittes =  $c$ , so bestehen bei voller Ausnutzung des Eisens nur die beiden Gleichungen:

Gl. 4) . . . . .  $\mathfrak{D} - s_b h c - 2\varphi(n-1)s_b = 0$  und

Gl. 5) . . . . .  $n s_b = s_e$ .

Je nachdem nun die Maße  $h$  und  $c$ , oder  $\varphi$ , die halbe Eiseneinlage, angenommen werden, muß also sein:

$$B. a. \beta) \left\{ \begin{aligned} &\varphi = \frac{\mathfrak{D} - s_b h c}{2(s_e - s_b)} \text{ oder } h c = \frac{\mathfrak{D} - 2\varphi(s_e - s_b)}{s_b}, \text{ bei quadratischer Stütze für } c = h \\ &\quad \varphi = \frac{\mathfrak{D} - s_b h^2}{2(s_e - s_b)} \text{ oder } h = \sqrt{\frac{\mathfrak{D} - 2\varphi(s_e - s_b)}{s_b}} \end{aligned} \right.$$

b) Für Entwurfs-Nachprüfungen. Gesucht werden  $x$ ,  $\sigma_b$  und  $\sigma_e$ . Nach Gl. 1) ist  $\sigma_e = n \sigma_b \frac{h-a-x}{x}$ . Setzt man diesen Wert in Gl. 2) ein, so kann diese auf die Form gebracht werden:

$$\frac{\sigma_b}{x} \left[ n(h-a-x)\varphi - \frac{x^2}{2} - (n-1)(x-a)\varphi \right] = -D,$$

wobei zugleich  $\varphi' = \varphi$  berücksichtigt ist. Mittels derselben Einsetzung kann man Gl. 3c) auf die Form bringen:

$$\frac{\sigma_b}{x} \left[ n\varphi(h-a-x)(h-2a) + \frac{x^2}{6}(3a-x) \right] = M - \frac{D}{2}(h-2a).$$

Teilt man diese beiden Gleichungen durch einander, so fällt  $\frac{\sigma_b}{x}$  weg, und es bleibt eine Gleichung über, die von den Unbekannten nur  $x$  enthält. Ordnet man sie zur Berechnung von  $x$  nach Potenzen dieser Größe, und fügt die Ausdrücke für  $\sigma_b$  und  $\sigma_e$  hinzu, so folgt:

$$B. b) \left\{ \begin{aligned} &x^3 + x^2 \frac{3}{2} \left[ 2 \frac{M}{D} - h \right] + x 6\varphi \left\{ (2n-1) \frac{M}{D} + \frac{h-2a}{2} \right\} = 6\varphi \left\{ n \left[ \frac{(h-2a)^2}{2} + \frac{Mh}{D} \right] - a \left[ \frac{M}{D} - \frac{h-2a}{2} \right] \right\}; \\ &\quad \sigma_b = x \frac{2M - D(h-2a)}{2n\varphi(h-a-x)(h-2a) + \frac{x^2}{3}(3a-x)}; \sigma_e = n\sigma_b \frac{h-a-x}{x}. \end{aligned} \right.$$

Für den Sonderfall  $\alpha)$   $D = 0$  folgt hieraus, wenn die Gleichung für  $x$  erst mit  $D$  ausmultipliziert wird:

$$B. b. \alpha) \left\{ \begin{aligned} &x = \varphi(2n-1) \left\{ \sqrt{1 + 2 \frac{nh-a}{\varphi(2n-1)^2}} - 1 \right\}; \sigma_b = \frac{2Mx}{2n\varphi(h-a-x)(h-2a) + \frac{x^2}{3}(3a-x)}; \\ &\quad \sigma_e = n\sigma_b \frac{h-a-x}{x}. \end{aligned} \right.$$

Im Sonderfalle  $\beta)$ ,  $M = 0$ , ist nach Gl. 4) und 5) für eine Stütze mit Längsdruck:

$$B. b. \beta) \left\{ \begin{aligned} &\sigma_b = \frac{\mathfrak{D}}{hc + 2(n-1)\varphi}; \sigma_e = n\sigma_b. \end{aligned} \right.$$

c) Für Ermittlung der Tragfähigkeit eines vorhandenen Verbundbauwerkes.  $\sigma_e$  ist =  $s_e$ ,  $\sigma_b$  =  $s_b$ ; gesucht werden  $x$ ,  $M$  und  $D$ . Nach den Gl. 1), 2) und 3c) folgt unmittelbar:

$$B. c) \left\{ \begin{array}{l} x = \frac{h-a}{1+m}; \quad D = \frac{s_b x}{2} + \varphi \left[ (n-1) s_b \frac{x-a}{x} - s_e \right]; \quad M = \varphi s_e (h-2a) + \frac{s_b x}{6} (3a-x) + \frac{D}{2} (h-2a). \end{array} \right.$$

Für den Sonderfall  $\alpha$ ),  $D = 0$ , verschwindet die eine der drei Unbekannten. Da aber die drei Gleichungen bestehen bleiben, muß eine andere Größe als unbekannt eingeführt werden, wofür zweckmäßig  $\sigma_e$  gewählt wird. Nach Gl. 1) ist:  $\sigma_e = n s_b \frac{h-a-x}{x}$ ; wird das mit  $D = 0$  in Gl. 2) eingesetzt, so entsteht eine Gleichung nur mit der Unbekannten  $x$ , nach deren Lösung dann  $\sigma_e$  und  $M$  zu berechnen sind. So folgt:

$$B. c. \alpha) \left\{ \begin{array}{l} x = (2n-1) \varphi \left\{ \sqrt{1 + \frac{2}{(2n-1)^2} \frac{nh-a}{\varphi}} - 1 \right\}; \quad \sigma_e = n s_b \frac{h-a-x}{x}; \quad M = \varphi \sigma_e (h-2a) \\ \quad + \frac{s_b x}{6} (3a-x). \end{array} \right.$$

Im Sonderfalle  $\beta$ ),  $M = 0$ , sind wieder die Gl. 4) und 5) zu verwenden, welche liefern:

$$B. c. \beta) \left\{ \begin{array}{l} D = s_b [hc + 2\varphi(n-1)]; \quad \sigma_e = n s_b. \end{array} \right.$$

#### V. Die Aufnahme der Querkräfte.

Bezüglich der Aufnahme der Querkräfte ist bei den Verbundkörpern ganz besondere Vorsicht geboten, weil dabei Zug- und Scherspannungen in Frage kommen, für die der Beton nur vergleichsweise geringe, und bei den bisher üblichen Herstellungsweisen unsichere Widerstandsfähigkeit hat. Man beobachtet wohl in den Zugzonen der Verbundkörper feine Risse, die in den Biegungs-Zugspannungen ihre Ursache haben; diese sind jedoch unbedenklich, da ja die Eiseneinlagen ohne Berücksichtigung irgend welcher Zugspannung im Beton bemessen sind. Sie können nur Bedenken erregen, wenn durch sie der Zugang von rosterzeugenden Dämpfen oder Gasen zum Eisen erleichtert wird, oder wenn die Flächen etwa kostbare Stuckarbeiten oder Malereien tragen sollen.

Statisch bedenkliche Verletzungen der Verbundkörper sind bisher fast ausschließlich, aber sehr häufig, dadurch entstanden, daß nicht genügend für die sichere Aufnahme der aus den Querkräften erwachsenden lotrechten und wagerechten Scherspannungen, und der unter  $45^\circ$  gerichteten Zugspannungen gesorgt wurde, woraus in der Nähe der Lager unter  $45^\circ$  geneigte, nach der Mitte hin steigende Risse entstehen. Besonders gut sind diese Zerstörungen bei Rippenkörpern in den Rippenflanken zu erkennen, bei vollen Platten werden sie oft verdeckt, wenn sie nicht bis zur Unterfläche durchgehen, andern Falles erscheinen sie als entlang der Auflagerung laufende Risse in der Unterfläche.

Der Entstehung dieser Schrägrisse wird am sichersten durch Verwendung von unter  $45^\circ$  geneigten Eiseneinlagen begegnet, die am besten vom Auflager nach der Mitte hin fallen, aber auch die entgegengesetzte Neigung haben können, weil für die ganz in Beton eingebetteten Eisen keine Gefahr des Ausknickens vorliegt.

Diese schrägen Einlagen werden am einfachsten durch Aufbiegen der unteren Einlagen nach der Oberkante gewonnen, das bei frei aufgelagerten Tragkörpern möglich ist, weil nach den Enden das Biegemoment, also der erforderliche Querschnitt der Zugeinlage abnimmt, das aber bei über den Stützen

durchlaufenden Verbundkörpern sogar nötig ist, weil bei diesen die in den Öffnungen unten erforderlichen Einlagen über den Stützen oben liegen müssen. Die Schrägeinlagen können fehlen, wo der Beton für sich allein im Stande ist, die Scherspannungen und die aus diesen hervorgehenden Schrägspannungen aufzunehmen. Die in den preussischen Bestimmungen zugelassene Scherspannung von 4,5 kg/qcm ist gegenüber der heutigen Herstellungsweise des Beton sehr hoch gegriffen.

Besonders ist zu betonen, daß die häufig verwendeten, mehr oder weniger genau lotrecht gestellten, mit den Zug- oder Druck-Einlagen nicht fest verbundenen Bügel aus Drähten, oder gar dünnen Bandeisen sehr wenig geeignet sind, die Scherspannungen aufzunehmen. Einen Widerstand leisten sie nur gegen wagerechte Scherspannungen, gegen die lotrechten sind sie nutzlos; aber auch ihr Widerstand gegen die wagerechten wird ein befriedigender nur, wenn man zu ganz anderen Ausbildungen übergeht, als sie jetzt üblich sind. Wie überaus hohe Spannungen die angenommene Wirksamkeit der lotrechten Bügel voraussetzt, und wie verwickelt und ungünstig ihre statischen Verhältnisse sind, hat der Verfasser an anderer Stelle nachgewiesen.\*)

Bezüglich der statischen Verfolgung der Aufnahme der Querkräfte ist zu unterscheiden, ob es sich um eine Stelle handelt, an der nur wagerechte Zug- und Druck-Einlagen vorhanden sind, oder ob es möglich ist, die Querkraft durch unter  $45^\circ$  geneigte Eisen aufzunehmen.

#### V. A. Nur wagerechte Einlagen sind vorhanden.

Für diesen Fall führt die Untersuchung der Kraft zum Ziele, die die Zugeiseneinlagen für die Längeneinheit aus dem Beton zu ziehen sucht. Bei der Länge nach veränderlicher Längskraft  $D$  hängt diese von der Veränderung von  $D$  und  $M$  ab. Wenn aber  $D$  auch veränderlich ist, so pflegt diese Veränderlichkeit für die Längeneinheit in allen Fällen der Bauausführung doch eine so geringe zu sein, daß sie vernachlässigt werden kann; ist sie unveränderlich, so hat sie auch theoretisch keinen Einfluß auf die die Einlage lösende Kraft, die demnach

\*) Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen 1902, S. 243.

in allen Fällen als allein von der Veränderlichkeit des Biegemomentes abhängig angesehen werden kann.

Denkt man sich in Abb. 1 die Mittelkraft aus den bekannten Kräften  $\frac{x \sigma_b}{2}$  und  $(n-1) \varphi' \sigma_b \frac{x-a}{x}$ , und deren Hebel  $d$  gegen die Zugeinlage ermittelt, so wird das Widerstandsmoment des Querschnittes gemessen durch  $Z d = \sigma_b \varphi d$ , also muß  $Z d = M$  sein. Differenziert man diese Gleichung nach der Körperlänge  $z$ , so erhält man als Veränderung für die Längeneinheit  $\frac{d(Z d)}{dz} = \frac{dM}{dz}$ , oder da  $\frac{dM}{dz} = Q$ , und  $d$  unveränderlich ist:  $\frac{dZ}{dz} = \frac{Q}{d}$ . Nun muß  $\frac{dZ}{dz}$  durch die Haftfestigkeit der Längeneinheit der Eiseneinlage im Beton aufgenommen werden, daraus folgt die Haftspannung der Zug-eiseneinlage im Beton mit:

$$\text{V. A. 1) } \left\{ \begin{array}{l} \tau_2 = \frac{f Q}{\varphi d u} \end{array} \right.$$

da je eine Einlage des Querschnittes  $f$  und der Umfangsfläche  $u$  in der Teilung  $b = f/\varphi$  wiederkehrt, und  $Q$  auf die Tiefeneinheit bezogen ist.

Dieselbe Kraft, die das Eisen aus dem Beton zu ziehen sucht, muß nun durch die Scherfestigkeit des Beton nach der Druckseite übertragen werden, um hier den ihr gleichen Betrag der Druckspannungen aufzuheben. Demnach entsteht auf der ganzen Höhe  $h-a-x$  bis zur Unterkante der Druckzone in wagerechten, wie in lotrechten Ebenen die Scherspannung:

$$\text{V. A. 2) } \left\{ \begin{array}{l} \tau_1 = \frac{Q}{d} \end{array} \right.$$

die zugleich auch als größte Schrägspannung auftritt. Es ist zu empfehlen, diese Spannung nicht über 2,5 kg/qcm steigen zu lassen, und da, wo dieser Wert überschritten wird, mit der zweiten Art der Aufnahme der Querkraft durch Schrägeisen zu beginnen.

#### V. B. Aufnahme der Querkraft durch Schrägeisen.

Wird die nach den vorstehenden Angaben berechnete Scherspannung  $\tau_1 > 2,5$  kg/qcm, so fange man an, die unten liegenden Einlagen unter  $45^\circ$  nach oben zu ziehen. Der Querschnitt  $\varphi''$  dieser Schrägeisen wird berechnet, indem man zuerst dem Beton wieder 2,5 kg/qcm Scherspannung auferlegt, also für die Querkraft  $Q$  nach:

$$\text{V. B. 1) } \left\{ \begin{array}{l} \varphi'' = \frac{1,414 (Q - 2,5 d)}{s_0} \end{array} \right.$$

Da  $Q$  in der Nähe der Stützen am größten wird, so wird auch  $\varphi''$  hier am größten, das heißt, die schräg hinaufgezogenen Eisen müssen in der Nähe der Stützen am dichtesten liegen, in der Nähe der Mitte der Öffnungen können sie auf gewisse Strecken nach V. A. ganz fehlen.

Auf die Längeneinheit muß auf diese Schrägeisen die Änderung von  $Q$ , der Regel nach  $q$ , übertragen werden. Die auf die Einlage zu übertragende Kraft ist also unter Berücksichtigung der oben festgelegten Verteilung auf Beton und Eisen  $1,414 \cdot q \cdot \frac{Q - 2,5 d}{Q}$ , oder für eine Teilung der Einlagen des

Querschnittes  $f$  nun  $f/\varphi'' \cdot 1,414 \cdot q \cdot \frac{Q - 2,5 d}{Q}$ . Die Umfangsfläche eines Schrägeisens für die Längeneinheit ist 1,414  $u$ , also ist die auftretende Ausscherspannung der Schrägeisen:

$$\text{V. B. 2) } \left\{ \begin{array}{l} \tau_2'' = \frac{f q}{\varphi'' u} \cdot \frac{Q - 2,5 d}{Q} \end{array} \right.$$

welche die zulässige Haftspannung nicht übersteigen darf. Demnach hat man zur Minderung der Gefahr des Ausscherens der Eisen aus dem Beton ein Mittel, indem man die Zahl der Eisen unter entsprechender Verkleinerung des Querschnittes des einzelnen Eisens vermehrt.

Zieht man alle in der Mitte der Öffnung unten liegenden Eisen nach und nach in bezüglich der Zahl der Eisen wachsenden Gruppen nach oben, so daß über den Lagern alle Eisen oben sind, so erzielt man in der Regel eine Aufnahme der Querkraft, die das tatsächliche Erfordernis übersteigt. In einem solchen Falle ist es empfehlenswert, diejenigen Eisen, die nicht zur Aufnahme der Querkraft nach oben gezogen zu werden brauchen, unten liegen zu lassen. Hat man zwei Reihen von Einlagen, so ist die Erzielung des erforderlichen Querschnittes  $\varphi''$  um so leichter, indem man gleichzeitig die oberen Eisen nach unten und die unteren nach oben zieht; dabei werden die ersteren, nach der Mitte zu steigenden auf Druck beansprucht, was wegen der Einhüllung in den Beton unbedenklich ist.

Die Größe des Momentenhebels  $d$  ist zur Benutzung dieser Formeln aus den angegebenen, bekannten Kräften zu ermitteln (Abb. 1). Ist keine Druckeinlage  $\varphi'$  vorhanden, so ist  $d = h - a - x/3$ .

#### VI. Rippenkörper.

Rippen-Tragkörper unterscheiden sich theoretisch von den früher behandelten vollen Platten nicht, denn sie entstehen aus jenen dadurch, daß man die keine Zugeinlagen enthaltenden, gezogenen Teile des Betonkörpers, die oben nicht in Rechnung gestellt sind, nun tatsächlich wegläßt. Der ganze Erfolg ist entsprechende Verminderung des Eigengewichtes, übrigens bleiben die statischen Verhältnisse unverändert, somit kann man die früher entwickelten Fälle ohne weiteres auf die Rippen-Verbundkörper anwenden. Ergänzend kommt nur hinzu, daß der gewöhnlich aus mehreren Einzeleisen bestehende Einlagenquerschnitt  $f$  einer Rippe den Einheitsbedarf  $\varphi$  auf die Breite einer Rippenteilung zu decken hat, somit folgt die Rippenteilung  $b$  aus  $b \varphi = f$  mit:

$$\text{VI. 1) } \left\{ \begin{array}{l} b = f/\varphi \end{array} \right.$$

Die lotrechte und wagerechte Scherspannung im Beton wird bei der Rippenbreite  $b_0$  gemäß V. A. 2) nun

$$\text{VI. 2) } \left\{ \begin{array}{l} \tau_1 = f/\varphi \cdot \frac{Q}{d b_0} \end{array} \right.$$

oder wenn  $\tau_1$  die zulässige Scherspannung ist, muß sein:

$$\text{VI. 3) } \left\{ \begin{array}{l} b_0 = \frac{f Q}{\varphi d \tau_1} \end{array} \right.$$

Die Haftspannung wagerechter Einlagen folgt aus V. A. 1).

Die Festlegung der schräg gezogenen Einlagen und die der Haftspannungen bleibt die unter V B 1) und 2) angegebene, wenn man zu V B 1) berücksichtigt, daß der Querschnitt der in den Rippen schräg gezogenen Eisen:

$$VI. 4) \left\{ \begin{array}{l} f'' = 1,414 \frac{Q \frac{f}{\varphi} - d b_0 2,5}{s_e}; \varphi'' = \frac{f''}{b} \end{array} \right.$$

betragen muß. Sollte die Querkraft gleich für eine ganze Rippenteilung ermittelt sein, so stellt dieser Wert  $Q \frac{f}{\varphi}$  dar.

Die Haftspannung der heraufgezogenen Eisen ist:

$$VI. 5) \left\{ \begin{array}{l} \tau_2'' = \frac{q \frac{f}{\varphi} - d b_0 2,5}{u''} \end{array} \right.$$

Die Deckplatte erhält so diejenige Dicke  $h^1 = x$ , die sie befähigt, voll als Druckgurt des T-förmigen Querschnittes einer Rippenteilung zu wirken. Nun hat die Deckplatte des Rippenkörpers aber noch eine zweite Aufgabe zu erfüllen, sie muß als tragende Platte unter der wirkenden Last von Rippe zu Rippe quer zu den Rippen wirken. Bemißt man nun die Dicke der Deckplatte nach dem einen dieser beiden Gesichtspunkte, so entspricht sie im allgemeinen dem andern nicht, und da man die größere der beiden geforderten Stärken auszuführen hat, so wird die Platte in einer der beiden Beziehungen nicht ausgenutzt.

Deshalb soll nun noch gezeigt werden, wie die Rippenplatten in solcher Weise ausgestattet werden können\*), daß die obere Platte als Tragplatte von Rippe zu Rippe und als Druckgurt des Rippenquerschnittes grade genügt und voll ausgenutzt wird. Für die Deckplatte sollen dabei wieder die oben angegebenen Bezeichnungen, jedoch unter Hinzufügung des Kopfzeichens 1 benutzt werden.

Zunächst ermittle man M und D für den ganzen Rippenkörper und dann je nach Lage des Falles gemäß IV. A. a) oder B. a) mit ihren Sonderfällen die Höhe x der Druckzone, die nun zugleich die ganze Stärke der oberen Tragplatte, also  $h^1$  sein soll; ebenso berechne man dem Falle entsprechend die ganze Rippenhöhe h und den Querschnitt der Zugeinlage  $\varphi$  für die Tiefeneinheit.

Da nun für die obere Platte  $h^1 = x$  bekannt ist, so folgt für alle Fälle die Höhe  $x^1$  der Druckzone der Deckplatte aus:

$$VI. 6) \left\{ \begin{array}{l} x^1 = \frac{h^1 - a^1}{1 + m} \end{array} \right.$$

und der Querschnitt  $\varphi^1$  der Zugeinlage je nach Lage des Falles aus den Lösungen IV. A. a) oder B. a) mit den Sonderfällen.

Damit sind nun alle Querschnittsgrößen der Deckplatte als Tragplatte bekannt, also kann nach IV. A. c) oder B. c) und den Sonderfällen davon berechnet werden, welches Moment  $M^1$  und welche Längskraft  $D^1$  die Deckplatte mit ihren Abmessungen tragen kann. Andererseits sind die Art der Lagerung der Platte und ihre Belastung bekannt, die wohl ausnahmslos einem der Sonderfälle  $D^1 = 0$  entsprechen wird. Ist die Rippenteilung b, so hat bei der Belastung  $q^1$  das größte Angriffsmoment

\*) Deutsche Bauzeitung 1905, S. 4, 26, 30, 144.

jedenfalls die Form  $k q^1 b^2$ , und da nun die Größe  $M^1$  bekannt ist, die dieses Moment erreichen darf, so folgt die auszuführende Rippenteilung aus:

$$VI. 7) \left\{ \begin{array}{l} b = \sqrt{\frac{M^1}{k q^1}} \end{array} \right. \text{*)}$$

und die Zugeinlage einer Rippe aus

$$VI. 8) \left\{ \begin{array}{l} f = b \varphi \end{array} \right.$$

Bezüglich der Größen k und  $q^1$  mag angeführt werden, daß sie für ungünstigste Aufstellung der gleichmäßig verteilten Verkehrslast p, für die Eigenlast g und für die ganze Last q zu setzen sind:

	$M = k q^1 b^2$	k	$q^1$
VI. 9)	in einem Mittelfelde . .	1/40	$q + 2 p$
	in einem Seitenfelde . .	1/50	$4 q + p$
	über einer Stütze . . . .	— 1/10	q

Diese Werte sind nicht für alle Fälle ganz scharf, geben aber genügende Annäherung.

Damit sind die Abmessungen der Deckplatte in den Öffnungen und die Rippenteilung so festgelegt, daß die Platte in beiden Richtungen voll ausgenutzt wird. Da die durchlaufenden Platten ihre größten Momente aber in der Regel über den Stützen erleiden, so müssen hier meist Verstärkungen vorgenommen werden, die etwa in den Vierteln der Rippenteilung b beginnend, als Ausschragungen der Platte gegen die Rippen erscheinen, und zugleich die Aufnahme der aus den Querkraften erwachsenden Scherspannungen verbessern.

Für diese Verstärkung der Platte in Rippenmitte sind die folgenden Gesichtspunkte maßgebend. Über der Rippe ist das Moment  $M^1_1$ , in der Regel  $= - \frac{q^1 b^2}{10}$ , bekannt, ebenso der nur in seltenen Fällen auftretende Druck  $D^1$ ; die nach oben gezogene Zugeinlage  $\varphi^1$  und die nach unten gezogene Druckeinlage  $\varphi'^1$  sollen dieselben bleiben, wie in den Öffnungen, da die Änderung der Einlagen unbequem wäre, auch wird die zulässige Eisenspannung  $s_e$  beibehalten, folglich sind die Unbekannten, nach denen die allgemeinen Gleichungen zu lösen sind: die ganze Plattenhöhe  $h^1_1$  in Rippenmitte, die Höhe  $x^1_1$  der untern Druckzone und die Betondruckspannung  $\sigma_b^1$ .

Der Fall B zweier gleicher Einlagen braucht nicht behandelt zu werden, da er bezüglich der Deckplatte eines Rippenkörpers wohl nie vorkommt.

Für den Fall A. des Vorhandenseins einer bekannten Druckeinlage  $\varphi'^1$  liefern die allgemeinen Gleichungen nach Einführung der neuen Bezeichnungen:

$$GI. 2) \sigma_b^1 = \frac{D^1 + \varphi^1 s_e}{\frac{x^1_1}{2} + (n - 1) \varphi'^1 \frac{(x^1_1 - a^1)}{x^1_1}} \text{ Wird Gl. 1)}$$

nach  $h^1_1, \dots a^1$  gelöst und in diese Lösung der gefundene Wert von  $\sigma_b^1$  eingesetzt, außerdem noch  $a^1$  abgezogen, so folgt:

\*) Über die Größen k und  $q^1$  vergleiche Deutsche Bauzeitung 1905, S. 4, 26, 30, 144.

$$h_1^1 - 2a^1 = x_1^1 + \frac{s_0 \left[ \frac{x_1^1{}^2}{2} + (n-1) \varphi'^1 (x_1^1 - a^1) \right]}{n(D^1 + \varphi^1 s_0)} - a^1.$$

Werden ferner diese Werte von  $\sigma_b^1$  und  $h_1^1 - 2a^1$  in Gl. 3c) eingesetzt, so entsteht die von den Unbekannten nur  $x_1^1$  enthaltende Gleichung:

$$M_1^1 - \left( \frac{D^1}{2} + \varphi^1 s_0 \right) \left[ x_1^1 + \frac{s_0 \left[ \frac{x_1^1{}^2}{2} + (n-1) \varphi'^1 (x_1^1 - a^1) \right]}{n(D^1 + \varphi^1 s_0)} - a^1 \right] - \frac{x_1^1 (3a^1 - x_1^1)}{6} \frac{D^1 + \varphi^1 s_0}{\frac{x_1^1}{2} + (n-1) \varphi'^1 \frac{x_1^1 - a^1}{x_1^1}} = 0.$$

Wird diese Gleichung nach Potenzen von  $x_1^1$  geordnet und dabei  $\frac{D^1 + \varphi^1 s_0}{\frac{x_1^1}{2} + \varphi^1 s_0} = \varrho$  gesetzt, so folgt der Gleichungssatz zur Berechnung der drei Unbekannten:

$$\text{VI. A. } \left\{ \begin{array}{l} -x_1^1{}^4 \frac{s_0}{4} - x_1^1{}^3 \left\{ \frac{n}{2} (D^1 + \varphi^1 s_0) \left[ 1 - \frac{\varrho}{3} \right] + (n-1) \varphi'^1 s_0 \right\} + x_1^1{}^2 \left\{ \frac{n}{2} \left[ \varrho M_1^1 - (D^1 + \varphi^1 s_0) [2(n-1) \varphi'^1 \right. \right. \\ \left. \left. + a^1 (\varrho - 1) \right] \right\} + (n-1) \varphi'^1 s_0 \left[ a^1 - (n-1) \varphi'^1 \right] \right\} + x_1^1 n (n-1) \varphi'^1 \left\{ \varrho M_1^1 + 2a^1 \left[ D^1 + s_0 (\varphi^1 \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{(n-1)}{n} \varphi'^1) \right] \right\} - n(n-1) a^1 \varphi'^1 \left\{ \varrho M_1^1 + a^1 \left[ D^1 + s_0 \left( \varphi^1 + \frac{n-1}{n} \varphi'^1 \right) \right] \right\} = 0; \\ \sigma_b^1 = \frac{D^1 + \varphi^1 s_0}{\frac{x_1^1}{2} + (n-1) \varphi'^1 \frac{x_1^1 - a^1}{x_1^1}}; \quad h_1^1 = a^1 + x_1^1 \left[ 1 + \frac{s_0}{n \sigma_b^1} \right]. \end{array} \right.$$

Im Sonderfalle  $\alpha$ ),  $\varphi'^1 = D^1 = 0$ , ist  $\varrho = 1$ , und der Lösungssatz lautet:

$$\text{VI. A. } \alpha) \left\{ \begin{array}{l} x_1^1 = \frac{2}{3} n \varphi^1 \left[ \sqrt{1 + \frac{9 M_1^1}{2 n \varphi^1{}^2 s_0}} - 1 \right]; \quad \sigma_b^1 = \frac{2 \varphi^1 s_0}{x_1^1}; \quad h_1^1 = a^1 + x_1^1 \left[ 1 + \frac{s_0}{n \sigma_b^1} \right]. \end{array} \right.$$

Bei den vorkommenden Aufgaben ist dieser Fall  $\alpha$ ) der weitaus häufigste.

Für den Sonderfall  $\beta$ )  $\varphi'^1 = 0$ ,  $D^1 > 0$ , vereinigt sich der allgemeine Lösungssatz VI. A. zu:

$$\text{VI. A. } \beta) \left\{ \begin{array}{l} x_1^1 = \frac{n \varrho}{6 s_0} (D^1 + 4 \varphi^1 s_0) \left[ \sqrt{1 + \frac{36 s_0 (2 M_1^1 - D^1 a^1)}{n \varrho (D^1 + 4 \varphi^1 s_0)^2}} - 1 \right]; \\ \sigma_b^1 = 2 \frac{D^1 + \varphi^1 s_0}{x_1^1}; \quad h_1^1 = a^1 + x_1^1 \left[ 1 + \frac{s_0}{n \sigma_b^1} \right]. \end{array} \right.$$

Der Sonderfall  $\gamma$ ),  $\varphi'^1 > 0$ ,  $D^1 = 0$ , liefert  $\varrho = 1$  und den Lösungssatz:

$$\text{VI. A. } \gamma) \left\{ \begin{array}{l} -x_1^1{}^4 - x_1^1{}^3 \left\{ 4 \left[ \frac{n \varphi^1}{3} + (n-1) \varphi'^1 \right] + x_1^1{}^2 4 n \left[ \frac{M_1^1}{2 s_0} - (n-1) \varphi'^1 \left[ \varphi^1 + \frac{a^1 - (n-1) \varphi'^1}{n} \right] \right\} \right. \\ \left. + x_1^1 8 n (n-1) \varphi'^1 \left\{ \frac{M_1^1}{2 s_0} + a^1 \left[ \varphi^1 + \frac{n-1}{n} \varphi'^1 \right] \right\} - 4 n (n-1) a^1 \varphi'^1 \left\{ \frac{M_1^1}{s_0} + a^1 \left[ \varphi^1 + \frac{n-1}{n} \varphi'^1 \right] \right\} \right\} = 0; \\ \sigma_b^1 = \frac{2 \varphi^1 x_1^1 s_0}{x_1^1{}^2 + 2 (n-1) \varphi'^1 (x_1^1 - a^1)}; \quad h_1^1 = a^1 + x_1^1 \left[ 1 + \frac{s_0}{n \sigma_b^1} \right]. \end{array} \right.$$

Da für alle Lösungen VI. A. die Druckzone  $x_1^1$  unten, die Zugeinlage  $q^1$  oben eingeführt ist, so ist das an sich negative Stützenmoment  $M_1^1$  positiv in die Formeln einzusetzen.

Die Höhe  $h_1^1$  wird in der Rippenmitte von Plattenoberkante nach unten abgesetzt, und das untere Ende wird mit den Punkten verbunden, welche in den Vierteln der Rippen- teilung  $b$  in der Unterkante der mittlern Plattendicke  $x^1$  liegen; so ergibt sich die nötige Ausschragung der Deckplatte gegen die Rippen.

Die Aufnahme der Querkräfte folgt sowohl bezüglich der Deckplatte, als auch der Rippen ganz den unter V und VI 2)

bis 5) gegebenen Regeln; zu beachten ist nur, daß sich  $f$  in den Rippen in der Regel aus mehreren dünnen Eisen zusammen setzen wird, daß also auch der Umfang  $u$  der Längeneinheit mehrerer Eisen entspricht. Da  $u$  mit der Zahl der  $f$  bildenden Einzeleisen wächst, so ist es für Erniedrigung der Haftspannung günstig, die Rippeneinlage aus vielen dünnen Einzeleisen zu bilden.

In einer Fortsetzung dieses Aufsatzes soll die Anwendung der gegebenen Formeln auf bestimmte Einzelfälle durch Vorführung einer Reihe von Zahlenbeispielen gezeigt werden.

(Schluß folgt.)

# Bericht über die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

## Bahn-Unterbau, Brücken und Tunnel.

### Einspurige und zweispurige Alpentunnel.

Von Professor Hennings in Zürich.

(Schweizerische Bauzeitung 1906, Juni, Band XLVII, S. 290. Mit Abb.)

In gewöhnlichen Fällen kosten zwei eingleisige Tunnel etwa 130% eines zweigleisigen. Bei Tunneln unter hoher Überlagerung aber verschiebt sich dies Verhältnis, weil zum Zwecke der Lüftung bei mehr als 25° C. Felswärme so große Luftmengen von 30 bis 40 cbm/Sek. eingeblasen werden müssen, daß die dafür erforderlichen Röhren in den unvollendeten Tunnelstrecken keinen Platz finden, sondern sowohl beim eingleisigen, als auch beim zweigleisigen Tunnel durch besondere, außerhalb liegende Stollen ersetzt werden müssen.

Beim Simplontunnel ist dieser Lüftungstollen so angelegt, daß er dem erst später nötigen, zweiten eingleisigen Tunnel als Sohlstollen dient, also für die Zukunft nutzbar gemacht ist.

Bei einem zweigleisigen Tunnel mit hoher Überlagerung wird der Lüftungstollen nach dem Vorschlage des Obergeringens Weber, Bauleiters der Bodensee-Toggenburg-Bahn in St. Gallen, zweckmäßig unter den zweigleisigen Haupttunnel gelegt.

Dieser »Unterstollen« soll den Richtstollen bilden und zugleich als Lüftungsrohr und Wasserkanal dienen.

Die Vorteile des Unterstollens sind folgende.

1. Es ist nur ein einziger Stollen herzustellen.
2. Auch die größten Wassereinbrüche können den Tunnelbau nicht stören.
3. Der Haupttunnel wird völlig trocken.

4. Die Verkehre im Richtstollen und Haupttunnel sind völlig getrennt, was die Arbeit beider sehr erleichtert.
5. Im Unterstollen ist elektrischer Betrieb leicht einzurichten.
6. Da der Wasserkanal unter dem Sohlengewölbe angelegt wird, kann letzteres hoch gelegt werden; wenn es also nötig wird, wird der Ausbruch nicht größer als bei den bisherigen Bauarten, sodaß der Unterstollen bei Bedarf eines Sohlengewölbes fast gar keine Mehrkosten veranlaßt.
7. Fernschreib-, Fernsprech- und Hochspannungsleitungen können im Unterstollen in blanken Drähten geführt werden, sodaß die kostspieligen und umständlichen Kabel entfallen.

Nach dem Ergebnisse einer Kostenberechnung wird der zweigleisige Tunnel um 18% billiger als zwei eingleisige.

Durch den Zinsgewinn des bei der eingleisigen Anlage zur Zeit der Bahneröffnung vorläufig ersparten Betrages wird die Summe, welche zum Ausbau des zweiten Tunnels nötig ist, bis zur erforderlichen Ausführung dieser Arbeit meistens nicht erreicht werden, und daher sollte bei künftigen großen Tunneln sofort eine zweigleisige Anlage hergestellt werden, umsomehr, als die Vornahme von größeren Ausbesserungen bei so langen eingleisigen Tunneln außerordentlich schwierig ist.

Überdies spricht für den zweigleisigen Tunnel, daß die Entfernung der Zwillingtunnel verdoppelt werden sollte, um eine schädliche Rückwirkung des Nebenstollens auf den ersten Tunnel zu vermeiden, und daß zwei Tunnel mit ihren Querschlägen weit mehr Wasser anschneiden, als ein einzelner Tunnel.

B—s.

## B a h n - O b e r b a u.

### Über Holztränkung.

Um die stickstoffhaltigen Bestandteile des Holzsaftes, die Veranlassung zum Faulen geben, unschädlich zu machen, wird das Holz mit Stoffen getränkt, die mit den stickstoffhaltigen Bestandteilen unlösliche, nicht fäulnisfähige Verbindungen eingehen.

Von den zahlreichen für die Tränkung in Anwendung gebrachten organischen und anorganischen Stoffen werden in neuerer Zeit in größerem Umfange nur noch Chlorzink, Teeröl, Quecksilbersublimat und Kupfervitriol verwendet. Die Verfahren zur Erhaltung von Eisenbahnschwellen und Telegraphenstangen bestehen a) in der Einlaugung der Hölzer in die fäulnishindernde Flüssigkeit, b) in der Tränkung durch Filtration unter Benutzung des hydrostatischen Druckes der Tränkungsflüssigkeit, c) in der Tränkung durch Einführung der Flüssigkeit unter Anwendung von Dampf- oder Luft-Druck.

Bei dem letzten Verfahren werden die zu tränkenden Hölzer in geschlossene metallene Gefäße gebracht, diese leer gepumpt, wodurch die Luft aus den Hohlräumen im Innern des Holzes entfernt wird, dann wird die Tränkungsflüssigkeit unter hohem Drucke eingeführt, und endlich, indem man auf die das Holz umgebende Flüssigkeit einen Druck von mehreren Atmosphären einwirken läßt, bewirkt, daß die Tränkungs-

flüssigkeit mit großer Kraft in die Saftkanäle und die Zwischenräume des Zellengewebes getrieben wird. Die neuesten Abänderungen dieses »pneumatisch« genannten Verfahrens weichen dadurch etwas ab, daß der Tränkungskessel vor der Einlassung der Tränkungsflüssigkeit nicht leer gepumpt wird.

Ein auf diesem Grundsatz beruhendes Verfahren, welches bis zur Entwicklung der jetzt vorwiegend gebrauchten Tränkungsverfahren die größte Verbreitung hatte, und welches man noch heute auf manchen Bahnen antrifft, ist das auf Anwendung einer wässrigen Lösung von Chlorzink beruhende. So vorzüglich die fäulnishindernden Eigenschaften des Chlorzinkes auch sind, so kann dieses Mittel die Schwellen doch auf die Dauer nicht schützen, da es verhältnismäßig schneller Auslaugung unterworfen ist. Dazu kommt, daß die Neigung des Chlorzinkes, Wasser aufzusaugen, die das Holz in nassem Zustande erhält, die Widerstandsfähigkeit der Schwellen gegen die mechanische Abnutzung erheblich vermindert. Die Verwendung von Chlorzink empfiehlt sich ferner aus dem Grunde nicht, weil es nur in stark verdünntem Zustande zu Tränkungs Zwecken benutzt werden kann, und weil dem Holze daher mit dem Mittel große Mengen Wasser zugeführt werden müssen, welche bei ihrer Verdunstung Chlorzinkteile mit sich nehmen und neue Feuchtigkeitsaufnahme

begünstigende Hohlräume im Holze schaffen, ein Vorgang, der sich in der Folge ständig wiederholt; daher werden die Schwellen nach und nach immer ärmer an Chlorzink und in demselben Maße weniger widerstandsfähig gegen Fäulnis. Außerdem wirkt die freie Säure, deren nachträgliche Entwicklung sich nicht vermeiden läßt, zerstörend auf die Holzfasern ein, besonders an den mit Eisen in Berührung kommenden Stellen, also an den am meisten beanspruchten Schienenauflageflächen. Diese schwerwiegenden Nachteile haben bewirkt, daß das Zinkchloridverfahren heute nur noch in sehr beschränktem Maße in Gebrauch ist, vereinzelt für Telegraphenstangen und für Schwellen nur da, wo der billige Preis in großen Mengen zur Verfügung stehender Weichholzschnellen die Heranziehung eines billigen Verfahrens begründet.

Um den mit der alleinigen Verwendung von Chlorzink zur Tränkung verbundenen Mifsständen zu begegnen, hat man der Chlorzinklauge karbolsäurehaltiges Teeröl zugesetzt, um insbesondere die Weichholzschnellen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und gegen das Auslaugen des Chlorzinks zu schützen. Man bezeichnet dieses Verfahren als »Gemischtränkung«.

Das karbolsäurehaltige Teeröl besteht hauptsächlich aus schweren Ölen, welche, weder flüchtig noch im Wasser löslich, die Holzporen verstopfen und so um die Schnellen einen gegen das Eindringen und den Bestand von Fäulnisregnern schützenden Mantel bilden. In den Teersäuren und im Naphtalin besitzt das Teeröl hochgradig fäulniswidrige Bestandteile, die die Eiweißstoffe des Pflanzensaftes zum Gerinnen bringen, vorhandene Keime töten und der Bildung neuer den Boden entziehen.

Trotz solcher Vorzüge des Teeröles hat man davon abgesehen, es statt des Gemischverfahrens für die Weichholzschnellen ausschließlich oder als Zusatz in größerer Menge zu verwenden, hat vielmehr die Beimischung von Teeröl auf 2 kg für eine gewöhnliche Schwelle beschränkt, weil ein größerer Zusatz oder gar eine vollständige Durchtränkung mit dem verhältnismäßig teureren Teeröle mit Rücksicht auf den billigen Preis der Weichholzschnellen in wirtschaftlicher Hinsicht nicht gerechtfertigt gewesen wäre und diese, die doch in Folge mechanischer Abnutzung früher zu Grunde gehen, als durch Fäulnis, unverhältnismäßig verteuert hätte. Daß mit einem Zusatze von 2 kg für die Schwelle nicht dieselbe Wirkung erzielt werden kann, wie mit vollständiger Teeröl-Tränkung liegt auf der Hand. Der Teerölmantel ist zu wenig dicht, als daß er nicht beim Aufnageln der Schienen und Einbetten der Schnellen in den Bahnkörper und durch Verdunstung in manchen Fällen durchlöchert würde; das in solchen Fällen nur durch Chlorzink geschützte Holz ist dann bis zu einem gewissen Grade wieder denselben Gefahren ausgesetzt, die für das Aufgeben des Zinkchloridverfahrens bestimmend waren, auch bleibt der Mifsstand der großen Wasserzufuhr bei der Tränkung bestehen. Immerhin waren die mit der Gemischtränkung erzielten Ergebnisse sehr zufriedenstellende.

Die unübertroffenen Eigenschaften des karbolsäurehaltigen Teeröles als Tränkungsmittel werden dagegen der Erhaltung von Hartholzschnellen in ergiebigster Weise nutzbar gemacht, indem man für diese Teeröl als alleiniges Tränkungsmittel

unter Durchtränkung des ganzen Holzkörpers bis zur überhaupt erreichbaren Tiefe verwendet, von dem Grundsatz ausgehend, daß dem höhern Werte und der höhern Widerstandsfähigkeit der Harthölzer gegen mechanische Abnutzung auch durch Erzielung eines höhern Grades von Schutz gegen Fäulnis Rechnung zu tragen sei.

Nach den Vorschriften der preussischen Staatsbahnen werden 11,5 kg Teeröl in eine eichene Schwelle von  $270 \times 26 \times 16$  cm, 36 kg in eine buchene eingeprefst. Um nun auch Weichholzschnellen die Vorteile vollständiger Durchtränkung mit Teeröl ohne Zusatz eines geringwertigern Mittels, besonders den der größern Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung zu verschaffen, ohne unwirtschaftlich zu werden, ist das Verfahren der Tränkung der Schnellen mit beschränkter Teerölaufnahme eingeführt, bei dem im Gegensatze zu der völligen Durchtränkung von Zellen, Poren und sonstigen Hohlräumen nur so viel Teeröl im Holze bleibt, als zum Auskleiden und Durchtränken der Zellenwandungen nötig ist. Bei den preussischen Staatsbahnen ist dieses Verfahren 1905 an die Stelle der Gemischtränkung getreten. In den Holztränkungswerken Himmelsbach in Freiburg, Baden, geschieht diese Tränkung folgendermaßen:

#### I. Tränkung der buchenen und eichenen Schnellen mit erwärmtem Teeröle, Volltränkung.

Nachdem das zur Tränkung bestimmte Holz in den Kessel gebracht und dieser luftdicht verschlossen ist, wird eine Luftverdünnung von mindestens 60 cm Quecksilbersäule hergestellt, 10 Minuten erhalten und nunmehr das vorgewärmte Teeröl unter anhaltender Luftverdünnung so hoch in den Kessel eingelassen, daß es nicht von der Luftpumpe übergesogen werden kann. Je nach dem Trockenheitsgrade des Holzes wird das Teeröl mit Unterbrechungen oder mit einem Male eingelassen.

Während und nach der Füllung wird das im Kessel befindliche Teeröl durch mindestens 3 Stunden bis auf  $105^{\circ}$  C., höchstens  $115^{\circ}$  C. erwärmt. Ist dieser Wärmegrad erreicht, so wird er mindestens weitere 60 Minuten ohne oder unter Luftverdünnung erhalten, je nachdem dies nötig erscheint, damit das Holz die erforderliche Menge Teeröl aufnimmt.

Sobald die Füllung des Kessels mit erwärmtem Teeröle beginnt, wird dieser mit einem Röhrenkühler in Verbindung gesetzt, der alle aus dem Holze entweichenden Wasserdämpfe niederschlägt und ableitet. Das Sammelgefäß ist mit einem Wasserstandsanzeiger versehen, an dem die Menge des aus dem Holze verdampften Wassers abzulesen ist.

Nachdem das Entziehen des Wassers aus dem Holze beendet ist, wird der Kessel vollends gefüllt und die Druckpumpe in Anwendung gebracht. Der Druck wird in der erforderlichen Höhe so lange unterhalten, bis die vorschriftsmäßige Aufnahme an Teeröl erreicht ist.

Nach der so vollendeten Tränkung des Holzes wird das Teeröl abgelassen.

#### II. Tränkung der kiefernen Schnellen mit beschränkter Teerölaufnahme.

Nachdem die Hölzer in den Kessel gebracht sind, wird dieser luftdicht verschlossen und so schnell wie möglich mit

vorher erwärmtem Teeröle bei geöffnetem Luftventile mittels Druckluft von geringerer Spannung gefüllt, sodafs vor und während der Füllung kein Überdruck im Kessel wirkt. Das Öl wird je nach den Umständen mehr oder weniger angewärmt und nötigen Falles im Kessel durch Dampf mittelbar warm gehalten, ohne dafs jedoch die Wärme des Öles 100° C. übersteigt.

Nach vollständiger Füllung des Kessels wird das Luftventil geschlossen und eine bestimmte, vorher genau abgemessene Menge Teeröl, die von der Beschaffenheit der zu tränkenden Hölzer, von der Jahreszeit und der Witterung abhängt, mit Überdruck in den Kessel nachgepfeft, und zwar so langsam, dafs im Kessel kein höherer Überdruck als 2,5 at entsteht. Hierauf wird der Kessel von Öl entleert, 15 Minuten unter 1,5 at Luftdruck gesetzt, dann auf 5 Minuten mit der freien Luft in Verbindung gebracht. Darauf wird das Luftventil wieder geschlossen und zum zweitenmale auf 15 Minuten ein Luftdruck von mindestens 1,5 at erzeugt. Die Luft wird während der zweimaligen Luftbehandlung mittelbar durch Dampf auf mindestens 50° C. erwärmt. Nach dem Ablassen des zweiten Luftdruckes ist die Tränkung beendet.

Zur Beurteilung des wirtschaftlichen Wertes der Holz-erhaltung dient die nachstehende Zusammenstellung.

H o l z a r t	Nicht getränkt	Getränkt mit		
		Chlorzink	Gemisch	Teeröl
Lebensdauer in Jahren				
Eiche . . . . .	12 bis 15	16	18 bis 20	25
Buche . . . . .	2 „ 3	5 bis 8	14 „ 16	30 bis 35
Kiefer oder Fichte . . . . .	5 „ 7	7 „ 12	13 „ 15	18 „ 20

Diese Näherungswerte lassen den Wert der Holztränkung im allgemeinen und den der einzelnen Tränkungsverfahren im Vergleiche miteinander erkennen; sie zeigen, dafs die Lebensdauer der Eichenschwellen durch zweckmäfsige Tränkung auf das doppelte, der Weichholzschnellen auf das dreifache und der Buchenschwellen auf das fünf- bis siebenfache gebracht werden kann. Mit Rücksicht auf diese Zahlen verdient die Verwendung der getränkten Buchenschwelle ganz besondere Beachtung.

Die französische Ostbahn hat mit deren Verwendung auf ihren Linien sehr gute Ergebnisse erzielt; in einem Zeitraum von 24 Jahren wurden

von den nicht getränkten Eichenschwellen . . . 67 %  
 von den mit Teeröl getränkten Eichenschwellen . 46 %  
 dagegen von den mit Teeröl getränkten Buchenschwellen nur . . . . . 12 %  
 ausgewechselt.

Das Ergebnis der neuesten Ermittlungen derselben Bahn beziffert die Zahl der nach 27 jähriger Verwendungsdauer noch im Gleise liegenden, mit Teeröl getränkten Buchenschwellen auf 80 %, während von ebenso behandelten Eichenschwellen nur noch 54 % nach 24 jähriger Verwendung betriebsfähig waren.

Auch die preussisch-hessischen Staatseisenbahnen haben in den letzten Jahren getränkte Buchenschwellen in grosser Zahl

verwendet; ebenso schenkt die Verwaltung der Reichseisenbahnen in Elsass-Lothringen den teerölgetränkten Buchenschwellen die grösste Beachtung.

Für grosse Tunnelstrecken wird die mit Teeröl getränkte Buchenschwelle bevorzugt, im Gotthard- und im Arlberg-Tunnel trat sie an die Stelle der eisernen. Auch im Simplon-Tunnel sind 20000 von Himmelsbach in Freiburg mit Teeröl getränkte Buchenschwellen verwendet. —k.

Schleef's Beseitigung der Stofsuge im Eisenbahngleise. \*)  
 (Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst 1906, Februar, S. 87.)

Hierzu Zeichnungen Abb. 13 bis 18 auf Tafel XL.

Schleef in Goslar will die Stofsuge dadurch beseitigen, dafs er etwa 200 m lange Teile eines Schienenstranges nach einem der bekannten Verfahren vergiefst, verschmilzt oder verschweift, diese Strecke in ihrer Mitte auf etwa zwölf Schwellen (Abb. 18, Taf. XL) mittels bekannter Mittel, Stemmwinkel, Keilverschlußklemmen u. s. w. gegen das Wandern festlegt, und an beiden Enden zum Längenausgleiche mit einer doppelten geraden Zungenvorrichtung versieht, für die die Fahrschienenenden entsprechend abgebogen werden (Abb. 13, Taf. XL); es ist das die Verdoppelung der jetzt fast allein noch üblichen Form des Schienenausuges vor beweglichen Brückenlagern, bei der das Zungenstück c festliegt und die abgebogenen Schienenenden in entsprechend schräg gestalteten Führungsplatten gleiten. Die Anordnung ist unseres Wissens zuerst 1889 im Oberbau der Forthbrücke für 300 mm Schienenauszug verwendet.

Gegen die Anordnung, die freilich die Stofslücke beseitigt, sind im wesentlichen wohl nur zwei Bedenken zu erheben, nämlich erstens, dafs das zarte und leichte Doppelzungenstück c nicht fest liegen und leicht verletzt werden wird, und zweitens, dafs man bei Verletzung einer Schiene immer gleich 200 m auswechseln, oder zwei Durchkreuzungen und Verschweifungen ausführen mufs, was beides für den Betrieb sehr störend wirkt. Den erstern Mangel könnte man durch Verlängerung des Zungenstückes heben, ob der zweite nicht grade durch die Lückenlosigkeit bis zur Unerheblichkeit abgemindert wird, bleibt abzuwarten.

Ein je 90 m langes Probestück ist im August 1905 seitens der Firma H. Goldschmidt in Essen auf den Mecklenburgischen Staatsbahnen in beiden Strängen eines Hauptgleises des Güterbahnhofes Schwerin ausgeführt, dieses soll sich dort gut gehalten haben. Mitten unter der Strecke liegen eine ganze Schwellenteilung einnehmende Betonklötze unter den Schienen mit nach oben gezahnten Platten, in die die gleichfalls gezahnten Ränder der Winkel-Stemmlaschen halslagerartig eingreifen. Die Schienen schweben frei über dieser Vorrichtung zur Verhinderung des Wanderns, so dafs keine Belastung eintritt und das Gleis keine Störung seiner Elastizität erhält.

Dafs mit diesen Mitteln ein wirklich stofsfreies Fahren zu erzielen ist, steht erfahrungsgemäfs fest, es würde sich wohl lohnen, durch ausgedehntere Versuche festzustellen, ob die angeführten Bedenken wirklich gewichtige und gegebenen Falles unüberwindlich sind.

\*) D. R. P. 165541.

## Maschinen- und Wagenwesen.

### Elroy-Zugbeleuchtung.

(Railroad Gazette 1906, Juni, Band XL, S. 590. Mit Abb.)

Hierzu Zeichnung Abb. 22 auf Tafel XL.

Die Ausrüstung der selbsttätigen elektrischen Elroy-Zugbeleuchtung enthält einen durch die Achse angetriebenen Stromerzeuger, einen selbsttätigen Regler für die Abstimmung des Erzeugers, für die Lampenspannung und die Ladung des Speichers, und einen Speicher.

Der Stromerzeuger ist eine vierpolige Nebenschlussmaschine und kann einen Speicher von 32 Zellen mit einer Leistung von 40 Ampere für sechs Stunden laden und zu gleicher Zeit 110 weißglühende Lampen von 8 Kerzen und 60 Volt speisen.

Die Spannung des Stromerzeugers wird durch einen Feldstromwiderstandsteller geregelt, welcher durch eine kleine doppelte, entgegengesetzt gewickelte Hauptstrom-Triebmaschine betätigt wird. Die Umdrehung der Triebmaschine wird gesteuert durch die vereinigte Wirkung zweier Solenoiden, welche gegen die Spannkraft einer Feder wirken. Das eine Solenoid ist eine Nebenschlusswicklung, welche mit den Leitungen des Stromerzeugers verbunden ist, das andere ist eine Hauptschlusswicklung im Stromkreise des Stromerzeugers und des Speichers. Wenn der Erzeuger Strom liefert, wirken diese beiden Wicklungen gemeinsam. Solange der Druck der Solenoiden der Spannkraft der Feder das Gleichgewicht hält, befindet sich der Arm des selbsttätigen Stromschliessers in der Mittellage, wobei der Stromkreis der Triebmaschine unterbrochen ist, und der Arm des Widerstandstellers bleibt stehen, bis eine Spannungsänderung des Erzeugers das Gleichgewicht zwischen dem Drucke der Feder und demjenigen des Solenoides aufhebt. Dann erhält die Triebmaschine wieder Strom und der Widerstandsteller wird so berichtigt, daß er die Spannung des Erzeugers auf den richtigen Wert bringt.

Der den Stromerzeuger und den Speicher verbindende Stromschliessler wird selbsttätig geöffnet, wenn die Spannung des Erzeugers derjenigen des Speichers gleich ist. Der Schluß erfolgt zwischen Leitungen gleicher Spannung, so daß kein Funken entsteht. Wird die Verbindung mit dem Speicher hergestellt, so ist der Spannungsunterschied an den verbundenen

Enden ebenfalls Null; Stromerzeuger und Speicher übernehmen also die Lampenbelastung ohne Schwanken der Lichter.

Der ganze nach dem Speicher fließende Strom geht durch die starke Hauptschlusswicklung des Solenoides; diese Wicklung wirkt, wie bemerkt, in Verbindung mit der Nebenschlusswicklung bei der Regelung der Spannung des Stromerzeugers. Falls ein starker Strom durch die Hauptschlusswicklung nach einem leeren Speicher geht, wird der verstärkte Druck auf den Kolben den Stromschliessler der Triebmaschine betätigen und im Felde des Erzeugers den Widerstand ausschalten, wodurch die Spannung vermindert und der Speicher vor zu starkem Stromwechsel geschützt wird. Wenn die Ladung des Speichers beinahe beendet ist, beansprucht die Spannungswicklung das Solenoid fast allein, nur ein sehr schwacher Strom geht durch die Hauptschlusswicklung. Die Hauptschluss- und Spannungs-Wicklung sind so eingerichtet, daß stets die passende Menge an Strom dem Speicher zufließt, diese Menge wechselt nach dem Zustande des Speichers. Diese Einrichtung ist wichtig für die Erhaltung und die Wirksamkeit des Speichers.

Die Lampenspannung wird geregelt durch einen unabhängigen Widerstandsteller, welcher durch eine andere Triebmaschine betätigt wird. Diese wird geregelt durch ein mit den Lampenleitungen verbundenes Solenoid und ist unabhängig davon, ob der Strom während der Fahrt vom Erzeuger, oder während des Haltens vom Speicher geliefert wird. Die Lampen können beliebig einzeln oder in Gruppen aus- und eingeschaltet werden, ohne die übrigen Lichter zu beeinträchtigen, da der Regler unmittelbar den Widerstand berichtigt, so daß zwischen den Enden der Lampenleitung die bestimmte Spannung erhalten bleibt. Die Regelung der Lampenspannung wird beständig innerhalb 1% des Durchschnittswertes erhalten.

Bei dieser Ausrüstung wird ein 30 zelliger Speicher verwendet, dessen Größe nach den Lampennummern wechselt. Da der Speicher zu derselben Zeit geladen werden kann, in welcher die Lampen unmittelbar von der Maschine gespeist werden, braucht kein großer Vorrat aufgenommen zu werden; ein Speicher, der die Lampenbelastung für fünf oder sechs Stunden aufnehmen kann, wird für alle Zwecke als völlig ausreichend erachtet.

B—s.

## Elektrische Eisenbahnen.

### Wirkungen eines Hagelwetters auf verschiedene Arten von Schutzvorrichtungen für Speiseschienen\*).

(Railroad Gazette 1906, April, Band XL, S. 384.)

Ein Übelstand beim Speiseschienenbetriebe ist die Bedeckung der Speiseschiene mit Schnee, Eis und Hagel, wodurch die Zuleitung des Stromes zu den Triebmaschinen erschwert wird. Während eines heftigen Schneesturmes am 9. Februar wurde eine Untersuchung mit einer elektrischen Lokomotive der Neu-York Zentral und Hudson-Fluß-Bahn vorgenommen, welche die Brauchbarkeit der Speiseschiene für untere Stromabnahme für den Betrieb bei solchem Wetter zeigte. Am 3. März boten

wechselnde Witterungsverhältnisse eine weitere Gelegenheit zum Vergleiche verschiedener Arten von Schutzvorrichtungen für Speiseschienen. Erst herrschte leichtes Regenwetter, dann folgte Hagel, dann wieder Regen bei einem Wärmestande von  $-2$  bis  $+0,5^{\circ}$  und Ostwind von 0,9 m/Sek. Geschwindigkeit. Das Hagelwetter begann um 9 Uhr vormittags und dauerte den ganzen Tag. Die Beschaffenheit des Hagels wechselte mit dem Wärmestande; die Dicke der Körner betrug durchschnittlich 6<sup>mm</sup>.

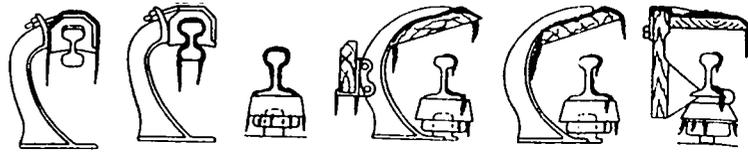
Es wurden zwei Speiseschienen für obere Stromabnahme untersucht, eine ungeschützte und eine mit Schutzvorrichtung versehene. Die ungeschützte Schiene wurde derart vom Hagel bedeckt, daß nach drei Stunden nicht mehr gefahren werden

\*) Organ 1905, S. 36.

konnte. Aber auch die mit Schutzvorrichtung versehene Schiene wurde auf den Strecken, wo der Wind an die Seite der Schiene gelangen konnte, an einzelnen Stellen vollständig vom Hagel bedeckt.

Bei der Speiseschiene für Stromabnahme von unten erstreckte sich die Untersuchung auf drei Arten von Schutzvorrichtungen, und durch jede dieser drei Arten wurde der Hagel von der Schiene ferngehalten. Damit ist die Überlegenheit der Speiseschiene für Stromabnahme von unten über diejenige für obere Stromabnahme bei solchem Wetter erwiesen.

Abb. 1.



Von den in Textabb. 1 dargestellten Zuleitungen haben also die vier letzten versagt, während die beiden ersten auch bei sehr ungünstigem Wetter betriebsfähig blieben. B—s.

## Technische Litteratur.

**Die physikalischen Institute der Universität Göttingen.** Festschrift im Anschlusse an die Einweihung der Neubauten am 9. Dezember 1905. Herausgegeben von der Göttinger Vereinigung zur Förderung der angewandten Physik und Mathematik. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1906.

Diese Darstellung der neuen physikalischen Institute Göttingens, nämlich des physikalischen Hauptinstituts, des Instituts für angewandte Elektrizität, für angewandte Mathematik und Mechanik, für physikalische Chemie und für Geophysik, nebst Beschreibung der Einweihungsfeier und einer Geschichte der Göttinger Vereinigung verdient allgemeinste Beachtung, denn die beschriebenen Anlagen sind Erfolge und äußere Zeichen einer neuen wissenschaftlichen Richtung, die in erster Linie von den Göttinger Vertretern der Naturwissenschaften ausgeht und durch die sich Göttingen vor den meisten deutschen Universitäten im Streben nach Nutzbarmachung der abstrakten Wissenschaft für Aufgaben des öffentlichen Lebens, vor den Universitäten des Auslandes aber mit ihren Schwestern in der Aufrechterhaltung wissenschaftlicher Vertiefung und Freiheit auch in der Anwendung der Wissenschaft auszeichnet.

Das Werk zeigt zugleich, eine wie weitgehende Würdigung diese den Bedürfnissen unserer Zeit Rechnung tragenden Bestrebungen auch bei der Staatsregierung findet, denn die aufgewendeten Mittel sind recht erhebliche und durchaus nicht nach dem Maßstabe der unmittelbaren Erzielung von greifbaren Gegenwerten, sondern im Sinne uneigennütziger Förderung der Wissenschaft bemessen. Universität und Staat haben sich hier schöne Denkmäler ersten und zielbewußten Strebens gesetzt, wir sind überzeugt, daß grade unser Leserkreis aus ihnen Befriedigung und reiche Anregung ziehen wird.

**Turbodynamos und verwandte Maschinen** von Dr. F. Niethammer, Professor für Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Brünn. Zürich 1906, F. Amberger vormals D. Bürkli. Preis 8 M.

Das Buch behandelt eingehend und unter Angabe der wichtigsten Zahl- und Maßangaben die in neuester Zeit so besonders wichtig gewordene, in der Litteratur aber noch spärlich behandelte Verbindung der Dampfturbine als Antrieb mit der Dynamomaschine als Stromerzeuger. Beide sind einander bezüglich der Notwendigkeit großer Umlauffzahlen nahe verwandt

und ergänzen sich in dieser Beziehung, wie auch des Raumbedürfnisses in höchst glücklicher Weise.

Da in neuerer Zeit wiederholt der Vorschlag auftaucht, Hauptbahnen in der Weise elektrisch zu betreiben, daß man Kessel, Kraftmaschinen und Stromerzeuger in einem besondern Fahrzeuge im Zuge mitnimmt und von da aus Einzelantriebe aller Achsen versorgt, diese Vereinigung aber mit den alten Formen der Kraftmaschine nach den vorliegenden Versuchen kaum zu erreichen sein wird, die Turbine nun wesentlich günstigere Grundlagen schafft, so hat dieser Gegenstand für unsern Leserkreis besondere Bedeutung.

**Zu den Fragen der einfachen, direkten und ökonomischen Dimensionierung von Betoneisenkonstruktionen und der nutzbaren Plattenbreite bei Verbundplattenbalken.** Von Privatdozent Dr. Karl Járny an der deutschen Technik in Prag. Sonderabdruck aus den »Technischen Blättern«. Prag 1906, Verlag des deutschen Polytechnischen Vereines in Böhmen.

In den Veröffentlichungen aus dem Gebiete des Eisenbetonbaues, deren große Zahl einen Beweis der Wichtigkeit des Gegenstandes liefert, und in denen noch wenig einheitliche Ordnung herrscht, ist es für den an dieser Bauweise Beteiligten nicht immer leicht, das Bedeutungsvolle zu erkennen, da die Hast, mit der der Gegenstand zur Zeit behandelt wird, unvermeidlich zu Wiederholungen und Zersplitterungen führt. Deshalb heben wir besonders hervor, daß sich die vorliegende Schrift außer der statischen Behandlung von Verbundkörpern überhaupt, die Untersuchung der wirtschaftlich besten Maß-Abstufungen und Verhältnisse und die Verfolgung der Scherspannungen in lotrechten Schnitten der Deckplatte entlang den Rippen von Verbund-Rippendecken zur Beurteilung der Wirkungsbreite der Deckplatte als Druckgurt als Ziele gesetzt hat. Beide sind noch verhältnismäßig wenig erschöpfend behandelt, die darauf bezüglichen Erörterungen verdienen besondere Beachtung.

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

Statistischer Bericht über den Betrieb der unter Königlich sächsischer Staatsbahnverwaltung stehenden Staats- und Privat-Eisenbahnen mit Nachrichten über Eisenbahn-Neubau im Jahre 1905. Herausgegeben vom Königlich sächsischen Finanz-Ministerium. Dresden.