

Schienenschweißungen bei der Reichsbahndirektion Nürnberg.

Von Reichsbahnoberrat Schönberger, Nürnberg.

Die Reichsbahndirektion Nürnberg hat unter Zustimmung der Gruppe Bayern im November 1924 eine größere Zahl von Stoßschweißungen an freiliegenden Vignolschienen nach dem aluminothermischen, sog. Goldschmidtschen Verfahren der Elektro-Thermit G. m. b. H., Berlin-Tempelhof ausgeführt. Es wurden insgesamt 172 Schweißungen unter Verwendung von 12 m langen Schienen der bayerischen Form IX auf Holzquerschwellen ($G = 34,87 \text{ kg/m}$) vorgenommen und damit elf lückenlose Gleisstücke von je 60 m Baulänge und je drei desgleichen zu 84 und zu 108 m Länge, somit zusammen 1236 m geschweißten Gleises hergestellt.

Vier Gleisstücke zu je 60 m Länge wurden sofort im Güterzugeinfahrtgleis Stein/Nürnberg Rbf. km 2,394 bis 2,634 eingebaut und werden seither täglich von 16 bis 26 schweren Güterzügen befahren. Dieser Teil der Schweißstrecke liegt z. T. in einer Geraden z. T. in einem Bogen von 500 m Halbmesser.

Geschweißst wurde neben dem Gleis unter Verwendung von Ersatzschienen. Von dem bestehenden Gleis wurden nur die Schienen entfernt; die Holzschwellen blieben zunächst unter Beibehaltung der alten Einteilung liegen; die Langschienen wurden eingerückt, eingebaut und gegen Schienenwanderung in jedem Gleisstück zunächst so viele Stützklemmen der Bauart Rambacher angebracht, als in den unverschweißten Stößen vorhanden waren. Diese Maßnahme erwies sich als unnötig, die Stützklemmen wurden deshalb später wieder entfernt. Die Schweißstellen blieben schwebend ohne unmittelbare Unterstützung durch eine Schwelle. Die 60 m langen Schweißfelder wurden in der Mitte dadurch verankert, daß an den vier Mittelschwellen beiderseits je vier Paar Stützklemmen angebracht wurden, die zwar die Bewegungen des Stoßes durch die dynamischen Kräfte der Fahrzeuge verhindern, aber die natürliche Längenänderung infolge der Wärmeschwankungen nicht beeinflussen sollten. Besondere Vorkehrungen für den Wärmeausgleich wurden vorerst nicht getroffen. Die zwei aneinanderstoßenden Langschienen wurden vielmehr nach den Regelplänen verlascht. Die Schienenlöcher ließen eine Längenänderung von 20 mm zu. Es wurde also damit gerechnet, daß das Gleis Druck- und Zugspannungen bei den höchsten und niedrigsten Temperaturen aufnehmen würde. Die Annahme erwies sich als richtig; es traten während der Versuchszeit keine schädlichen Wirkungen ein und namentlich im Sommer 1925 wurde auch die Gegenprobe geliefert und das Gleis durch den Einbau von behelfsmäßigen Ausdehnungsstößen mit 50 mm Auszugslänge entspannt.

Das Gleis liegt auf einer Dammstrecke und ist jederzeit der Sonnenbestrahlung ausgesetzt. Die Gleisbettung besteht aus lockerem Flusksies, ein Bettungsstoff, der mangels einer entsprechenden Verspannung seiner Einzelteile, sowohl hinsichtlich der Druckübertragung auf den Untergrund, als auch hinsichtlich des Widerstandes gegen die Schienenwanderung und gegen seitliche Verdrückungen für den Versuch recht

ungünstige Verhältnisse brachte. Eine Schienenwanderung wurde trotzdem bis jetzt nicht beobachtet.

Die weiterhin vorhandenen geschweißten Langschienen wurden zur Beobachtung ihrer Längenausdehnung zunächst seitlich aufgelegt, und erst in den heißesten Tagen dieses Sommers derart eingebaut, daß an die im Herbst 1924 verlegten vier Schweißfelder zu je 60 m weitere sieben Felder von gleicher Länge angeschlossen wurden. Nach diesen folgen drei Felder zu je 84 und drei zu je 108 m Länge; die vier Mittelschwellen sämtlicher Schweißfelder sind wie bei den im November 1924 verlegten Langschienen mit je acht Stützklemmen verankert. Um die Längenänderung der Schienen zu ermöglichen, wurden fünf Ausdehnungsstöße mit 50 mm Auszug eingebaut und beiderseits mit den Langschienen verschweißst. Die Ausziehstöße wurden angeordnet:

1. Am Beginn und Ende der Versuchsstrecke.
2. Nach den elf Stück 60 m-Schweißfeldern.
3. Nach zwei 84 m-Feldern.
4. Nach einem weiteren 84- und einem 108 m-Feld.

Die übrigen Langschienen sind unter sich in der gewöhnlichen Weise verlascht.

Die Ausdehnungsstöße wurden in verschiedenen Ausführungen geprobt. Am besten hat sich bis jetzt die Anordnung nach Abb. 1 bewährt. Es ist aber auch noch ein Vorschlag der Firma H. Hesse G. m. b. H., Berlin-Rosenthal zur Erprobung in Aussicht genommen.

Im November 1925 wurden in der 1236 m langen Versuchsstrecke bei $+10^\circ\text{C}$ mittlere Temperatur die Temperaturlücken in der Weise geregelt, daß die gewöhnlichen Laschenstöße wie auch die Ausziehstöße genau auf die Hälfte ihres Auszuges eingestellt wurden, wobei als Grenzen der Wärmeschwankungen -20° und $+40^\circ\text{C}$ angenommen sind. Für jeden Grad Wärmeunterschied ändert sich die Lückenweite bei den

60 m-Schienen um 0,66 mm

84 » » » 0,92 »

108 » » » 1,18 »

Es ist hierbei mit der für Eisenstahl praktisch und wissenschaftlich feststehenden mittleren Längenausdehnungszahl $\alpha = 0,000011$ (± 5) gerechnet. Die an den gewöhnlichen Laschenstößen und an den Ausdehnungsstößen größtmöglichen Temperaturfugen entsprechen etwa der halben theoretischen Größe der Längenausdehnung der geschweißten Schienen.

Die Versuchsstrecke wurde gegen die Übertragung von Wandererscheinungen aus dem anliegenden Gleis dadurch gesichert, daß beiderseits der Versuchsstrecke auf etwa 20 m Länge sämtliche Schwellen der anschließenden Laschenstöße mit je ein Paar beiderseits wirkenden Rambacher Stützklemmen versehen und außerdem die an die Endfelder anschließenden verlaschten Gleisstöße durch Steinwürfel fest verankert wurden. Für die Beobachtung etwa eintretender Wanderungen der Schienenmitten

Auf die Nachricht am Schluß des Heftes betreffend Ergänzungsband des Organs über die Arbeiten des Technischen Ausschusses in der Frage der selbsttätigen durchgehenden Güterzugbremse wird hingewiesen.

oder von seitlichen Verdrückungen sind besondere Vorkehrungen getroffen.

Bei der endgültigen Regelung der Versuchsstrecke wurde an jedem Schweißstofs je eine Schwelle herausgenommen und die regelmässige Schwelleneinteilung durchgeführt.

Aufser den Schienenstöfen wurden noch einige Übergangsstöße während des Betriebes im Gleis geschweisft. Diese haben sich voll bewährt, durch den Entfall der Laschenbrüche und der ständigen Auswechslungs- und Nacharbeiten an den Übergangsstößen wurden schon viele Kosten erspart.

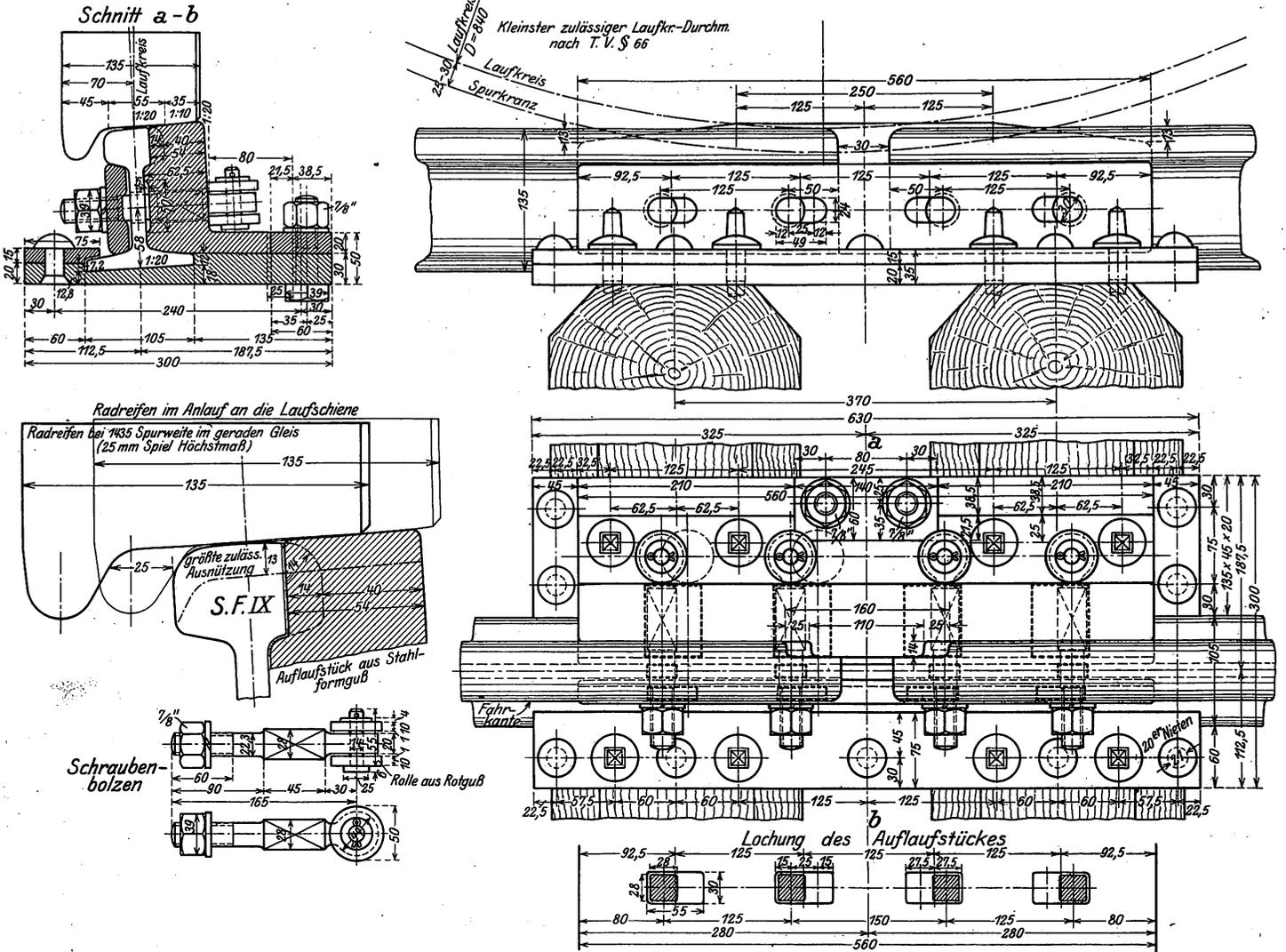


Abb. 1.

Die Versuchsstrecke (Abb. 2) liegt in dem mittleren von drei Güterzugeinfahrtgleisen, deren Verkehrsbelastung nicht sehr wesentlich voneinander abweicht. Das Gleis rechts hat Eisenquerschwellen-Oberbau derselben Schienenform und liegt in Kalkschotter. Das Gleis links hat Holzquerschwellen-Oberbau und liegt wie die Versuchsstrecke in Flusks Kies. Es ist beabsichtigt, auch noch das Eisenquerschwellengleis zu schweisfen und dann für diese drei Gleise Beobachtungen über den jährlichen Unterhaltungsaufwand zu machen.

Weiters werden mit Genehmigung der Gruppe Bayern in verschiedenen weiteren Gleisen des Rangierbahnhofs Nürnberg namentlich in den Ablaufgleisen Schweisfungen in grösserem Umfang durchgeführt, durch die der Laufwiderstand gemindert und der selbsttätige Ablaufbetrieb günstig beeinflusst werden soll. Auch in diesen Strecken wird der Unterhaltungsaufwand beobachtet werden.

Bisher zeigte sich, dass die Versuchsstrecke sich ruhig befährt, dass die seitlichen Schwankungen und Schlingerbewegungen der Fahrzeuge entfallen, der Zug fast geräuschlos auf den Langschienen dahinfährt und selbst die noch verbleibenden Laschenstöfe wenigstens bei der Güterzugsgeschwindigkeit nur noch wenig zur Wirkung kommen.

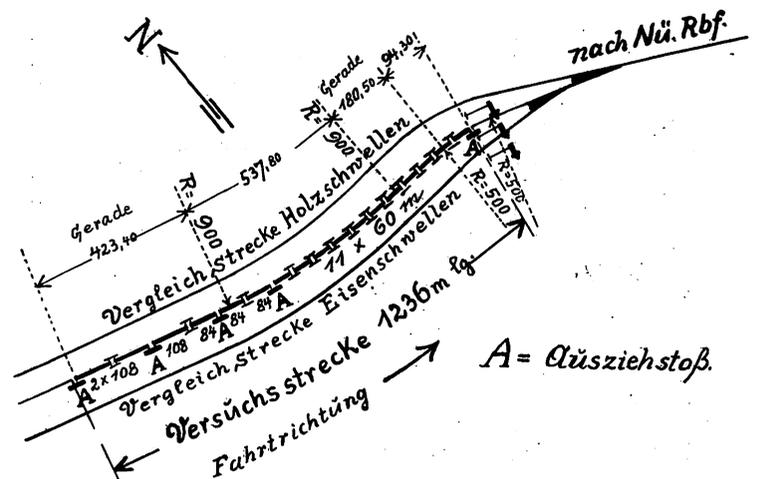


Abb. 2.

Um nachzuweisen, welchen Einfluss die Weissgluthitze und die chemischen Vorgänge der Thermitschweisfung auf die Zusammensetzung und das Gefüge des Schienenstahles ausüben,

und um ferner eine Gewähr zu haben, daß der geschweißte Schienenstofs auch vollständig betriebssicher ist, wurden mit einer 12 m langen gleichartigen Schiene bayerischer Form IX, wie sie bei den Stofsschweißungen verwendet wurde, verschiedene Proben angestellt.

1. Zerreißprobe.

Es wurde aus dem Schienenkopf einer geschweißten Schiene ein Zerreißstab auf kaltem Wege herausgearbeitet und gleichzeitig aus einer nicht geschweißten Schiene gleicher Herkunft ein entsprechender Stab hergestellt und beide der Zerreißung unterworfen. Die nachstehende Zusammenstellung zeigt das Ergebnis.

Zerreißversuche						
Durchmesser oder Dicke des Probestabes	Querschnitt	Entfernung der Körner	Bruchbelastung	Belastung auf das qmm des ursprünglichen Querschn.	Dehnung in % der ursprünglichen Entfernung der Körner	Bemerkungen
mm	qmm	mm	kg	kg		
Schweißstofs						
25,0 Ø	490,9	200	25600	52,15	4	Bruch in der Schweißnaht
Ursprüngliche Schiene:						
19,8	307,9	200	18200	59,11	13	

Nach diesen Zahlen lag die Zerreißfestigkeit der ursprünglichen Schiene nur 7 kg/qmm höher als beim Schweißstofs. Es entspricht jedoch auch die Zugfestigkeit des Schweißstofs noch der für gewalzten Flußstahl von Sondergüte geforderten Festigkeit (44 bis 52 kg/qmm).

2. Kugeldruckproben.

Diese sind nach Maßgabe der folgenden Skizze (Abb. 3) auf der Fahrfläche der geschweißten Schiene vorgenommen. Sie zeigen, daß die Kugeldruckhärte des Schweißstofs nur an der Übergangzone (55 mm beiderseits der Schweißfuge) unwesentlich geringer ist als bei der ursprünglichen Schiene.

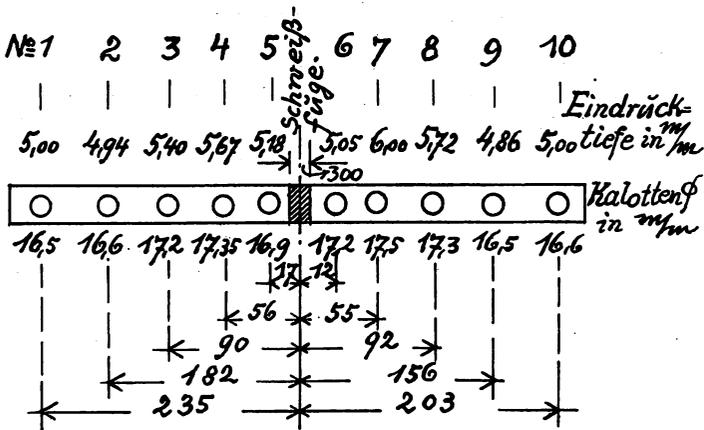


Abb. 3.

3. Ätzproben.

Die folgenden Abbildungen (4 bis 9) sind vierzigfach vergrößerte (im Bilde auf 3/4 des photographischen Originals verkleinert) mikrophotographische Aufnahmen eines mit vierprozentiger, alkoholischer Salpetersäure geätzten Schweißstofs, die zur Feststellung des Einflusses der Schweißung, sowie der chemischen Einwirkung auf das Gefüge der Schienen hergestellt sind. Beachtenswert ist die erhebliche Veränderung des Gefüges

des Schienenstahles innerhalb der stark erhitzten Schweißzone, sowie die scharfe Abgrenzung des Überganges (siehe Abb. 8). Bei den unter 5 beschriebenen Schlagversuchen sind an dieser Stelle die Brüche entstanden.

4. Biege- und Bruchproben (Versuch 1).

Es wurde eine alte Schiene der Form IX mit den aus Abb. 10 ersichtlichen Abmessungen, die nach dem aluminothermischen kombinierten Verfahren mit Vorwärmung geschweißst war, unter einer hydraulischen Presse bei 1 m freier Länge (Abb. 10) mit langsam wachsendem Druck zu Bruch gebracht und zwar wurde die Schiene zunächst bis zu einer Durchbiegung von 5 mm belastet, hierauf entlastet und die bleibende Durchbiegung festgestellt. Es erfolgte hierauf eine weitere Belastung bis zu 15 mm Durchbiegung, worauf wiederum eine Entlastung und Messung der bleibenden Durchbiegung erfolgte. Hierauf wurde die Belastung bis zum Bruch fortgesetzt. Die Ergebnisse sind in folgender Übersicht zusammengestellt:

Gesamtdruck in kg	Elastische Durchbiegung mm	Bleibende Durchbiegung mm	Bruchspannung $k = \frac{P}{4} \cdot \frac{1}{W}$ kg/qcm	Bemerkungen
25400	4	—	4970	
33800	5	1	5420	
36600	7	—	5870	Keine Risse, strahlenförmige Flußfiguren im Fuß und Steg neben dem Umgufs
45000	15	14,5	7200	
45000	20	—	7200	Kopfrifs
48000	22	—	7700	

Der Bruch verlief durch die Schweißnaht bis etwa Mitte Steg. Hierauf wurde die Schiene umgedreht und der Druck auf den Schienenkopf ausgeübt, bis der Bruch bei einer Belastung von 52000 kg in der Mitte der Schiene erfolgte. Bruchbelastung $k = 8300$ kg/qcm.

Versuch 2.

Schweißung wie voriger Stofs ungeglüht. Der Stauchwulst und das hervorstehende Schweißblech waren an der Lauffläche abgearbeitet, der Versuch erfolgte im übrigen unter denselben Bedingungen wie bei 1. Die Ergebnisse waren:

Gesamtdruck in kg	Elastische Durchbiegung mm	Bleibende Durchbiegung mm	Bruchspannung $k = \frac{P}{4} \cdot \frac{1}{W}$ kg/qcm	Bemerkungen
8450	1	—	1350	
36690	5	3	5870	
33800	6	—	5420	vollständiger Bruch
42200	14	11	6750	
43700	17	—	7000	

Die bei den obigen Versuchen für den Schweißstofs erreichten Bruchspannungen überschreiten die für gewalzten Flußstahl vorgeschriebenen Mindestbeanspruchungen von 4500 kg/qcm beträchtlich. Der Schweißstofs entspricht also in dieser Beziehung den Anforderungen.

5. Schlagproben.

Es wurden mit zwei aluminothermisch geschweißten Schienenstücken Schlagversuche ausgeführt. Die Versuchsanordnung geht aus Abb. 11 hervor. Das Ergebnis zeigt die folgende Zusammenstellung Seite 481.

Mikrophotographische Aufnahmen eines thermit-geschweißten Schienenstosses bayrische Form IX zur Feststellung des Einflusses der Schweißung (thermische Behandlung) sowie der chemischen Einwirkung auf das Gefüge der Schiene.
Die Originalaufnahmen haben 40fache Vergrößerung.

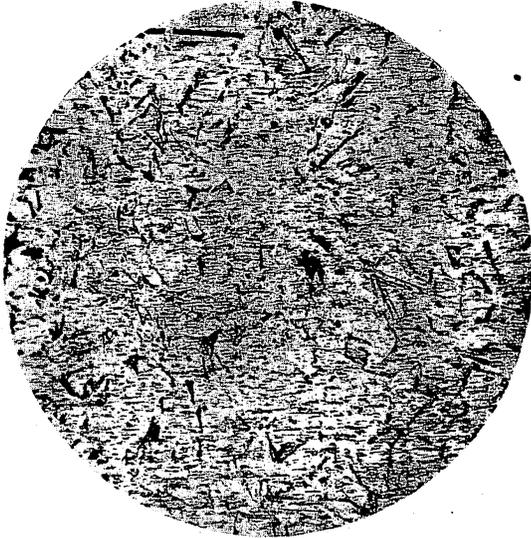


Abb. 4. Schweißblechmitte.
(Ferrit mit eingesprengten Perlitkörnern.)

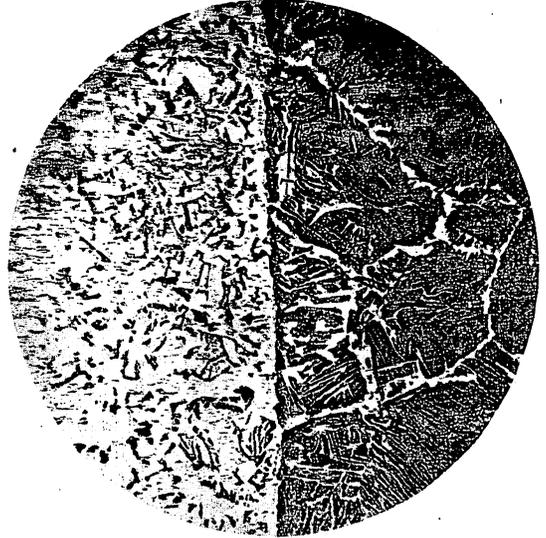


Abb. 5. Schweißfuge.
(Verdichtung der Ferritadern an der Fuge.)

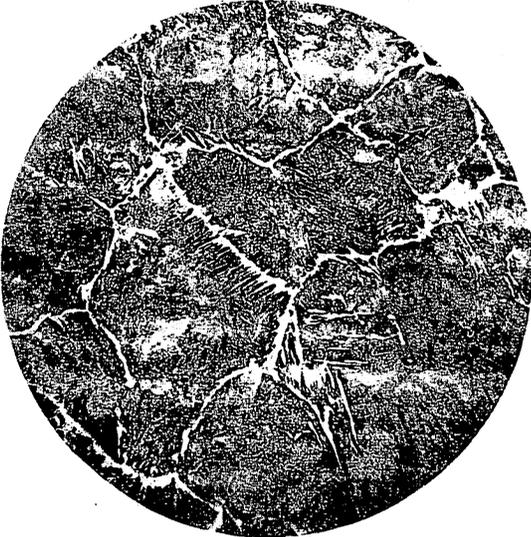


Abb. 6. Schweißzone in 11 mm Entfernung von der Schweißfuge.
(Grobe Perlitkörner von Ferritadern umzogen, stark erhitzt.)

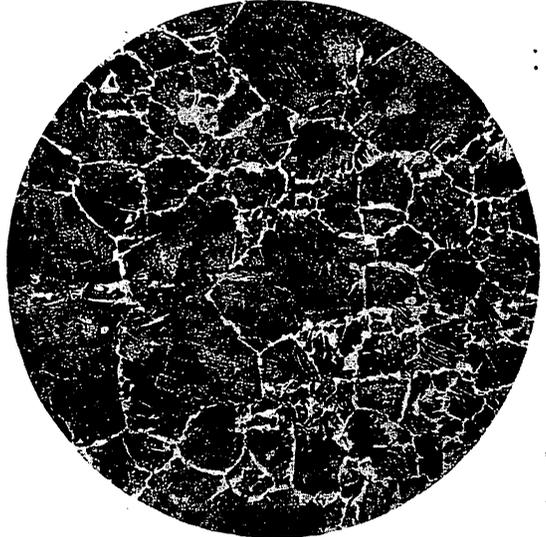


Abb. 7. Schweißzone in 32 mm Entfernung von der Schweißfuge.
(Unregelmäßig gestaltete Perlitkörner von Ferritadern umspannt.)

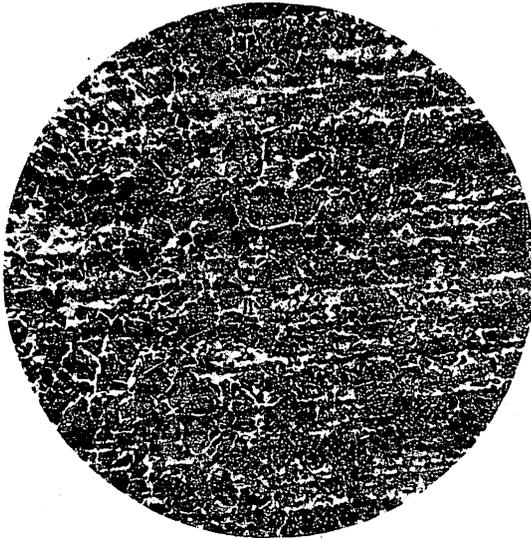


Abb. 8. Übergang in 65 mm Entfernung von der Schweißfuge. (An der Fließgrenze gegen die Schweißzone unregelmäßiges Korn, auf der anderen Seite Walzzeilenbildung des ursprünglichen Gefüges.)



Abb. 9. Ursprüngliches Schienengefüge in 175 mm Entfernung von der Schweißfuge. (Zeilenbildung im Perlitgefüge, ziemlich grobes Korn.)

Auf- lager- ent- fernung m	Fall- gewicht G kg	Fall- höhe = h m	Schlag- moment kg/m	Durchbiegung nach dem Schläge in mm							Bemerkungen
				1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	

Versuch 3.

1,00	100	2	200	0	—	—	—	—	—	—	—
1,00	100	4	400	—	2,5	—	—	—	—	—	—
1,00	100	4,5	450	—	—	5,5	—	—	—	—	—
1,00	100	5,5	550	—	—	—	10	—	—	—	—
1,00	100	5,5	550	—	—	—	—	13	—	—	—
1,00	100	5,5	550	—	—	—	—	—	—	Bruch	—

Versuch 4.

1,00	100	2,00	200	keine Durchbiegung							Stofs wurde nach der Schweißung ausgeglüht
1,00	100	4,00	400	Bruch							

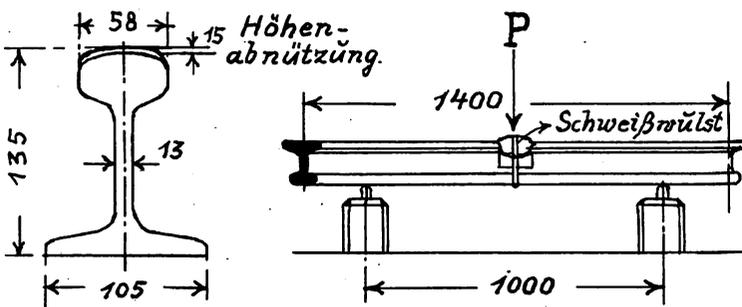


Abb. 10. Biege- und Bruchprobe mit einer Schiene Form IX.

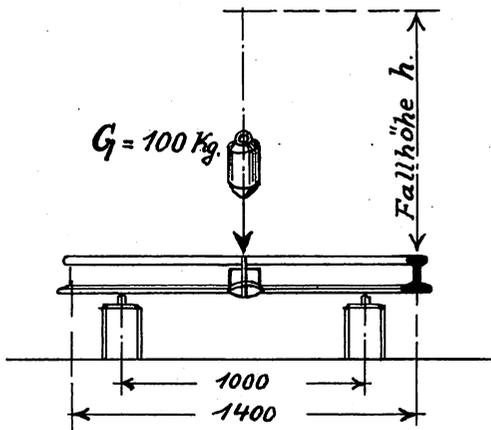


Abb. 11. Schlagprobe.

Die beiden Schlagproben haben den zur Zeit bestehenden Vorschriften für die Abnahme von Schienen nicht entsprochen. Für Schienen bayerisches Profil IX wird nach den Abnahmebedingungen vom August 1907 für den ersten Schlag ein Arbeitsmoment von 3000 kg.m verlangt und für die übrigen Schläge bis zur Erreichung der vorgeschriebenen Durchbiegung von 100 mm ein Schlagmoment von 1200 kg.

6. Verschleifsproben

wurden zur Feststellung des Abnutzungswiderstandes des Schweißstosses im Vergleich mit jenem der ursprünglichen Schiene nach dem Prüfverfahren von Oberbaurat Spindel, Innsbruck vorgenommen. Nach den mit der Spindelschen Prüfmaschine ermittelten Schaubildern (Abb. 12) ist die Verschleifsfestigkeit des Schweißstosses größer als jene der ursprünglichen Schiene, denn bei gleicher Verschleiftiefe (Ordinate der Eindringkurve) sind die Schleifzeiten beim

Schweißstofs größer als an der ursprünglichen Schiene (siehe Abb. 12, Schaubild 1 bis 6 und 7 bis 10). Die Versuche wurden mit einem geschweißten Übergangsstofs Form IX/X ausgeführt; sowohl Schiene Form IX wie X ergab dasselbe Bild.

Die Laboratoriums- und Werkstattversuche haben ergeben, daß der Schweißstofs die für Schienen vorgeschriebene Festigkeit aufweist, daß auch der Verschleifwiderstand zu Zweifeln keine Veranlassung gibt, daß er dagegen eine erheblich größere Sprödigkeit besitzt als die gewalzte Schiene, und deshalb gegen Schlagkräfte wesentlich empfindlicher ist als diese. Die bisherigen praktischen Erfahrungen im Betriebe geben aber keinen

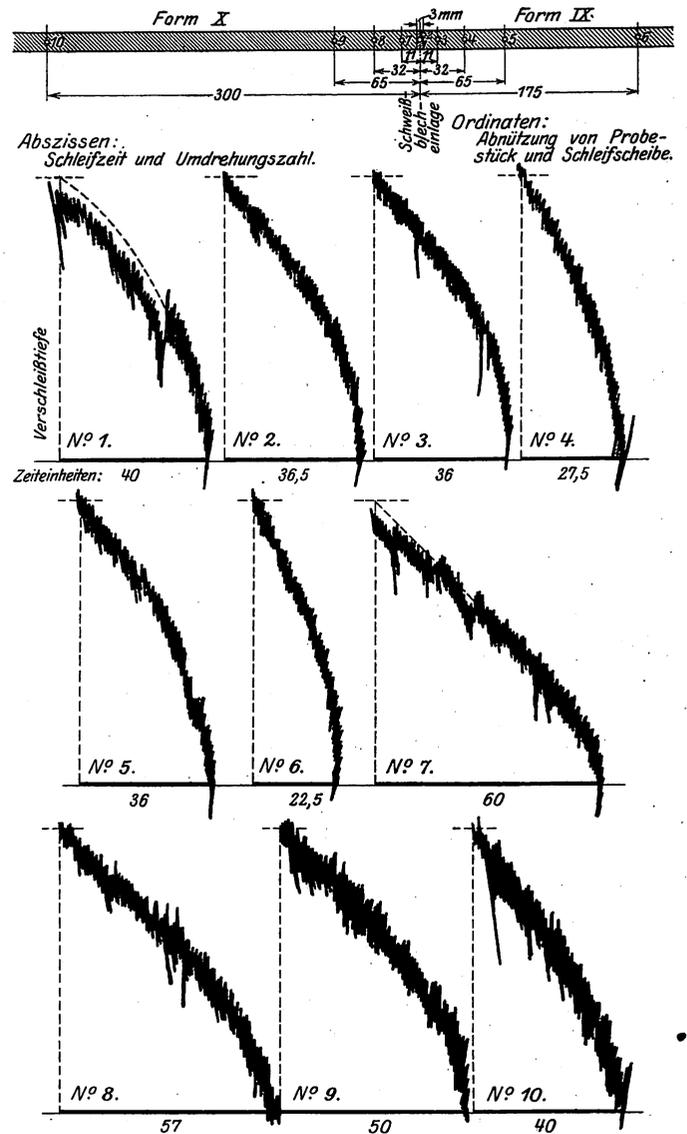


Abb. 12.

Anlaß zu der Annahme, daß der Schweißstofs den gerade durch die Verschweißung wesentlich geminderten Schlagbeanspruchungen des Betriebes nicht widerstehen sollte. Die schon vor Jahren ausgeführten Schienenschweißungen im Eisenbahngleis in Ungarn, in Mecklenburg und in der Schweiz haben sich seither bewährt (vergl. Aufsatz im Organ 1925, Heft 7, Seite 163), aber auch neuerliche Ausführungen bei der Reichsbahn, die den Beanspruchungen neuzeitlicher Betriebsmittel unterworfen sind, haben bisher zu keinen Beanstandungen geführt. Es ist hier neben den vorangeführten Nürnberger Schweißungen auf die Stoßschweißungen auf der Brücke in Steinau der Strecke Breslau—Glogau zu verweisen, die nunmehr

seit Mai 1923 in ununterbrochenem Betriebe liegen, sowie auf die Schweißungen von 116 Stößen im Schlüchterner Tunnel auf der Strecke Frankfurt—Bebra, die seit September 1924 einen überaus dichten und schweren Schnellzugverkehr aufgenommen haben, ohne Mängel zu zeigen.

Angesichts der nicht in vollen Einklang mit einander stehenden Ergebnisse in Laboratorium und Werkstatt einerseits und den Erfahrungen auf der Strecke andererseits entsteht die Frage, ob die in den Versuchen festgestellte geringe Widerstandsfähigkeit des Schweißstosfes gegen Schlagkräfte im Vergleich zur gewalzten Schiene den Ansprüchen des Betriebes genügt. Hierzu ist zu bemerken, daß rechnermäßig die Kraft der Schläge, welche von den Betriebsmitteln auf die Schienen ausgeübt werden, nicht zu erfassen ist, und es deshalb auch nicht möglich ist, auf Grund rechnermäßiger Betrachtungen Mindestforderungen für die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagkräfte aufzustellen. Man ist also hier lediglich auf die Erfahrungen im Betrieb angewiesen, wobei zu beachten ist, daß die stärksten Schläge auf die Schienen zweifellos an den Stoßlücken des Schienenstosfes ausgeübt werden und daß mit dem Fortfall dieser Lücken durch die Schweißung auch die Schlagwirkung auf die Schienen ganz erheblich verringert wird. Es hat hiernach den Anschein, als ob die Widerstandsfähigkeit des geschweißten Stosfes für die Betriebsbeanspruchungen genügt, aber die bisherigen guten Erfahrungen sind doch noch nicht umfangreich genug, um heute schon endgültig einen günstigen Schluß daraus zu ziehen. Ebenso ungerechtfertigt wäre es jedoch, etwa auf Grund der Werkstattversuche die Betriebstüchtigkeit des Schweißstosfes in Abrede zu stellen. Diese Frage kann und wird nur durch praktische Erprobung auf der Strecke beantwortet werden, wobei aber der Umfang der bisherigen Versuchsstrecken nicht genügen kann, um in absehbarer Zeit ein abschließendes Urteil zu gewinnen.

Da manche Veröffentlichungen über Schienenschweißungen Zweifel lassen über die Art der angewandten Schweißung möchte noch darauf aufmerksam zu machen sein, daß elektrisch geschweißte Stöße nur eine begrenzte Lebensdauer haben und deshalb jetzt auch bei Straßenbahnen nur noch dort angewandt werden, wo ein sonst schon abgenutztes Gleis noch eine bestimmte Zahl von Jahren durchgehalten werden soll. In Amerika wurde bisher nur elektrisch geschweißt. Wenn daher die im Organ 1925 Heft 16, Seite 326 erwähnten Schlagproben für Schienenstöße ungünstige Ergebnisse liefern sollten, so treffen diese sicher auf elektrisch geschweißte Schienenstöße. Ein Thermitstofs wurde bis jetzt durch die Schlagwirkungen des Betriebes nicht zum Bruche gebracht.

Bei dem Gedanken an weitere Versuchsschweißungen kann man nicht an der Frage vorbei, ob solche unter dem Gesichtspunkte der Betriebssicherheit zugelassen werden können, denn auch im Versuche darf naturgemäß der Betrieb nicht gefährdet werden. Eine Betriebsgefahr kann in zwei Richtungen gesehen werden: sie kann durch einen Schienenbruch oder durch eine Gleisverwerfung entstehen. Was die Gefährdung durch einen Schienenbruch betrifft, so sei darauf hingewiesen, daß nach der im Auftrage des Reichsverkehrsministeriums durch das Eisenbahn-Zentralamt bearbeiteten Statistik der im Betriebe befindlichen Eisenbahnen Deutschlands in den Rechnungsjahren 1920—1922 im ganzen 13232 Schienenbrüche gezählt und 7 Unfälle nachweisbar oder möglicherweise durch Schienenbrüche veranlaßt wurden, so daß auf rund 1900 Schienenbrüche eine Entgleisung treffen würde. Durch die gleiche Statistik ist auch nachgewiesen, daß die Zahl der Schienenbrüche ständig abnimmt und von 10814 im Jahre 1906 auf 4790 im Jahre 1922 zurückgegangen ist und daß gleicherweise auch die Zahl der Entgleisungen sinkt, die mit einem Schienenbruch in Verbindung gebracht werden können. Es muß bei derartigen Zahlen an-

genommen werden, daß die bei den Brüchen eingetretenen Entgleisungen nicht auf die Schienenbrüche allein, sondern auch auf andere Begleitumstände zurückzuführen sind und man kann annehmen, daß bei dem heutigen Oberbau unserer Reichsbahn auch eine gebrochene Schiene ohne jede Gefährdung von Zügen aller Art befahren werden kann. Trotzdem würde es verständlich sein, wenn Beamte im Gefühle ihrer großen Verantwortlichkeit Bedenken tragen, geschweißte Stöße in Schnellzuggleise einzubauen, weil bei einem etwaigen Unfall hier Menschenleben auf dem Spiele stehen. Ein Eisenbahnunglück auf solcher Strecke, auch wenn es in Wahrheit in gar keiner Beziehung zu der Schienenschweißung steht, könnte sehr leicht dem verantwortlichen Beamten zur Last gelegt werden. Diese Bedenken können aber nicht für Gütergleise auf Verschieb- bahnhöfen bestehen, woselbst in den allerungünstigsten Fällen einer Entgleisung nur Materialschaden in Frage kommt. Auch gibt es zahlreiche Güterzugstrecken, die einen so schweren und dichten Verkehr aufweisen, daß auch hier die Festigkeit und Widerstandsfähigkeit der Schweißstöße auf die denkbar härteste Probe gestellt werden kann. Wenn auf diese Weise Schritt für Schritt Erfahrungen gesammelt sind, kann auch zur Schienenschweißung auf Schnellzugstrecken übergegangen werden.

Was die Gefahr der Gleisverwerfung betrifft, so sind bisher Gleisverwerfungen überaus selten beobachtet, sie treten erfahrungsgemäß nur ein, wenn bei festgerosteten Laschen und sehr großer Wärme die Schwellen ungenügend eingedeckt liegen, was besonders bei unsachlich durchgeführter Unterhaltung vorkommen kann. In dieser Richtung müßte naturgemäß bei geschweißten Schienen mit erhöhter Vorsicht verfahren werden.

Nicht ganz mit Unrecht wird bei dem System der Stoßschweißung von Langschienen unter Zwischenschaltung verlaschter Stöße der Nachteil hervorgehoben, daß die wenigen verbleibenden Ausgleichstöße zeitweise eine so große Fuge aufweisen werden, daß hier alle Schäden des Laschenstosfes in erhöhtem Maße auftreten. Nach den bisherigen Vorschlägen sollen bei 60 m Langschienen an den zwischenliegenden Laschenstößen größte Stoßlücken von 20 mm durch entsprechende Ausgestaltung der Laschenlöcher zugelassen werden, so daß also bei tieferen Temperaturen achsiale Zugspannungen im Schienengestänge auftreten müssen, die durch die Laschenbolzen von Schiene zu Schiene übertragen werden. Die größte mögliche Stoßlücke von 20 mm ist nun ein Maß, das auch jetzt schon in Gleisen recht häufig anzutreffen ist und zu besonderen Beanstandungen nicht führt. Trotzdem wird zu prüfen sein, ob nicht für die zwischen den Langschienen verbleibenden Schienenstöße eine Stoßform zu wählen ist, welche eine Überbrückung der Stoßlücken gewährt. Man kann dabei an die Auflaschen (auch Stoßfanglaschen genannt) denken, die allerdings in Verbindung mit Stoßbrücken angewandt werden müßten, damit die ungünstige Knickbeanspruchung ausgeschaltet wird. Es erscheint auch sehr wohl möglich, durch geeignete neue Stoßverbindungen einen größeren Auszug an der Stoßstelle zu ermöglichen, was dann wieder die Anwendung noch größerer Schweißlängen zulässig machen würde.

Eine oft geäußerte Einwendung gegen die Einführung der Schweißung in größerem Maße richtet sich gegen die Schwierigkeit der Beseitigung etwaiger Schienenbrüche. Dieses Bedenken ist nicht gerechtfertigt. Für den Fall von Schienenbrüchen sind heute alle Bahnmeistereien mit Notlaschen versehen, mit denen sofort ein Schienenbruch, ohne Laschenlöcher bohren zu müssen, gedeckt werden kann. Genau die gleiche Vorrichtung kann beim Bruch von Schienen an der Schweißstelle benutzt werden mit der einzigen Änderung, daß die vorrätig zu haltenden Laschen eine kleine Kröpfung aufweisen müssen, mit der sie den stets gleich geformten Schweißwulst umfassen. Die endgültige Instandsetzung wäre so vorzunehmen, daß an

der Bruchstelle ein Schienenstück von einigen Metern Länge ausgeschnitten und ein Ersatzstück zunächst mit Laschenverbindung eingesetzt wird. Die Auswechslung kann, wenn zwei Schienensägen benutzt werden und die Laschenlöcher bereits vorher gebohrt sind, in einer halben Stunde erfolgen. Ist ein autogener Schneidapparat vorhanden, so kann diese Zeit noch erheblich unterschritten werden. In zwei folgenden Betriebspausen sind dann die beiden Laschenstöße nachträglich zu verschweißen.

Ein weiteres Bedenken gegen eine allgemeine Aufnahme der Schienenschweißung im Eisenbahnbau wird vielfach in den Schwierigkeiten gesehen, die bei Wiederverwendung abgenutzter Schienen in Strecken leichteren Betriebes entstehen können. Das bei den Reichsbahnen jetzt noch bestehende Bedürfnis wirtschaftlichster Ausnutzung des Schienenmaterials erfordert es, daß die Schienen entsprechend ihrer Abnutzung und Tragfähigkeit aus Gleisen schweren Betriebes in solche minder schweren, gegebenen Falles noch zum dritten Male, in Gleise noch leichteren Betriebes umgelegt werden. Es ist klar, daß geschweißte Schienen von 60 m Länge und mehr praktisch nicht verwendbar sind und zu diesem Zwecke zerschnitten werden müssen. Hierbei kann man nun entweder so verfahren, daß jede Schiene zwischen den Schweißstößen einmal geschnitten wird und die so gewonnenen Schienen von neuem verschweißt werden, wobei man in den umgelegten Gleisen die doppelte Zahl von Schweißstellen bekommt, oder man kann auch jeden Schweißstoß auf etwa 10 bis 15 cm herausschneiden, wobei dann alle Schienen eine entsprechende Verkürzung ihrer Länge erfahren.

Welches Verfahren bei der Umlegung geschweißter Gleise vorzuziehen wäre, läßt sich heute mangels Erfahrungen nicht bestimmt sagen. Wenn der Schweißstoß diejenige Festigkeit im Betriebe zeigt, die man bei umfassender Anwendung fordern muß, d. h. wenn Brüche zu den ganz seltenen Erscheinungen gehören, dann würde es auch ohne wesentlichen Belang sein, ob die Zahl der Schweißstellen sich durch die Gleisumlegung verdoppelt, denn der Schweißstoß verliert den Charakter des Schienenstoßes und verhält sich wie das durchgehende Gleis. Aber auch das Ausschneiden der Stöße unter Verkürzung der Schienen ist möglich. Allerdings würde eine solche Verkürzung der Schienen eine Abweichung von der normalen Schwellenteilung notwendig machen. Nachdem aber bereits Schienen der allerverschiedensten Längen in den Betriebsgleisen liegen, dürfte hierin ein besonderer Nachteil um so weniger zu sehen sein, als bei umfassender Verwendung der Schienenschweißung die Verkürzung der Schiene um ein ganz bestimmtes, in allen Fällen einzuhaltendes Maß auch zur Regel werden würde, und die so verkürzte Schiene in die Normen des Regelbaues aufzunehmen wäre.

Im übrigen geht das Streben dahin, möglichst wenig und möglichst leistungsfähige Formen zu verwenden und die früher gewählten zu leichten Formen auszubauen. Der neue Reichs- oberbau sieht auch schon für weniger wichtige Bahnen eine ziemlich kräftige Schienenform vor. Es ist deshalb anzunehmen, daß künftig die Wiederverwendung ausgebaute Schienen seltener wird und die einmal liegenden Schienen bis zum endgültigen Verschleiß ausgenutzt werden.

Was das Schneiden der Schienen anbetrifft, so darf diese Arbeit nicht überschätzt werden. Mit einer guten Handsäge können zwei Arbeiter in 20 Minuten eine Schiene durchsägen. Wiederholt sich aber diese Arbeit häufig im Betrieb, so lassen sich Motorsägen unschwer dafür ausbilden, ebenso, wie man auch mit einem autogenen Schneidapparat in wenigen Minuten die Trennung der Schienen bewirken kann. Eine schädliche Änderung des Materialgefüges an der Schnittstelle findet beim autogenen Schneiden nicht statt. Die angestellten Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Materialveränderung an

der Schnittfläche in achsialer Richtung der Schienen nur auf 1 mm Tiefe eintritt und schon deshalb nicht schädlich sein kann. Überdies wirkt sich diese Änderung des Materials nur in einer erhöhten Härte desselben aus.

Als ein besonders naheliegendes Anwendungsgebiet für die Schienenschweißung würden insbesondere in erster Zeit Gleise in Frage kommen, die aus Schnellzugstrecken ausgebaut und in Güterzugstrecken wieder eingebaut werden. Bei diesen Umbaustrecken fällt als besonderer Vorteil ins Gewicht, daß der Verschleiß der Schienen in den Laschenkammern, der bei jeder neuen Verlaschung die Güte des Stoßes sehr herabdrückt, beim Verschweißen gar keine Rolle spielt. Auch die verschiedene Abnutzung alter Schienen, die bei Neuverlegung mit Laschen immer zu kleinen Stufen im Stoß führt, ist bei der Verschweißung nicht nachteilig, weil es unschwer möglich ist, jeden Stoß so einzurichten, daß Fahrkante und obere Fahrfläche der aneinanderstoßenden Schienen bündig miteinander liegen. Diese Umstände bedingen, daß die Verschweißung bereits benutzter Schienen ein außerordentlich gutes Gleis herzustellen ermöglicht, während aus den vorgenannten Gründen die Verlaschung alter Gleise oft nur mangelhafte Stöße liefert. Es zeigt sich hiernach bei näherer Prüfung, daß die Stoßschweißung in bezug auf Materialausnutzung bei zweckentsprechender Organisation keinerlei Nachteile im Gefolge zu haben braucht, wohl aber bringt die Verschweißung alter Laschengleise ganz besondere technische Vorteile, die mit einer Verlaschung nicht erreichbar sind.

Es ist im Vorangehenden versucht worden, an Hand der bisherigen Versuche und Erfahrungen die wesentlichsten Einwände, die bisher gegenüber der Anwendung der Schienenschweißung bei den Reichsbahnen gemacht sind, kritisch zu prüfen. Man erkennt, daß mancherlei Zweifel noch zu klären und sicher noch sehr viele Erfahrungen zu sammeln sind, ehe ein abschließendes Urteil darüber gewonnen werden kann, welche Stellung der Schienenschweißung im Rahmen des Eisenbahngleisbaues einzuräumen ist. Aber andererseits sind weder die bisherigen Erfahrungen irgendwie entmutigend, noch sind die Bedenken, die man geltend machen kann, derart, daß sie nicht bei gutem Willen überwindbar scheinen.

Welch ungeheure Unterhaltungskosten der Laschenstoßes jahraus, jahrein erfordert, weist Reichsbahnoberrat Lauböck in seinem Aufsatz »Gleisbau und Gleisunterhaltung mit Eisenbetonrosten« in der Zeitschrift »Die Gleistechnik« Jahrgang 1925, Heft 8—12 nach. Wenn sich die Schienenschweißung im Betriebe bewährt, könnte sie berufen sein, diesen Ausgabe-posten der Reichsbahn bis auf ein Viertel seiner Höhe herabzudrücken, eine Möglichkeit, welche die umfassendste Prüfung der Frage in Theorie und Praxis geradezu kategorisch verlangt. Man wird aber in keinem Zweifel darüber sein, daß die bisherigen Versuche und praktischen Ausführungen der Schienenschweißung auch nicht annähernd umfangreich genug sind, um in irgendwie absehbarer Zeit ein hinreichend grosses Erfahrungsmaterial zu liefern, auf Grund dessen eine grundsätzliche Einführung oder Ablehnung der Schweißung in Frage kommen kann. Wenn daher eine an sich vielversprechende, in hohem Maße wirtschaftliche Neuerung nicht von vornherein derart gehemmt werden soll, dass sie in absehbarer Zeit sich nicht auswirken kann, oder womöglich, wie es so häufig das Schicksal deutscher Erfindungen war, erst über das Ausland zu uns zurückkehren soll, dann ist es notwendig, dass weitere Versuche gemacht werden. Geeignet für eine solche Probe ist jede längere Güterzugstrecke mit dichtem, schwerem Betrieb, der hohe Anforderungen an die Widerstandskraft des Gleises stellt. Dort wird nicht nur am ehesten beobachtet werden können, welche Schwierigkeiten sich u. U. für Neubau, Betrieb und Unterhaltung durch die Schweißung ergeben, sondern umgekehrt auch, welche Vorteile technischer und wirtschaftlicher

Art bei der Schweißung zu erwarten sind. In verhältnismäßig kurzer Zeit können dann bereits bestimmte Ergebnisse vorliegen, die die Grundlage für weitere Entschlüsse bilden können. Ebenso wird es empfehlenswert sein, bei der Umlegung

alter Gleise auf Strecken minderer Verkehrsbelastung die alten Schienen zu schweißen, um auch für diese im Eisenbahnbau sich besonders häufig wiederholenden Fälle die Vorteile der Schweißung durch Erfahrung festzustellen.

Wirtschaftlichere Gestaltung der Bahnunterhaltung durch Anwendung des Stampfverfahrens.

Von Reichsbahnrat Faatz, Ansbach.

Hierzu Tafel 35.

Durch die Einführung eines größeren Achsdruckes und der damit verbundenen Verstärkung der Schienen (Reichsoberbau) muß auch ein anderes tragendes Glied eine bedeutsame Verstärkung erfahren, das bisher weniger beachtet wurde, das ist die Bettung. Ich erinnere nur daran, daß weder die Druckrichtung von der Unterkante der Schwelle durch die Bettung auf die Unterbaukrone, noch die Größe der zulässigen Pressung auf die Unterbaukrone genauer festgelegt ist, wodurch sich naturgemäß Verschiedenheiten in der Bettungsstärke in den einzelnen Ländern ergeben. Es ist klar, daß je sorgsamer die Bettungsgestaltung ist, desto länger der Oberbau hält. Beide Glieder, Bettung und Schwellen mit Schienen, sind auf Gedeih und Verderb aufeinander angewiesen.

In der gestellten Aufgabe handelt es sich nun darum, ein wirtschaftliches Verhältnis der Stärke der Bettung zu dem neuen Achs- oder Raddruck festzulegen; denn die bisherige Bettungsstärke genügt dem neuen Raddruck nicht mehr; auch soll zugleich dem neuen Einbettungsverfahren nähergetreten werden. Die angestrebte Verstärkung der Bettung ist dringend erforderlich, um eine entsprechende Schonung des neuen in Einführung begriffenen Reichsoberbaues zu erreichen.

Nun kann diese Verstärkung neben andern Mitteln (z. B. durch Eisenbetonroste) in der Hauptsache auf verschiedene Art vorgenommen werden: entweder durch Vergrößerung der Bettungshöhe oder durch Schwellenmehrung, um eine bessere Druckverteilung zu erzielen, oder durch ein billigeres Mittel und zwar durch das in letzter Zeit eingeführte Stampfen der Bettung und der Unterbaukrone oder durch Anwendung der verschiedenen Mittel im Zusammenhange.

In der Bahnunterhaltung kannte man bisher nur das Kramp- oder Stopfverfahren, d. h. die Schwellen einer Gleisstrecke wurden sowohl beim Bau wie bei der Unterhaltung mit Stopfhacke oder Stopfmaschine durchgekrampft. Für diese Arbeit darf man für ein Gleis und für 1 km mindestens 100 Tagschichten annehmen. (Bei stärker befahrenen Gleisen nach Försters Taschenbuch, 2. Auflage, S. 1435, sogar noch bedeutend mehr.)

Gelingt es nun, diesen sehr erheblichen Arbeitsaufwand auf irgendwelche Art und Weise, wenn auch nur um ein geringes, herabzudrücken und wird trotzdem eine ruhige Gleislage erzielt, so wird damit bei der Größe des Netzes der Deutschen Reichsbahn (mehr als 50000 km) ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil erreicht. Es verlohnt sich daher, den im Gange befindlichen Versuchen, die Bettungssole zu dichten und die Bettung zu stampfen, rechnerisch näher zu treten, um auf Grund theoretischer Untersuchung in engster Fühlungnahme mit der Natur zu ermitteln, ob dieses Verfahren in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht dem bisherigen Krampverfahren gleichwertig oder überlegen ist, um damit entscheiden zu können, ob seiner Einführung größere wirtschaftliche Bedeutung beizumessen ist. Diese Untersuchung ist um so notwendiger, als bisher günstige Erfahrungen vorliegen.

Bevor auf die theoretische Untersuchung eingegangen wird, soll kurz das Verfahren geschildert werden. Vor Aufbringen der Bettung wird die Bettungssole gemäß der festgelegten Höhe und entsprechend dem Quergefälle mit ebenen, 30 bis 40 kg schweren Pufferscheiben gleichmäßig gestampft und soweit verdichtet, daß der Boden mit Sicherheit den von der

Bettung zu übertragenden Druck aufnehmen kann. Dann werden in Längsabständen von 2,5 bis 3,0 m die Höhen durch je zwei, farbig umringelte, in den Boden eingeschlagene Eisenstäbchen festgelegt und der einzubringende Schotter in Lagen bis zu höchstens 10 cm genügend gestampft (was nach ungefähr 3 Stampfschlägen an derselben Stelle erreicht wird), bis in Höhe von Schwellenunterkante ein ebenes Bett vorhanden ist. Durch Zuhilfenahme von Setzlatte und Libelle wird diese ebene Fläche unter allen Umständen erzielt. Sodann werden die vorher ausgesuchten, gleich hohen Schwellen, sowie die Schienen verlegt und die noch vorhandenen kleineren Gleisenbenheiten zuletzt durch Einbringen von Splitt oder Grus unter die Schwellen ausgeglichen.

Auf Grund dieser Arbeitsweise ist ein gleichmäßiges und sattes Aufliegen der Schwellen (vorerst immer Holzschwellen vorausgesetzt) gewährleistet, womit dann auch die theoretischen Voraussetzungen zu der nachstehend angestellten Berechnung erfüllt sind.

Eine Stampf-Versuchsstrecke dieser Art wurde in meinem Bezirk (Eisenbahn-Bauinspektion Ansbach) im Mai/Juni 1923 auf der Linie Treuchtlingen—Würzburg zwischen km 69 und 70 hergestellt. Der beigegebene Plan (Taf. 35) zeigt den Vergleich der Stofseinschläge zwischen Stampf- und Krampstrecke nach 15 monatiger Liegedauer. Hiernach ergibt sich, daß innerhalb desselben Zeitraumes fast doppelt so große Stofseinschläge bei der Krampstrecke als bei der Stampfstrecke unter den gleichen Verhältnissen sich gebildet haben. Dieser Umstand spricht sehr zugunsten des Stampfverfahrens, weil die Größe der Stofseinschläge als direktes Maß der aufzuwendenden Unterhaltungsarbeit angenommen werden darf. Bei der genannten Versuchsstrecke wurde ein Streifen von 50 cm in der Mitte des Gleises leichter gestampft, um ein Reiten der Schwellen zu verhüten; denn diese Bauweise in der Mitte ist erforderlich, um die durch das Stampfen erzielte Schotterverspannung nicht aufzuheben. Dieses Verfahren hat sich gut bewährt. Daß auf diese Verspannung großer Wert zu legen ist, ergibt sich daraus, daß bei der anschließenden Stampf-Versuchsstrecke mit nachher eingebauten Eisenbetonrosten an den Stößen die Stofseinschläge größer sind als bei der Versuchsstrecke ohne Roste. (Siehe ebenfalls Taf. 35).

Rechnerische Untersuchung der erzeugten Schwellenauflagerdrücke und der Schwellenbeanspruchung.

Nach dem bisherigen Krampverfahren, wonach die Schwellen hauptsächlich unter der Schiene gestopft wurden und somit ein gleichmäßiges Auflager der Schwellen auf der Bettung nicht gewährleistet ist, da die einzelnen untergekeilten Steine den Hauptdruck aufnahmen, konnte eine rechnerische Untersuchung der Druckverteilung nicht genau angestellt werden. Anders ist dies beim Stampfverfahren; denn hier ist die gleichmäßige Auflagerung der Schwelle als Rechnungsvoraussetzung fast einwandfrei gegeben.

Die Lösung wurde versucht auf Grund des Zimmermannschen Verfahrens (vgl. Föppl, Technische Mechanik, 3. Bd., S. 258 usw).

Rechnerische Unterlagen: Achsdruck 25 t; Raddruck 12,5 t; Stofsziffer 1,5.

1. Daher dynamischer Raddruck $12,5 \cdot 1,5 = 18,75 \text{ t} = G$. Dieser Raddruck G wirkt nicht nur auf die unter dem Rad

befindliche Schwelle, sondern verteilt sich auch auf die Nachbarschwellen. Die Schwelle unter dem Rad nimmt daher einen Höchstschiendruck auf von $P = \frac{G}{n}$; also nur einen Teil von G. Der Nenner n beträgt durchschnittlich 1,92, (siehe Verkehrstechnische Woche, Sonderausgabe März 1923, der Eisenbahnerbau S. 17). Damit ist P gegeben.

$$P = \frac{G}{n} = \frac{18,75}{1,92} = 9,765 \text{ t} \approx 10 \text{ t.}$$

2. Das Trägheitsmoment einer Schwelle I. Kl. nach Abb. 2 beträgt rund $\Theta = 7800 \text{ cm}^4$.

3. Als Bettungsziffer k wurde, da Versuche für gestampfte Strecken noch fehlen, die Zahl 10 angenommen; da k für Schotter auf festem Erdkörper nahezu schon 8 ist (siehe Vorschrift der ehemaligen Bayrischen Eisenbahnen für die Herstellung und Unterhaltung des Bahnoberbaues 1907, S. 12). k dürfte in Wirklichkeit sogar noch etwas höher sein; zur Sicherheit sei jedoch k = 10 gewählt.

4. Die Elastizitätszahl E für Kiefer und Fichte beträgt $E = 108000 \text{ kg/qcm}$ bzw. 111000 kg/qcm , für Eiche 100000 kg/qcm und für Buche $E = 128000 \text{ kg/qcm}$ auf Biegung, (siehe Förster, Taschenbuch für Bauingenieure, 2. Aufl. 1914, S. 520). Als Mittel sei $E = 100000 \text{ kg/qcm}$ gewählt.

5. p = Gegendruck in kg/cm Länge der Schwelle.

6. y = elastische Einsenkung in cm.

Mit diesen Angaben wurde nun die Rechnung durchgeführt.

Der Zusammenhang zwischen der elastischen Einsenkung y und dem Drucke p für die Längeneinheit der Schwelle ist durch die Gleichung

$$p = k \cdot y \cdot b \text{ gegeben . . . Gl. 1); } b = \text{Schwellenbreite.}$$

Die Differentialgleichung der elastischen Linie lautet:

$$E \Theta \cdot \frac{d^4 y}{dx^4} = -p = -k \cdot y \cdot b \text{ . . . Gl. 2)}$$

Die Lösung dieser Differentialgleichung lautet allgemein:

$$y = C_1 \cdot e^{ax} \cdot \cos ax + C_2 \cdot e^{ax} \cdot \sin ax + C_3 \cdot e^{-ax} \cdot \cos ax + C_4 \cdot e^{-ax} \cdot \sin ax \text{ Gl. 3)}$$

wobei C die willkürlichen Konstanten sind, während

$$a = \sqrt[4]{\frac{k \cdot b}{4 E \Theta}} \text{ Gl. 4)}$$

Es ergeben sich 8 Gleichungen mit 8 Unbekannten für die 2 Äste der elastischen Einsenkungslinie bis zur Mitte der Schwelle (s. Abb. 1) (4 Unbekannte für den 1. Ast der elastischen Einsenkung C_1, C_2, C_3 und C_4 und 4 Unbekannte für den 2. Ast der elastischen Einsenkung C_5, C_6, C_7 und C_8).

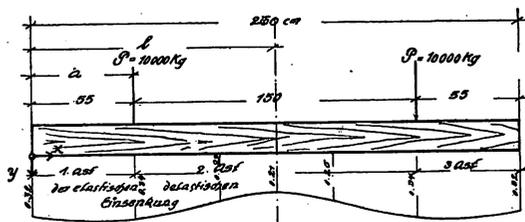


Abb. 1.

Die 8 Gleichungen lauten:

- 1'. $C_2 - C_4 = 0$
- 2'. $C_1 - C_2 - C_3 - C_4 = 0$
- 3'. $C_1 \cdot m_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3 + C_4 \cdot m_4 - C_5 \cdot m_1 - C_6 \cdot m_2 - C_7 \cdot m_3 - C_8 \cdot m_4 = 0$
- 4'. $C_1(m_1 - m_2) + C_2(m_1 + m_2) - C_3(m_3 + m_4) + C_4(m_3 - m_4) - C_5(m_1 - m_2) - C_6(m_1 + m_2) + C_7(m_3 + m_4) - C_8(m_3 - m_4) = 0$

$$5'. -C_1 \cdot m_2 + C_2 \cdot m_1 + C_3 \cdot m_4 - C_4 \cdot m_3 + C_5 \cdot m_2 - C_6 \cdot m_1 - C_7 \cdot m_4 + C_8 \cdot m_3 = 0$$

$$6'. (C_1 - C_5)(m_1 + m_2) + (C_6 - C_2)(m_1 - m_2) + (C_7 - C_3)(m_3 - m_4) + (C_8 - C_4)(m_3 + m_4) - \frac{P}{2a^3 E \Theta} = 0$$

$$7'. C_5(n_1 - n_2) + C_6(n_1 + n_2) - C_7(n_3 + n_4) + C_8(n_3 - n_4) = 0$$

$$8'. C_5(n_1 + n_2) + C_6(n_1 - n_2) + C_7(n_3 - n_4) + C_8(n_3 + n_4) = 0$$

wobei, wenn $a = 55 \text{ cm}$ ist (Aufsenkante Schwelle bis Last P)

$$a = \sqrt[4]{\frac{k \cdot b}{4 E \Theta}} = \sqrt[4]{\frac{10 \cdot 26}{4 \cdot 100000 \cdot 7800}} = 0,017$$

$$l = 130 \text{ cm (von Aufsenkante Schwelle bis Mitte Schwelle)}$$

$$e^{aa} \cdot \cos aa = m_1; \quad e^{aa} \cdot \sin aa = m_2;$$

$$e^{-aa} \cdot \cos aa = m_3 \text{ und } e^{-aa} \cdot \sin aa = m_4 \text{ ist, sowie}$$

$$e^{al} \cdot \cos al = n_1; \quad e^{al} \cdot \sin al = n_2;$$

$$e^{-al} \cdot \cos al = n_3 \text{ und } e^{-al} \cdot \sin al = n_4; \quad e = \text{Basis des natürlichen Logarithmus.}$$

Durch Einsetzen der entsprechenden Zahlenwerte ergibt sich:

$$m_1 = e^{0,017 \cdot 55} \cdot \cos 0,017 \cdot 55 = 1,512$$

$$m_2 = e^{0,017 \cdot 55} \cdot \sin 0,017 \cdot 55 = 2,047$$

$$m_3 = e^{-0,017 \cdot 55} \cdot \cos 0,017 \cdot 55 = 0,233$$

$$m_4 = e^{-0,017 \cdot 55} \cdot \sin 0,017 \cdot 55 = 0,316$$

$$n_1 = e^{0,017 \cdot 130} \cdot \cos 0,017 \cdot 130 = -5,433$$

$$n_2 = e^{0,017 \cdot 130} \cdot \sin 0,017 \cdot 130 = 7,298$$

$$n_3 = e^{-0,017 \cdot 130} \cdot \cos 0,017 \cdot 130 = -0,066$$

$$n_4 = e^{-0,017 \cdot 130} \cdot \sin 0,017 \cdot 130 = 0,088$$

ferner ist:

$$m_1 - m_2 = -0,535; \quad m_1 + m_2 = 3,559$$

$$m_3 + m_4 = 0,549; \quad m_3 - m_4 = -0,083$$

$$n_1 - n_2 = -12,731; \quad n_1 + n_2 = 1,865$$

$$n_3 + n_4 = 0,022; \quad n_3 - n_4 = -0,154$$

Der Zahlenwert $\frac{P}{2a^3 \cdot E \Theta}$ in Gleichgewicht 6'

$$\text{beträgt } \frac{P}{2 \cdot 0,017^3 \cdot E \Theta} = \frac{10000}{2 \cdot 0,017^3 \cdot 100000 \cdot 7800} = 1,305.$$

Durch Einsetzen der vorgenannten Zahlenwerte in die 8 Bestimmungsgleichungen ergeben sich die Unbekannten C_1 bis C_8 .

Nach Einsetzen der Zahlengrößen lauten die Bestimmungsgleichungen:

$$1'. C_1 - C_2 - C_3 - C_4 = 0$$

$$2'. C_2 - C_4 = 0$$

$$3'. 1,512 C_1 + 2,047 C_2 + 0,233 C_3 + 0,316 C_4 - 1,512 C_5 - 2,047 C_6 - 0,233 C_7 - 0,316 C_8 = 0$$

$$4'. 0,535 C_1 + 3,559 C_2 - 0,549 C_3 - 0,083 C_4 + 0,535 C_5 - 3,559 C_6 + 0,549 C_7 + 0,083 C_8 = 0$$

$$5'. 0,2047 C_1 + 1,512 C_2 + 0,316 C_3 - 0,233 C_4 + 2,047 C_5 - 1,512 C_6 - 0,316 C_7 + 0,233 C_8 = 0$$

$$6'. 3,559 C_1 + 0,535 C_2 + 0,083 C_3 - 0,549 C_4 - 3,559 C_5 - 0,535 C_6 - 0,083 C_7 + 0,549 C_8 - 1,305 = 0$$

$$7'. -12,731 C_5 + 1,865 C_6 - 0,022 C_7 - 0,154 C_8 = 0$$

$$8'. -1,865 C_5 - 12,731 C_6 - 0,154 C_7 + 0,022 C_8 = 0$$

Hieraus ergibt sich nach langwierigen Rechnungen mit Ausscheidung der Unbekannten der Reihe nach:

$$C_1 = +0,1764; \quad C_2 = +0,0147;$$

$$C_3 = +0,147; \quad C_4 = +0,0147;$$

$$C_5 = -0,012; \quad C_6 = +0,005;$$

$$C_7 = -0,117; \quad C_8 = +1,174;$$

Für $x = 0$; d. h. an der Aufsenkante der Schwelle ergibt sich die Einsenkung nach Gleichung 3) zu

$$y_{x=0} = 0,1764 \cdot 1 \cdot 1 + 0,0147 \cdot 1 \cdot 0 + 0,147 \cdot 1 \cdot 1 + 0,0147 \cdot 1 \cdot 0 = 0,1764 + 0,147 = 0,323 \text{ cm} = 3,2 \text{ mm}$$

für $x = 55$, d. h. unter dem Lastpunkt P ergibt sich eine Einsenkung von

$$y_{x=55 \text{ cm}} = 0,1764 \cdot 1,512 + 0,0147 \cdot 2,047 + 0,147 \cdot 0,233 + 0,0147 \cdot 0,316$$

$$= 0,267 + 0,030 + 0,034 + 0,005$$

$$= 0,336 \sim 0,34 \text{ cm} = 3,4 \text{ mm.}$$

Da im Punkte $x = 55 \text{ cm}$ der zweite Ast der elastischen Einsenkungslinie beginnt, so muß die Berechnung für $y_{x=55}$ nach der Gleichung:

$y = C_5 \cdot m_1 + C_6 \cdot m_2 + C_7 \cdot m_3 + C_8 \cdot m_4$ denselben Wert ergeben:

$$y_{x=55} = -0,012 \cdot 1,512 + 0,005 \cdot 2,047 - 0,117 \cdot 0,233 + 1,174 \cdot 0,316 = -0,018 + 0,010 - 0,027 + 0,371$$

$$y_{x=55} = 0,381 - 0,045 = 0,336 \text{ cm (genau derselbe Wert wie vorhin).}$$

Damit ist die Sicherheit für die richtige Zahlenberechnung gegeben. Für einen Zwischenwert $x = 100$ ergeben sich folgende Werte:

$$\alpha x = 0,017 \cdot 100 = 1,7; e^{\alpha x} = 5,470; \cos \alpha x = -0,129; e^{-\alpha x} = 0,183; \sin \alpha x = +0,991;$$

somit

$$y_{x=100} = C_5 \cdot e^{\alpha x} \cdot \cos \alpha x + C_6 \cdot e^{\alpha x} \cdot \sin \alpha x + C_7 \cdot e^{-\alpha x} \cdot \cos \alpha x + C_8 \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin \alpha x$$

$$= -0,012 \cdot 5,470 (-0,129) + 0,005 \cdot 5,470 \cdot 0,991 - 0,117 \cdot 0,183 (-0,129) + 1,174 \cdot 0,183 \cdot 0,991$$

$$= 0,008 + 0,027 + 0,003 + 0,214 = 0,252 \text{ cm} \sim 2,5 \text{ mm}$$

für $x = 1$ (Schwellenmitte) ergibt sich:

$$y_{x=130} = C_5 \cdot n_1 \cdot C_6 \cdot n_2 + C_7 \cdot n_3 + C_8 \cdot n_4$$

$$= -0,012 \cdot (-5,433) + 0,005 \cdot 7,298 - 0,117 \cdot (-0,066) + 1,174 \cdot 0,088$$

$$= 0,065 + 0,036 + 0,008 + 0,103$$

$$= 0,212 \text{ cm} \sim 2,1 \text{ mm.}$$

Mit diesen vier Punkten $x = 0; = 55; = 100; = 130 \text{ cm}$ ist die elastische Einsenkungslinie genügend genau festgelegt und damit ist auch die Druckverteilung gegeben.

Bezeichnet man mit p den Gegendruck des Schotters gegen die Schwelle, so beträgt dieser für

$$x = 0; p_0 = k \cdot b \cdot y = 10 \cdot 26 \cdot 0,32 \text{ kg/cm} = 83,2 \text{ kg/cm} \text{ bzw. } 3,3 \text{ kg/qcm,}$$

$$x = 55; p_{55} = 10 \cdot 26 \cdot 0,34 \text{ kg/cm} = 88,4 \text{ kg/cm} \text{ bzw. } 3,4 \text{ kg/qcm,}$$

$$x = 100; p_{100} = 10 \cdot 26 \cdot 0,25 \text{ kg/cm} = 65,0 \text{ kg/cm} \text{ bzw. } 2,5 \text{ kg/qcm,}$$

$$x = 130; p_{130} = 10 \cdot 26 \cdot 0,21 \text{ kg/cm} = 54,6 \text{ kg/cm} \text{ bzw. } 2,1 \text{ kg/qcm.}$$

Damit ist nachgewiesen, daß der höchste Druck, der auf der Unterseite der Schwelle auftritt bei einer Stofszahl von 1,5 den Betrag von 3,4 kg/qcm nicht überschreitet.

Auf Grund der ermittelten Größen kann nun der rechnerischen Untersuchung der Beanspruchung der Schwelle nähergetreten werden.

Untersuchung der Schwellenbeanspruchung.

Zur Untersuchung genügt es, wie in Abb. 2 punktiert angegeben, eine gradlinige Verteilung des Druckes anzunehmen von $x = 0$ bis $x = 55 \text{ cm}$ und von $x = 55 \text{ cm}$ bis $x = 130 \text{ cm}$ (Schwellenmitte)

$$P = P_1 + P_2;$$

$$P_1 = \frac{P_0 + P_{55}}{2} \cdot 55 = \frac{83,2 + 88,4}{2} \cdot 55 = 85,8 \cdot 55 = \sim 4700 \text{ kg}$$

$$P_2 = \frac{P_{55} + P_{130}}{2} \cdot 75 = \frac{88,4 + 54,6}{2} \cdot 75 = 71,5 \cdot 75 = \sim 5300 \text{ kg}$$

Gesucht M für den Schnitt $x_1 = M_{x_1}$

$$M_{x_1} = P_{x_1} \cdot 20 \text{ (cmkg)} = \frac{83,2 + 87,0}{2} \cdot (20 + 21) \cdot 20 = 85,1 \cdot 820 = 69782 \sim 69800 \text{ cmkg;}$$

$$M_{x_2} \text{ (ohne Unterlagsplatte)} = P_1 \cdot 26 = 4700 \cdot 26 = 122200 \text{ cmkg}$$

$$M_{x_2} \text{ (mit Unterlagsplatte)} = P_1 \cdot 26 - 5000 \cdot 7 = 122200 - 35000 = 87200 \text{ cmkg}$$

$$M_{x_3} = M_{x_4} + P_{x_3} \cdot 28;$$

$$- M_{x_4} = 10000 \cdot 75 - 4700 (75 + 26) - 5300 \cdot 42 = 750000 - 474700 - 222600 = 52700 \text{ cmkg}$$

$$\text{daher } M_{x_3} = -52700 + P_{x_3} \cdot 28 = -52700 + \frac{82,1 + 54,6}{2} \cdot 61 \cdot 28 \sim 116700 - 52700 = 64000 \text{ cmkg.}$$

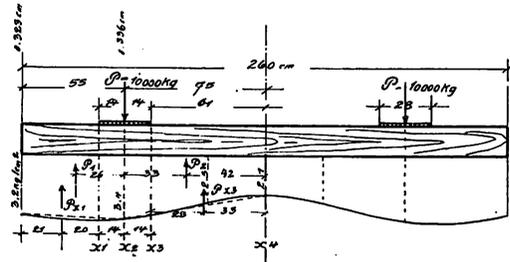


Abb. 2.

Die Momente werden durch die Unterlagsplatten bedeutend abgemindert. Der große Wert von genügend breiten und langen Unterlagsplatten ist hieraus (bzw. Abb. 3) ohne weiteres zu ersehen.

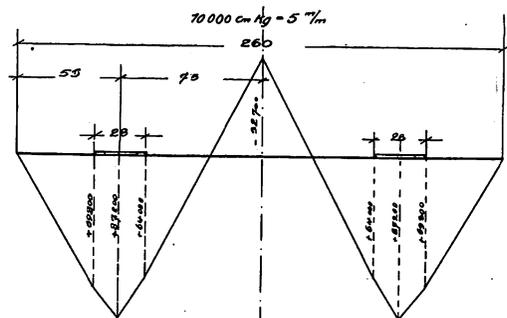


Abb. 3.

Zugleich ist aus der Momentenverteilung ersichtlich, daß durch das Stampfverfahren die Schwelle auch in der Mitte entsprechend zur Druckübertragung mit herangezogen und daher vollständig ausgenützt wird.

Die zulässige Beanspruchung σ auf Zug und Druck (Biegung) beträgt 100 kg/qcm².

In unserm Falle ist:

$$\sigma_1 = \frac{M_{x_1}}{\Theta} \cdot y_1 = \frac{69800}{7800} \cdot 8,5 \text{ (Schwerpunktsabstand von der äußersten Faser, Druck)}$$

$$= 76 \text{ kg/qcm}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{x_2}}{\Theta} \cdot y = \frac{87200}{7800} \cdot 8,5 = 94,7 \text{ kg/qcm (Druck)}$$

$$\sigma_3 = \frac{M_{x_3}}{\Theta} \cdot y = \frac{64000}{7800} \cdot 8,5 = 69,7 \text{ kg/qcm (Druck)}$$

$$\sigma_4 = \frac{M_{x_4}}{\Theta} \cdot y = \frac{52700}{7800} \cdot 8,5 = 57,5 \text{ kg/qcm (Zug)}$$

Die zulässigen Spannungen werden also erheblich unterschritten, trotz der hohen Stofsziffer von 1,5.

Druckverteilung.

Der höchste auftretende Druck unter der Schwelle beläuft sich im Abstände $x = 55 \text{ cm}$ (Lastpunkt) auf $p = k \cdot b \cdot y = 10 \cdot 26 \cdot 0,336 \text{ kg/cm}$ bzw. $p' = k \cdot y = 3,36 \text{ kg/qcm}$.

Dieser Druck p' ist sicherlich bei der gekrampten Schwelle höher. Diese Größe kann hier rechnerisch nicht ermittelt

werden. Nimmt man jedoch bei der gekrampten Schwelle schätzungsweise an, daß ungefähr 50 cm rechts und links der Schiene gleichmäßig gestopft sei und auch die Schwelle gleichmäßig aufliege, so erhält man bei diesen günstigen Voraussetzungen einen Höchstdruck von

$$p'' = \frac{P}{(50 + 50) \cdot 26} = \frac{10000}{100 \cdot 26} \text{ kg/qcm} = 3,85 \text{ kg/qcm}$$

das heißt um 12⁰/₁₀ höher wie vor.

Beanspruchung der Bettung bei veränderlichem k.

Ändert sich die Bettungsziffer k, dann ändert sich in einem gewissen Verhältnis auch die Druckverteilung der Schwellenlänge nach. Wird k größer, dann wird die Druckverteilung ungünstiger das heißt ungleichmäßiger; wird k kleiner, dann ist die Druckverteilung günstiger. In der durchgeführten Rechnung wurde k = 10 angenommen. Um nun nachzuforschen, ob dieser Wert der Wirklichkeit entspricht, wurden mit Hilfe eines einfachen Schwellensenkungsmessers (siehe Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1924, Heft 11 S. 254) einige Senkungsmessungen vorgenommen. Diese Messungen wurden unter den fahrenden Zügen bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 50 bis 70 km in einem Abstände von 35 cm von Schienenmitte nach außen vorgenommen.

Es ergaben sich bei der in Taf. 35 dargestellten Versuchsstampfstrecke, die seit 15 Monaten nicht mehr nachgearbeitet wurde, die Einsenkungen 2, 1¹/₂ und 1 mm; im Mittel daher 1¹/₂ mm. Diese Einsenkung wurde durch G12 und S³/₁₆ Maschinen mit einem Raddruck von 8 t hervorgerufen. Nimmt man diese mittlere Einsenkung zu 1¹/₂ mm auch als Einsenkung unter der Schiene an, was zulässig ist; da die Einsenkungszunahme von Schwellenaufsenkante bis Schienenmitte nach Abb. 2 nur ganz geringfügig ist, so ergibt sich für unsern Raddruck P = 12,5 t eine Einsenkung von $y_n = \frac{12,5}{8} \cdot 1,5 = 2,34 \text{ mm}$ gegenüber dem errechneten $y_x = 55 = 3,36 \text{ mm}$ für k = 10.

Nun verhalten sich nach der Formel $p = k \cdot y \cdot b$ bei gleichem spezifischem Druck p die Bettungsziffern k umgekehrt wie die Einsenkungen; das heißt für den untersuchten Fall ergibt sich eine Bettungsziffer, nicht wie angenommen k = 10, sondern $k' = \frac{3,36}{2,34} \cdot 10 = 14,3$.

Damit ist nachgewiesen, daß der Wert k' sich stark dem Wert k für Schotter auf Grundbau = 15 nähert (siehe Oberbauvorschrift für Bayern 1907, S. 12).

Daß die so errechnete Bettungsziffer k = 14,3 nicht zu hoch für eine Stampfstrecke ist, beweist der Umstand, daß bei einer weiteren Messung an einer im September 1924 fertiggestellten Versuchsstampfstrecke mit derselben Bettungsstärke von 24 cm unter Schwellenunterkante und etwas festerem kiesigem Untergrund als bei der ersten Strecke mit tonigem Untergrund die Einsenkungen durchschnittlich zu 1¹/₂ bis 3³/₄ mm bei vier Messungen gefunden wurden.

Dieses günstige Ergebnis, das allerdings aus verhältnismäßig wenigen Messungen abgeleitet wurde, möchte berufene Stellen dazu veranlassen, mit besseren Meßwerkzeugen weitere Messungen vorzunehmen, da diese Frage von großer wirtschaftlicher Tragweite ist.

Die in der Tafel dargestellten Stoffeinschläge einer Krampfstrecke, (Bergstrecke, 15 m Schienen FX mit Stofsbrücken) und der anschließenden Vergleichsstampfstrecke (Bergstrecke ohne Roste — 15 m Schienen FX mit Stofsbrücken) zeigen, daß die Stoffeinschläge bei der ersten Strecke doppelt so groß sind als bei der letzten. Auch dieser Umstand weist darauf hin, daß die Bettungsziffer für eine gut ausgeführte Stampfstrecke unter den gleichen Voraussetzungen (gleiche Bettung und Bettungsstärke, gleicher Untergrund und gleicher Oberbau) beträchtlich größer sein muß als für eine Krampfstrecke.

Trotz dieses günstigen Umstandes sollen der weiteren Abhandlung die auf Grund der Bettungszahl k = 10 errechneten Werte zugrunde gelegt werden.

Beanspruchung der Bettung und Bettungssole beim Stampf- und Krampfverfahren bei gleicher Bettungsstärke.

Um den Druck auf die Bettungssole feststellen zu können, ist vor allem zu wissen notwendig, wie sich der Druck von Schwellenunterkante nach abwärts verteilt. Auch hier fehlen leider entsprechende Unterlagen. Bisher hat man wohl eine Druckverteilung von 45° angenommen, so daß bei einer Bettungsstärke z. B. von 40 cm bis Schwellenoberkante die Druckverteilung nach Abb. 4 erfolgen sollte, was bei durchgehender Bodenbeanspruchung eine Schwellenentfernung von 74 cm ergibt.

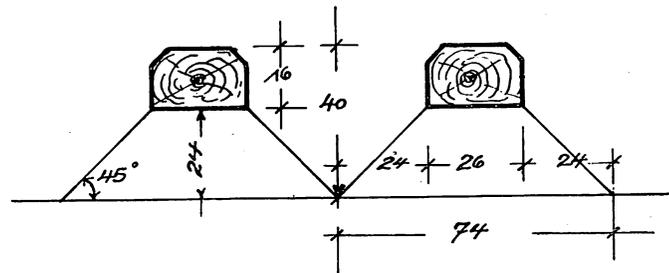


Abb. 4.

Nun lehrt aber eine einfache Untersuchung in der Natur wie in der Theorie, daß eine derartig günstige Druckverteilung kaum stattfinden kann.

Die Dicke der Schotterstücke (= h) ist erfahrungsgemäß ungefähr 1/2 der Länge l: also $\frac{l}{h} \sim 2$. Dieses Verhältnis dürfte bei allen Schottergrößen bis zum Grus herab im Durchschnitt ziemlich unveränderlich sein.

Nimmt man nun den Bettungskörper als festgefügt an, so würde annäherungsweise für die Druckverteilung ein parabolisches Gesetz etwa nach Abb. 5a in Frage kommen. Aus naheliegenden Gründen kann aber der Bettungskörper keine Zugspannungen aufnehmen. Die Bettungsteilchen geben dem Druck nach und führen eine drehende Bewegung aus etwa, nach Abb. 5b. (Siehe auch Schubert, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1897, S. 133).

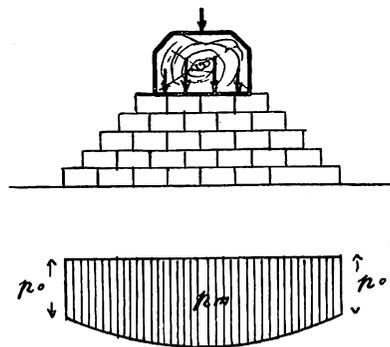


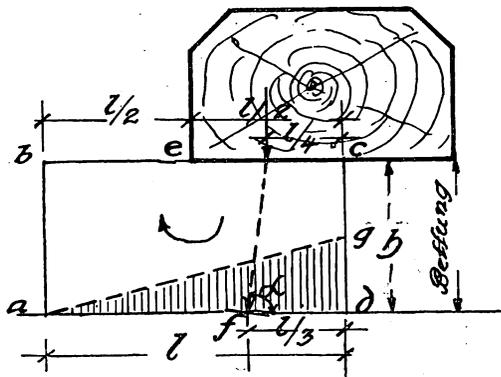
Abb. 5a.

Abb. 5b.

Nun sucht die Natur den Druck möglichst gleichmäßig auf die Fläche der Bettungsteilchen zu verteilen, da hierdurch ein Minimum an Formänderungsarbeit entsteht. Zieht man daher die gesamte Druckfläche der einzelnen Teilchen zur Druckübertragung mit heran, so daß das Druckverteilungsdreieck sich ungefähr nach Abb. 5c gestaltet (Bettungskörper als Ganzes gedacht) so ergibt sich ein Ablenkungs-

winkel α für die Druckrichtung von $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\frac{1}{3} - \frac{1}{4}} = \frac{12h}{1}$
 und für $\frac{h}{l} = \frac{1}{2}$; $\operatorname{tg} \alpha = 6$; $\alpha \sim 80^\circ$.

Rechnet man nun noch eine durch das Stopfen erzeugte Verspannung hinzu, so dürfte für das Krampverfahren eine Druckverteilungslinie von 75° der Wahrscheinlichkeit sehr nahe kommen.



Zu a b c d Bettungskörper als Ganzes gedacht $\frac{h}{l} = \frac{1}{2}$; $be = ce$
 günstigste Druckverteilung. Druckverteilung nach Druckdreieck a d g, d. h. gesamte Druckfläche wird zur Druckübertragung herangezogen.
 Daher: $fd = \frac{1}{3} a d$. Druckrichtung $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\frac{1}{3} - \frac{1}{4}} = \frac{12h}{1}$

Abb. 5 c.

Denkt man sich nun die Schotterteilchen rund mit gleichem Durchmesser, dann kommt bei genügender Verspannung eine Druckverteilung nach Abb. 6 zur Geltung. Ablenkungswinkel $\alpha = 60^\circ$.

Die Bettungsteilchen schwanken nun zwischen den beiden gedachten Formen. Beim Krampverfahren haben wir vorhin gesehen, daß nur eine Druckverteilung von 75° in Frage kommen kann, um so mehr, als bei diesem Verfahren eine weitere Einbuse an Druckausladung dadurch stattfindet, daß durch das Stopfen die Schlaghöhe h' für die Druckausladung nach Abb. 7 wegfällt.

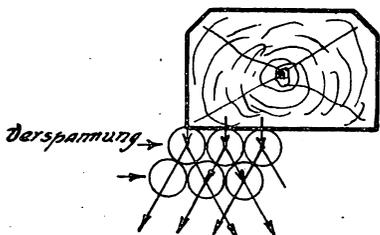


Abb. 6.

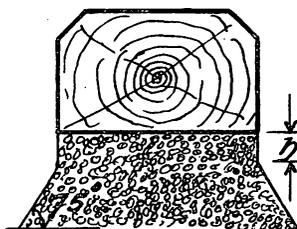


Abb. 7.

Dieser Nachteil ist beim Stampfverfahren nicht gegeben, zudem ist hier eine starke Verspannung und Verkeilung vorhanden, so daß die Druckausladung unter 60° der Wahrscheinlichkeit nahe kommen dürfte. Diese beiden Druckrichtungen, 60° und 75° , stimmen auch nach Schubert a. a. O. mit Abb. 7 bzw. Abb. 11 und Abb. 8 bzw. Abb. 12, Taf. XVII überein, wenn die dreimal unterstopfte Schwelle der gekrampten Schwelle und die fünfmal unterstopfte Schwelle der gestampften Bettung entspricht.

Auf Grund der gemachten Voraussetzungen ergeben sich bei der angenommenen Bettungsstärke von 24 cm unter Schwellenunterkante folgende Beanspruchungen der Bettungssohle:

beim Stampfverfahren nach Abb. 8, wenn d den größten Druck auf der Bettungssohle darstellt:

$$26d + 2 \cdot \frac{14}{2} \cdot d = k \cdot 26 \cdot y = 10 \cdot 26 \cdot 0,336 \text{ kg/cm} = 87,36 \sim 88 \text{ kg/cm}$$

$$40d = 88 \text{ kg/cm}; d = 2,2 \text{ kg/qcm},$$

beim Krampverfahren nach Abb. 9:

$$26d' + 2 \cdot \frac{6,5}{2} d' = 26 \cdot 3,85 \text{ kg/qcm (s. Seite 487)}$$

$$32,5 d' = 100 \text{ kg/qcm}; d' = 3,08 \text{ kg/qcm}.$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{3,08}{2,2} = 1,40, \text{ d. h. die größte Druckbeanspruchung}$$

der Sohle ist beim Krampverfahren 40% höher als beim Stampfverfahren bei 40 cm Bettungshöhe und bei den als

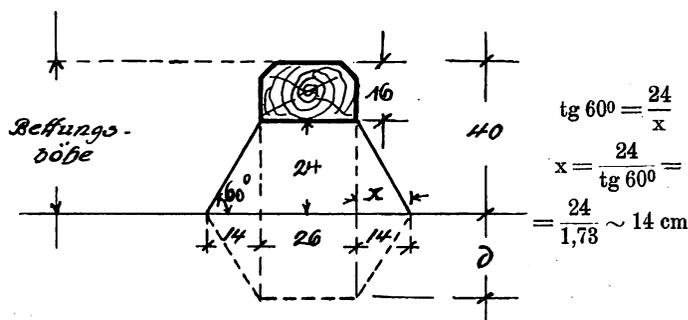
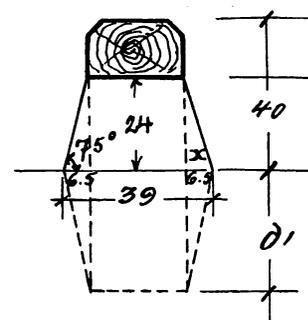


Abb. 8.



$$x = \frac{24}{\operatorname{tg} 75^\circ} = \frac{24}{3,73} \sim 6,5 \text{ cm}$$

Abb. 9.

wahrscheinlich angenommenen Voraussetzungen. Auf Grund dieses Umstandes allein schon ist anzunehmen, daß das Stampfverfahren wirtschaftlicher sein muß als das Krampverfahren; denn infolge der hohen Bodenbeanspruchung bilden sich beim Krampverfahren größere Einschläge heraus als beim Stampfverfahren. Diese theoretische Folgerung ist durch die Höhenaufnahme nach Taf. 35 erwiesen. Durch die größeren Einschläge entstehen naturgemäß höhere

Unterhaltungskosten bei den Krampstrecken, ganz abgesehen von der größern Schonung des Schotters bei den Stampfstrecken.

Besonders auffällig tritt dies in der Nähe der Stöße zutage; hier ist beim Stampfverfahren ein festes Gefüge vorhanden, während beim Krampverfahren die Stoßschwellen durch ihre gegenseitige größere Nähe schlechter unterstopft werden können und Schlaglöcher daher sehr leicht auftreten. Zudem entsteht durch das Krampen Schlagmehl, wodurch wieder die Wasserdurchlässigkeit vermindert und der Graswuchs beschleunigt wird. Die Schwellen werden durch das Krampen an den Auflagekanten teilweise zerstört. Wandern die Schienen und damit die Schwellen, welcher Umstand fast nie ganz hintangehalten werden kann, so stößt die unterstopfte Schwelle nach ihrer Wanderung auf lockere Bettung und es entstehen bei den Stößen besonders große Einschläge. Diese Tatsache läßt sich bei umgebauten Strecken öfters beobachten. Die Unterhaltungskosten werden also bei den Krampstrecken bedeutend höher als bei den Stampfstrecken.

Beziehung zwischen Bettungshöhe und Bodenbeanspruchung.

In neuerer Zeit ist das Bestreben vorhanden, mit Rücksicht auf die sich immer mehr steigenden Raddrücke auch die Bettungshöhe zu vergrößern. Diese Erhöhung des Bettungskörpers geschieht mehr oder minder dem Gefühl nach. Nun ist es von großer Bedeutung, zu wissen, wo die Grenze der Verstärkung liegt mit Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und die zu erwartenden Raddrücke.

Die allgemeine Formel der Druckverteilung lautet nach Abb. 8, wenn h die Bettungsstärke unter Schwellenunterkante darstellt (bei 60° Druckverteilung, Stampfverfahren)

$$26d + 2 \cdot \frac{h}{1,73} \cdot \frac{d}{2} = 88;$$

$$d \left(26 + \frac{h}{1,73} \right) = 88; \quad d = \frac{88}{26 + \frac{h}{1,73}} = \frac{152}{45 + h};$$

für einzelne Werte von h ergeben sich:

$$h = 0; d = 3,36 \text{ kg/qcm}; \quad h = 10; d = \frac{152}{55} = 2,76 \text{ kg/qcm};$$

$$h = 20; d = \frac{152}{65} = 2,33 \text{ kg/qcm}; \quad h = 30; d = \frac{152}{75} = 2,02 \text{ kg/qcm};$$

$$h = 40; d = \frac{152}{85} = 1,78 \text{ kg/qcm}; \quad h = 50; d = \frac{152}{95} = 1,60 \text{ kg/qcm}.$$

Die Formel für das Krampfverfahren lautet:

$$26d' + 2 \cdot \frac{h}{3,73} \cdot \frac{d'}{2} = 100; \quad d' \left(26 + \frac{h}{3,73} \right) = 100; \quad d' = \frac{373}{97 + h};$$

$$h = 0; d' = 3,85 \text{ kg/qcm}; \quad h = 10; d' = \frac{373}{107} = 3,48 \text{ kg/qcm};$$

$$h = 20; d' = \frac{373}{117} = 3,18 \text{ kg/qcm}; \quad h = 30;$$

$$d' = \frac{373}{127} = 2,93 \text{ kg/qcm};$$

$$h = 40; d' = \frac{373}{137} = 2,72 \text{ kg/qcm}; \quad h = 50;$$

$$d' = \frac{373}{147} = 2,53 \text{ kg/qcm}.$$

Die so ermittelten Druckwerte d bzw. d' sind in Abb. 10 dargestellt.

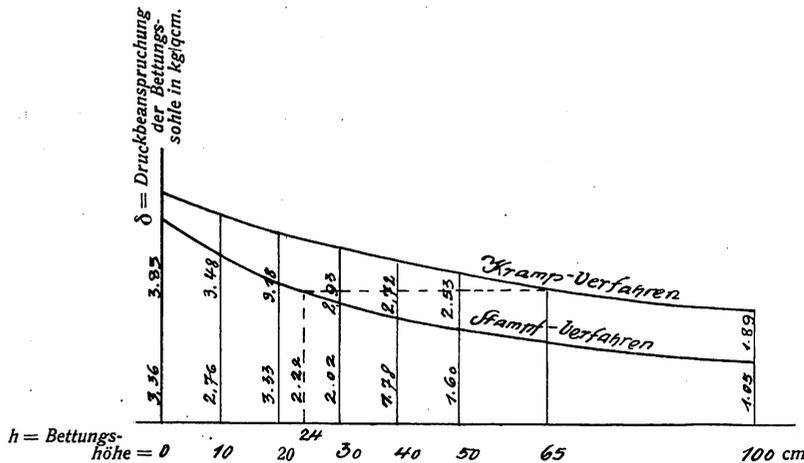


Abb. 10.

Auch aus dieser Beziehung geht hervor, daß das Stampfverfahren dem Krampfverfahren überlegen ist.

Nun fragt es sich welche Bettungshöhe für den neuen Raddruck wirtschaftlich ist. Diese Höhe hängt ab von dem Druck d , welchen man der Bettungssohle zumuten kann. Dieser zulässige Druck wird nach den einzelnen Bodenverhältnissen im allgemeinen mehr oder minder verschieden sein; auch spielt die Entwässerungsfrage eine große Rolle. Ist dafür gesorgt, daß die Bettungssohle ein genügend großes Gefälle besitzt (3 bis 4‰, besser 4‰), und wird diese durch Stampfen noch weiterhin tragfähig gemacht, so ist bei der hohen Stoszfeder von 1,5 der zuzulassende Druck von 2,0 kg/qcm ein verhältnismäßig niedriger Wert. Dieser Wert kann im Mittel unbedenklich angewandt werden, da bei Gleisumbauten die Bettungssohle durch jahrelang darüberfahrende Züge bereits eine ent-

sprechende Verdichtung erfahren hat, und zudem kann durch das Stampfen der Bettungssohle, wie später nachgewiesen wird, dieses Maß des zulässigen Druckes mit Handstampfern leicht erreicht werden. Für diesen zulässigen Druck von 2,0 kg/qcm ergibt sich eine Bettungshöhe von rund 30 cm unter Schwellenunterkante. Nun braucht die Bettung natürlich nicht allein aus Schotter zu bestehen, sondern sie kann zwei- und mehrteilig sein. Auch reiner Grus dürfte einen vorzüglichen Bettungsstoff ergeben, da die Schwellen sehr gut aufliegen und von der Luft gut abgeschlossen sind, so daß keine Risse eintreten, die ja in erster Linie der Angriffspunkt der Fäulnis sind. Dies wird durch die Erfahrung bestätigt; denn Schwellen in wasser-durchlässigem Sand oder Grus halten sich besser als in Schotter*).

Aus den vorgenannten Erwägungen geht hervor, daß für die Zukunft als Bettungsquerschnitt für den neuen Achsdruck ein Querschnitt sich am besten eignet, wie er z. B. in der preussischen Oberbauvorschrift vom Juli 1915 angegeben ist (für Holzschwellen und zweigleisig) unter der Voraussetzung, daß Bettungssohle und Bettung gestampft werden. In diesem Querschnitt ist ein Quergefälle von 1:25 und eine Bettungshöhe unter Schwellenunterkante von 30 cm vorgesehen. Es braucht also mit Rücksicht auf den neuen Achsdruck nach diesem Profil keine höhere, sondern nur eine dichtere Unterbettung auf gestampfter Sohle vorgeschrieben zu werden**).

Erreichbarer Stampfdruck der Bettungssohle mit Handstampfern.

Wird als größtzulässige Druckbeanspruchung der Bettungssohle das Maß von 2,0 kg/qcm angenommen, so muß dieses Maß durch Stampfen mit Handstampfern mindestens erreicht werden.

Die Ausmaße der Stampfer (ebene Pufferscheiben) betragen:

Gewicht mindestens 30 kg; Scheibendurchmesser 34 cm. Hubhöhe beim Stampfen 20 cm.

$$\text{Fläche der Scheibe} = \frac{d^2 \Pi}{4} = 34^2 \cdot \frac{3,14}{4} = 905 \text{ qcm}.$$

Hubarbeit $A = \text{Kraft} \times \text{Weg} = 30 \text{ kg} \times 20 \text{ cm} = 600 \text{ cmkg}$. (Dauerleistung eines kräftigen Arbeiters = 7 mkg/sek).

Der Flächendruck nach dem Stampfstöße ist P_2 ; im Augenblicke, in dem die Bettung berührt wird, gleich $P_1 = 0$. Die Hubarbeit A wird also in Eindringungsarbeit B in die Bettungssohle umgewandelt mit der mittleren Kraft $P = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{P_2}{2}$. Gesucht P_2 .

Nimmt man als kleinstes Eindringungsmaß $\frac{1}{2}$ cm an, so muß sein $P \cdot \frac{1}{2} \text{ cm} = 600 \text{ cmkg}$; $P = 1200 \text{ kg}$ und da $P_2 = 2P$ ist:

$$P_2 = 2 \cdot 1200 = 2400 \text{ kg}; \text{ daher der erreichte}$$

$$\text{Flächendruck } p_2 = \frac{2400}{905} = 2,65 \text{ kg/qcm}.$$

*) Für einen wasser-durchlässigen Bettungsstoff mit kleineren Teilchen wie z. B. Grus spricht noch ein weiterer Umstand, der bisher noch nicht genügend gewürdigt wurde. Wie bekannt, werden die auftretenden Stöße um so eher in unschädliche Reibungsarbeit im Bettungskörper überführt, je größer die Reibungsfläche ist. Ein Bettungsteilchen von würfelförmiger Gestalt von 5 cm Seitenlänge besitzt beispielsweise $6 \times 5 \times 5 = 150 \text{ qcm}$ Reibungsfläche. 125 Bettungsteilchen von je 1 cm Inhalt und mit 1 cm Seitenlänge, die also insgesamt an Inhalt dem vorigen Teilchen gleich sind, besitzen eine Reibungsfläche von $125 \times 6 \times 1 \text{ qcm} = 750 \text{ qcm}$, also sechsmal so groß; daher ist bei gleichmäßigem Druck auch eine sechsfach größere Wirkung mit hoher Wahrscheinlichkeit anzunehmen. Darauf beruht auch das gute satte Liegen von Schwellen in Bettungsstoff mit kleinen Bettungsteilchen, aber hoher Rauigkeit.

**) Bei einer zulässigen Bodenbeanspruchung von 2,22 kg/qcm (s. Abb. 10) genügt auch die nach bayerischer Vorschrift vorhandene Bettungsstärke von 24 cm unter Schwellenunterkante.

Schottermehrverbrauch beim Stampfverfahren.

Der Schotteraufwand ist beim erstmaligen Umbau im Stampfverfahren höher als beim Krampfverfahren.

Dieser Mehrverbrauch setzt sich zusammen:

1. infolge Eindrückens des Schotters in die Unterbaukrone. Dieses Maß beträgt je nach Bodenart bei nicht gestampftem Untergrund 2 bis 3 cm; bei gestampftem Untergrund 1 bis 2 cm. (im Mittel = 5⁰/₁₀);

2. durch Zusammenpressen des Schotters selbst.

Nach einem am 29. 8. 1923 ausgeführtem Versuche ergab sich bei einer Schotterhöhe von 80 cm ein Stampfmaß von 15 cm = 18,75⁰/₁₀ (im Mittel = 19⁰/₁₀). (Anm.: Für Grus ergab sich bei einem am 21. 3. 25 durchgeführten Versuch ein Stampfmaß von 18⁰/₁₀). Zum wirtschaftlichen Vergleich des Stampf- und des Krampfverfahrens wurden nun zwei Strecken, die im Jahre 1923 ausgeführt wurden, mit einer Bettungshöhe von 24 cm unter Schwellenunterfläche herangezogen (s. Taf. 1 Bergstrecke).

Mehrverbrauch an Arbeitsaufwand beim Stampfverfahren.

Nach einer genauen Aufstellung (s. Arbeitsplan I u. II, S. 490) sind bei den bezeichneten Strecken für den laufenden m Gleisumbau an Arbeitsaufwand angefallen:

a) für das Krampfverfahren 0,725 Tagschichten zu 8^h } für 1 m.
b) für das Stampfverfahren 0,95 Tagschichten zu 8^h }

Diese achtstündige Tagesschicht stellt eine erhöhte Arbeitsleistung dar, so daß sie der neunstündigen Tagschicht entspricht; denn während der dreistündigen Zugspause, in welcher kurzen Zeit jeweils die Strecken umgebaut wurden, mußten die Arbeiter angestrengter arbeiten.

Zu a) kommt noch die Werkzeugabnutzung von 0,035 Tgsh./m beim Bau

Zu b) kommt noch die Werkzeugabnutzung von 0,01 Tgsh./m beim Bau

so daß sich der Baukostenaufwand an Arbeit bei a) auf 0,76 Tagschichten erhöht.

Bei b) kommt noch der infolge des Stampfens notwendige Mehrverbrauch an Schotter hinzu, der ebenfalls in Tagschichten umzurechnen ist.

Bedarf an Bettung nach der bayrischen Oberbauvorschrift 1907 Taf. 1 = 1,47 cbm und bei einem Einstampfmaß von (5 + 19 =) 24⁰/₁₀:

Mehrbedarf = 1,47 · 0,24 = 0,35 cbm/m.

Rechnet man den durch das Stopfen beim Krampfverfahren zu berücksichtigenden Mehrverbrauch und bedenkt man fernerhin, daß bei letzterem Verfahren bei richtiger Gleisunterhaltung eine Nachfüllung an Schotter im Laufe der Zeit sich als notwendig erweist, so dürfte dieser Mehraufwand mit 0,10 cbm/m in Rechnung zu ziehen sein; daher reiner Mehrverbrauch beim Stampfverfahren:

0,35 cbm/m — 0,10 cbm/m = 0,25 cbm/m.

In Friedenszeiten kostete 1 cbm Schotter durchschnittlich 5 \mathcal{M} ; Frachtkosten 1 \mathcal{M} und Abladen und Einbetten 0,40 \mathcal{M} ; daher Gesamtkosten/cbm 6,40 \mathcal{M}

Taglohn = 3,30 \mathcal{M} ; daher Umrechnungssatz des Mehrverbrauches an Schotter in Tagschichten:

$$\frac{6,40}{3,30} \cdot 0,25 = 0,49 \text{ Tagschichten,}$$

somit Anfangskosten an Arbeit beim Stampfverfahren

$$0,95 + 0,01 + 0,49 = 1,45 \text{ Tagschichten.}$$

Ermittlung des Unterhaltungsaufwandes bei beiden Verfahren.

Vorhin haben wir die Anfangskosten des Stampfverfahrens an Arbeit zu 1,45 Tgsh. m ermittelt. Würde statt Schotter Grus verwendet werden, so könnten sich diese Anfangskosten um fast 25% des Mehrverbrauches an Schotter vermindern, da Grus um 25% billiger ist; auch die Unterhaltungskosten

dürften sich auch etwas abmindern; da zum Untergrusen der lockern Schwellen der Grus sogleich an Ort und Stelle ist. In der Folge soll jedoch von der Hereinbeziehung dieser günstigen Umstände abgesehen werden.

Nach der Höhenaufnahme der Versuchsstrecke (Taf. 35) haben sich die Stöße der gestampften Strecke nur halb soviel eingeschlagen als die Stöße der gekrampten Strecke bei gleichen Voraussetzungen. Dieses Maß gibt uns an, daß bei der gekrampten Strecke wohl auch doppelt so hohe Unterhaltungskosten anfallen. Diese betragen daher für je 1 m Gleis im Jahr gering gerechnet bei der gekrampten Strecke im Durchschnitt 0,10 Tgsh./m und bei der gestampften Strecke nach Vorhergehendem 0,05 Tgsh./m.

Durch die sattere Auflage der Schwelle beim Stampfverfahren werden sowohl die Fahrzeuge als auch das Gleis in höherem Maße geschont, als beim Krampfverfahren. Es darf daher als sicher angenommen werden, daß durch die größere Schonung des Oberbaues auch eine längere Ausnutzung möglich ist. Halten schätzungsweise Schwellen, Schienen und Klein-eisenzeug bei der Stampfstrecke nur zwei Jahre länger, so daß beispielsweise bei stark befahrenen Strecken, statt alle 20 Jahre, nur alle 22 Jahre ein Umbau vorgenommen werden muß (20 bzw. 22 Jahre als Mittel für Schienen und Schwellen genommen), so errechnet sich bei beiden Verfahren eine gewisse jährliche Abnutzung, wie folgt:

1 lfd. m bayrischen Oberbau FX kostete zu Friedenszeiten rund 30 \mathcal{M} ; wird $\frac{1}{3}$ als Altwert angenommen, so kann 1 lfd. m auf rund 20 \mathcal{M} veranschlagt werden oder in Tagschichten ausgedrückt:

$$\frac{20,0}{3,30 \text{ Taglohn}} = 6,06 \text{ Tgsh.}$$

daher jährliche Abnutzung beim Krampfverfahren

$$\frac{6,06}{20} = 0,303 \text{ Tgsh./m}$$

daher jährliche Abnutzung beim Stampfverfahren

$$\frac{6,06}{22} = 0,275 \text{ Tgsh./m}$$

hierzu kommt noch für jährliche Werkzeugabnutzung beim Krampfen ein Maß von 0,007 Tgsh. und beim Stampfen von 0,005 Tgsh.; da hier nur ein einfaches Blech- oder Stopfeisen zum Untergrusen erforderlich wird.

Zusammenstellung der Kosten:

	Krampfverfahren	Stampfverfahren
a) Anfangskosten:	0,76 Tgsh./m	1,45 Tgsh./m
b) jährliche Kosten:		
	0,10 „	Unterhaltung 0,05 „
	0,017 „	Werkzeug- abnutzung 0,005 „
	0,303 „	Abnutzung 0,275 „
jährliche Kosten:	0,410 „	0,33 „

Es fragt sich nun, nach welcher Zeit beide Verfahren in wirtschaftlicher Beziehung einander gleich sind.

Rechnet man ohne Zinsen, so was der Annahme gleichkommt, daß die Schonung der Fahrzeuge die Zinsen aufwiegt, so ergibt sich:

0,76 + x · 0,41 = 1,45 + x · 0,33; wo x die Anzahl der Jahre bedeutet.

$$0,08 x = 0,69; x = 8,6 \text{ Jahre}$$

das heißt nach 8,6 Jahren wird das Stampfverfahren trotz größerer Anfangskosten bereits billiger sein als das Krampfverfahren.

Aus nachfolgender Tabelle geht hervor, daß nach 10 Jahren trotz Zins und Zinseszins und der höheren Anfangskosten das Stampfverfahren wirtschaftlicher wird (s. auch Abb. 11).

Nach 20 Jahren beträgt die Ersparnis 0,9 Tagschichten; somit in einem Jahr $\frac{0,9}{20} = 0,045$ Tagschichten/m oder mit

andern Worten heisst dies: es sind in den ersten 20 Jahren in jedem Jahre für 1 km Gleis 45 (Tagschichten) $\times 3,30 \mathcal{M}$ (Taglohnsatz) = 148,50 \mathcal{M} weniger für Unterhaltungs- und Erneuerungskosten aufzuwenden als bisher.

Nach dieser Zeit gestaltet sich das Verhältnis noch bedeutend günstiger, da dann nicht mehr Schotter als beim Krampfverfahren benötigt ist und somit die hohen Anfangskosten des Stampfverfahrens entfallen.

Mit Verzinsung zu 4% ergibt sich beim

Krampfverfahren		Stampfverfahren	
Zinsen		Zinsen	
nach dem 1. Jahr:	$0,76 + 0,41 + 0,0304 = 1,20$	Tagschichten	$1,45 + 0,33 + 0,0580 = 1,84$
" " 2. "	$1,20 + 0,41 + 0,048 = 1,66$	"	$1,84 + 0,33 + 0,0736 = 2,24$
" " 3. "	$1,66 + 0,41 + 0,0664 = 2,14$	"	$2,24 + 0,33 + 0,0896 = 2,66$
" " 4. "	$2,14 + 0,41 + 0,0856 = 2,64$	"	$2,66 + 0,33 + 0,1064 = 3,10$
" " 5. "	$2,64 + 0,41 + 0,1056 = 3,16$	"	$3,10 + 0,33 + 0,1240 = 3,55$
" " 6. "	$3,16 + 0,41 + 0,1264 = 3,70$	"	$3,55 + 0,33 + 0,142 = 4,02$
" " 7. "	$3,70 + 0,41 + 0,148 = 4,26$	"	$4,02 + 0,33 + 0,1608 = 4,51$
" " 8. "	$4,26 + 0,41 + 0,1704 = 4,84$	"	$4,51 + 0,33 + 0,1804 = 5,02$
" " 9. "	$4,84 + 0,41 + 0,1936 = 5,44$	"	$5,02 + 0,33 + 0,2008 = 5,55$
" " 10. "	$5,44 + 0,41 + 0,2176 = 6,07$	"	$5,55 + 0,33 + 0,222 = 6,10$
" " 11. "	$6,07 + 0,41 + 0,2428 = 6,72$	"	$6,10 + 0,33 + 0,244 = 6,67$
" " 12. "	$6,72 + 0,41 + 0,2688 = 7,40$	"	$6,67 + 0,33 + 0,2668 = 7,27$
" " 13. "	$7,40 + 0,41 + 0,296 = 8,11$	"	$7,27 + 0,33 + 0,2908 = 7,89$
" " 14. "	$8,11 + 0,41 + 0,3244 = 8,84$	"	$7,89 + 0,33 + 0,3156 = 8,54$
" " 15. "	$8,84 + 0,41 + 0,3536 = 9,60$	"	$8,54 + 0,33 + 0,3416 = 9,21$
" " 16. "	$9,60 + 0,41 + 0,384 = 10,39$	"	$9,21 + 0,33 + 0,3684 = 9,91$
" " 17. "	$10,39 + 0,41 + 0,4156 = 11,22$	"	$9,91 + 0,33 + 0,3964 = 10,64$
" " 18. "	$11,22 + 0,41 + 0,4488 = 12,08$	"	$10,64 + 0,33 + 0,4256 = 11,40$
" " 19. "	$12,08 + 0,41 + 0,4832 = 12,97$	"	$11,40 + 0,33 + 0,456 = 12,19$
" " 20. "	$12,97 + 0,41 + 0,5188 = 13,90$	"	$12,19 + 0,33 + 0,4876 = 13,00$

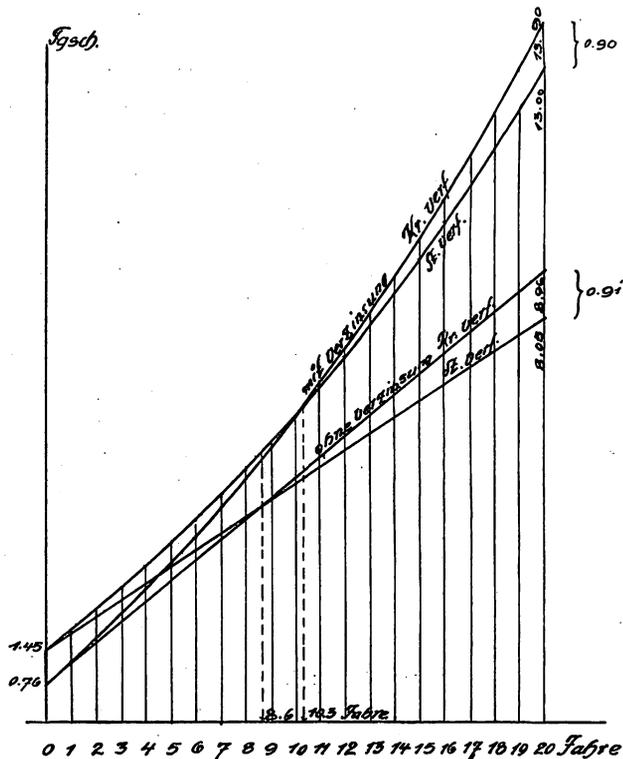


Abb. 11.

Die rechnerische Entwicklung zeigt daher, dass unbedingt auf die Einführung der Stampfbauweise zu drängen ist, da hohe wirtschaftliche Ergebnisse sicher zu erwarten sind, wie die bisherigen Versuchsstrecken bereits zeigen. Eine bayrische

Ministerialentschließung vom Jahre 1923 sagt bereits: »Die großen Vorzüge, die der Stampfbauweise nach dem Stande der Versuche heute schon zugesprochen werden müssen, erfordern es dringend, dass die Reichsbahndirektionen für die Einbürgerung des Verfahrens Sorge tragen.«

Es darf noch auf einen weiteren Umstand aufmerksam gemacht werden, der rechnerisch noch nicht erfasst wurde, der aber wirtschaftlich zur Einführung der Stampfbauweise geradezu zwingt. Nimmt man beispielsweise für den neuen Achsdruck von 25 t nur eine Bettungshöhe von 24 cm unter Schwellenunterfläche an, so ergibt sich nach Abb. 10 eine Höchstdruckgröße für die Bettungssohle von 2,22 kg/qcm. Sucht man nach Abb. 10 für diese Größe die Bettungshöhe einer gleichwertigen Krampfstrecke, so beträgt diese 65 cm und für 30 cm Stampfbettung, sogar 85 cm Krampfbettung. Dieser Unterschied ist sehr überraschend; er ist aber in der langsamen Abnahme der Druckgröße mit Zunahme der Bettungshöhe begründet. Zum Schlusse sei auf eine bisher noch nicht erwähnte Tatsache hingewiesen. Das ist der Umstand, dass es schlechter-

dings nicht möglich ist Holz- oder Eisenschwellen mit größerer Unterbettung als 15 bis 20 cm unter Schwellenunterkante entsprechend stopfen zu können, da die Verkeilung des Schotters durch das Stopfen nur auf eine geringe Tiefe sich auswirkt. Es macht sich daher erfahrungsgemäß nach kurzer Zeit nach Unterstopfen von umgebauten Gleisen eine starke Unruhe in der Gleislage bemerkbar, weil die Verdichtung der Schotterbettung durch die Züge erst allmählich herbeigeführt wird. Es ist daher eine dauernde Nacharbeit erforderlich. Dieser Übelstand wird beim Stampfverfahren von vornherein vermieden und daher ist die Überlegenheit des Stampfverfahrens allein schon durch diese Tatsache erwiesen.

Wanderung der Gleise.

Die Wanderung der Gleise der Stampfstrecke ist etwas stärker als die der Krampfstrecken. Bei den in Tafel 35 dargestellten Bergstrecken (Versuchsstrecken) betrug diese 45 mm im Mittel bei der Stampfstrecke gegenüber 40 mm bei der Krampfstrecke innerhalb derselben Zeit und unter den gleichen Verhältnissen. Der Schotter wurde zwischen den Schwellenfächern der Stampfstrecke nur lose eingefüllt. Da nach neuerer Anordnung auch die Schwellenfächer gestampft werden, so ist zu erwarten, dass der geringe Wanderungsunterschied dadurch aufgehoben wird. Wird statt Schotter Grusbettung oder Kiesandbettung verwendet, so ist dies mit Sicherheit zu erwarten, da die Reibung an der Schwellenunterfläche dadurch vergrößert wird.

Wasserdurchlässigkeit.

Die Bettungsfrage ist in erster Linie auch eine Frage der Wasserdurchlässigkeit. Die Bettungssohle, die Bettung und damit der Oberbau hält sich um so besser, je rascher das Wasser abziehen kann. Hierdurch wird auch ein Aufweichen des Bodens verhindert und dafür gesorgt, dass der zulässige

Bodendruck nicht überschritten wird. Es ist daher dringend zu empfehlen, die in der bayrischen Oberbauvorschrift angegebenen Querneigungen zu 1,87 ‰ bei eingleisigen und 2,26 ‰ bei zweigleisigen Bahnen auf mindestens 3 bis 4 ‰ zu erhöhen, wie dies in der Oberbauvorschrift der früheren preussisch-hessischen Staatsbahn der Fall ist.

Die gestampfte Bettung hat soviel Zwischenraum, daß das Wasser ungehindert abziehen kann. Auch unter der Schwelle, die mit reinem Grus unterfüllt ist, bleibt die Wasserdurchlässigkeit erhalten, da sich nicht wie beim Stopfen Schlagmehl bildet, wodurch der Wasserabzug gefährdet und die Bildung von Graswuchs beschleunigt wird. Durch die gestampfte Bettung dringen nach den gemachten Beobachtungen die Wurzeln des Unkrautes nicht so leicht durch und sterben bei heißer Witterung rascher ab als bei gestopften Strecken.

Wird der gegenüber Schotter um 25 ‰ billigere Grus zu Stampfstrecken verwandt, (auch der billigere Weichsteinschotter kann zu Stampfstrecken verwendet werden) so kann, reiner Grus vorausgesetzt, das Wasser ebenfalls ungehindert abziehen. Die Schmutzstoffe von den Zügen und der Staub von der Umgebung wird von der obersten Grusschichte in größerem Maße als bei Schotter zurückgehalten. Diese Decke wird leichter verfilzen, kann aber nach einer gewissen Zeit ebenso leicht entfernt und wieder ersetzt werden. Das Nacharbeiten solcher Stampfstrecken geht auch leichter und einfacher vor sich, da der unterzubringende Grus bereits an Ort

und Stelle ist und auch die Schwellen von dem umgebenden Grus rascher freigelegt werden können als bei Schotter.

Gesamtergebnis.

In vorstehender Abhandlung wurden in großen Zügen die Umrisse gegeben, die für eine wirtschaftliche Gestaltung der Bettung maßgebend sind. Nun lassen sich die angestellten Untersuchungen, die nur für Holzschwellen durchgeführt wurden, auch auf Eisenschwellen übertragen. Auch in dieser Beziehung liegen bereits günstige Ergebnisse vor. (z. B. in Oldenburg, eisenbahntechnische Tagung in Berlin 1924).

Bis zur allgemeinen Einführung der Stampfbauweise wird noch einige Zeit vergehen. In dieser Übergangszeit sollten jedoch, wie es in meinem Bezirke bei allen umzubauenden Strecken geschieht, auch wenn sie nachher gekrampt werden, auf jeden Fall Bettungssohle und Bettung bis ungefähr 5 cm unter Schwellenunterfläche gestampft werden; denn auch dieses Verfahren hat sich sehr gut bewährt. Allgemein läßt sich sagen, daß die Stampfbauweise nach den gemachten Beobachtungen auch weiterhin sehr günstige Ergebnisse erwarten läßt.

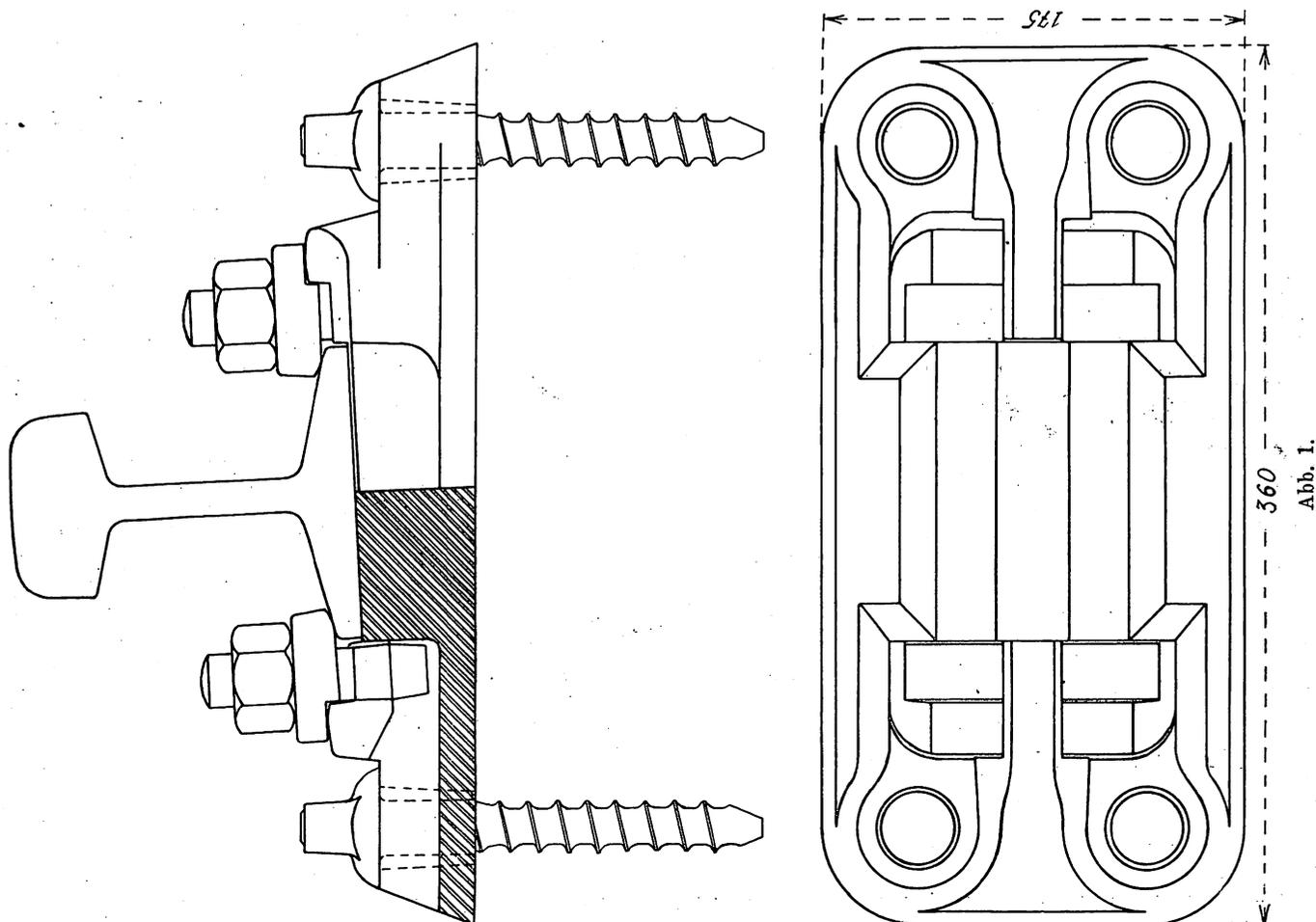
Es wäre daher sehr zu begrüßen, wenn durch großangelegte Versuche die Größe der Druckübertragung und der Wert der Bettungsziffer bei verschiedenen Bettungen und Bodenarten für Stampfstrecken ermittelt würde, um die wirtschaftlichste Bettungsgestaltung in jedem Einzelfalle möglichst genau zu erhalten; denn diese Arbeit würde sich, wie vorstehend nachgewiesen wurde, sehr reichlich lohnen.

Eine Beobachtung am Oberbau auf hölzernen Schwellen mit gußeisernen Stühlen.

Von Ing. Ch. Driessen, Abteilungsvorstand der Niederländischen Eisenbahnen in Utrecht.

Seit 1912 hat die Gesellschaft für den Betrieb der Niederländischen Staatseisenbahnen für ihre schwersten Schienen des Normalprofils von 46 kg/m die Auflagerung auf hölzernen

Schwellen und gußeisernen Stühlen mit getrennter Befestigung eingeführt. Diese Konstruktion wurde, nachdem die Belangengemeinschaft mit der Holländischen Eisenbahngesellschaft ein-



gerichtet worden war, für das ganze Eisenbahnnetz auf den Strecken mit dem schwersten Verkehr angenommen. Abb. 1



Abb. 2.

Die Konstruktion hat sich gut bewährt; die Gleise lassen sich, auch bei schlechtesten Bodenverhältnissen, angenehm befahren, wobei die Unterhaltungskosten erheblich niedriger sind als bei den Gleisen älterer Zusammenstellung. Auf verschiedenen Strecken ist es somit möglich gewesen, infolge des Einbaues des neuen Systems die Anzahl der Rotten einzuschränken.

Da selbstverständlich beim Befahren der Gleise einige Bewegung zwischen Schiene und Stuhl auftritt, ist bei den Berührungsflächen auch etwas Verschleiß zu bemerken. Es hat sich aber gezeigt, daß dieser Verschleiß sehr gering ist und daß, gute Montage der Stühle auf den Schwellen und gute Unterhaltung der Gleise — die aber sehr einfach und wenig kostspielig ist — vorausgesetzt, die Stühle eine sehr lange Zeit aushalten werden. Bruch in den Stühlen kommt verhältnismäßig wenig vor.

1913 wurde die Strecke Meppel — Hoogeveen in der Linie nach Groningen zum Teil mit Schienen N. P. 46 auf hölzernen Schwellen mit gußeisernen Stühlen ausgerüstet. Als im Frühjahr 1925 der ständige Streckeningenieur berichtete, es sei nötig, etwa 50 kieferne Schwellen wegen Verfaulung auszuwechseln, gab dies Veranlassung, diese Schwellen einer näheren Besichtigung zu unterziehen, obwohl die Zahl der auszuwechselnden Schwellen nur ein kleiner Bruchteil der auf der Strecke verlegten Anzahl war.

Die Beobachtungen können am besten an den Abb. 2, 3 und 4 erörtert werden. Im Lichtbilde Abb. 2 sind einige Schwellen dargestellt, Schwelle Nr. 1 außerdem für sich im Lichtbild Abb. 3, aber aus kleinerer Entfernung aufgenommen. Man erkennt, daß die Schwellen zwischen den Stühlen und besonders in ihrer näheren Umgebung verfault sind. An der Obenseite der Schwelle 1 sieht man sogar, daß die Verrottung beim Stuhl aufhört. An anderen Stellen hat sich die Verfaulung ein wenig unter dem Stuhl fortgesetzt; nirgends aber fängt diese unter dem Stuhl an.

Bevor die Stühle von den Schwellen abgeschraubt wurden, hat man die Schwellenschrauben einzeln nachgedreht. Es zeigte sich dabei, daß die meisten noch ganz safsen, einige aber ein wenig gedreht werden konnten. Nur sehr wenige konnten stärker nachgedreht werden. Diese safsen ausnahmslos an den Stellen, wo die Verfaulung von der Seite aus sich unter dem Stuhl ausgebreitet hatte. Trotz den verfaulten Stellen hätten wenn nötig, die Schwellen ohne Gefährdung der Betriebssicherheit wahrscheinlich noch einige Zeit in der Bahn liegen können.

Einen Schnitt durch die Schwellen 1, 2 und 4 mitten durch die Auflagerstelle zeigt Abb. 4. Diese Schnitte geben aber über die Ursache des Verfaulens keinen Aufschluß. Die Schwellen sind mehr oder weniger durchtränkt, wie das bei kiefernen Schwellen allgemein ist. Bei der Schwelle 1 tritt deutlich hervor, daß durch die Vorbohrung der Schwellen das Teeröl Gelegenheit gefunden hat, sich auch zum Teil im Kernholz zu verbreiten; die zwei schwarzen Striche, die man im Kernholz sieht, befinden sich ungefähr an der Stelle, wo die Löcher für die Schwellenschrauben safsen. Sie rühren vom Teeröl her, das sich von diesen Löchern aus durch die Längskanäle im Holz verbreitet hat.

Wie man aus der Abb. 2 sieht, ist die Eindrückung der Stühle in den Schwellen nach 12jährigem Betriebe auf einer ziemlich stark, mit der größten Geschwindigkeit und den größten Radlasten befahrenen Strecke sehr gering. Diese Beobachtung wurde auf allen Strecken, die mit Stuhlschienenoberbau ausgestattet sind,



Abb. 3.



Abb. 4.

zeigt den Stuhl, der 14 kg wiegt, im Schnitt, in der Ansicht und Draufsicht.

befahrenen Strecke sehr gering. Diese Beobachtung wurde auf allen Strecken, die mit Stuhlschienenoberbau ausgestattet sind,

gemacht; das war zu erwarten, da die Auflagerfläche der Stühle sehr groß ist, und zwar $36 \times 17\frac{1}{2} = 630$ qcm. Die Konstruktion hat sich in dieser Hinsicht so außerordentlich gut bewährt, daß zu überlegen wäre, den Stuhlschienenoberbau auf kiefernen Schwellen auch in den Krümmungen zu gebrauchen.

Aus den erwähnten Beobachtungen sind m. E. hauptsächlich zwei Schlüsse zu ziehen:

1. daß bei Stuhlschienenoberbau noch mehr als sonst Wert zu legen ist auf eine intensive Tränkung der Schwellen,

da diese voraussichtlich nicht wegen mechanischer Zerstörung, sondern ausschließlich wegen Verfaulens ausgebaut werden müssen;

2. daß es zum Schutz der Schwellen gegen Verfaulen von Wert ist, diese so viel wie möglich abzudecken; wenn auch die Bedeckung mit Schotter, Kies oder Sand als Schutz gegen Sonnenbrand und sonstige Witterungseinflüsse nicht so wirksam sein wird wie der, den die Auflagerflächen durch den gußeisernen Stuhl genießen.

Bericht über die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

Bahn-Unterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

Beseitigung von Unkraut in Eisenbahngleisen.

Das Entkrauten der Eisenbahngleise mit den gewöhnlichen Haushaltsmitteln verursacht den Eisenbahnverwaltungen von je her große Ausgaben. Man hat daher seit langem versucht, durch maschinelles oder chemisches Entkrauten diese Kosten möglichst herabzumindern. Bei französischen und Schweizer Bahnen wurde die maschinelle Entkrautung bisher schon auf der freien Strecke angewendet, während das Entgrasen auf chemischem Wege nur in Bahnhöfen, Harfengleisen und dergleichen durchgeführt wurde.

1. Maschinelles Entgrasen (Beseitigung des Unkrautes und Auflockerung des Schotterbettes).

Die maschinelle Entkrautung erfolgt durch eine Maschine, die von dem Schweizer Ingenieur Scheuchzer erfunden ist, und die durch eine Lokomotive geschoben wird. Die Vorrichtungen zum Entkrauten sind Messer und Pflüge, welche in den Schotter eindringend die Wurzeln herausreißen oder abschneiden. Es sind drei derartige Messer vorhanden: eines zwischen den Schienen und je eines seitlich der Schienen auf Schwellenlänge. Die Pflüge sind für den Zwischenraum zwischen den Gleisen und für die Außenseite des Gleises bestimmt. Die drei Messer, welche zwischen den Schwellen arbeiten, dringen in jedem Feld in den Schotter ein und werden zum Überschreiten der Schwellen herausgehoben. Dies erfolgt durch Laufrollen, welche im Sinne der Fahrtrichtung vor den Messern angebracht sind. Sobald diese Rollen auf die Schwelle treffen, werden die Messer durch eine besondere Anordnung gehoben. Der kleinere Pflug zwischen den Gleisen dringt in den Schotter ein und nimmt das Unkraut bis zur Hälfte des Zwischenraumes der Schwellen der beiden Gleise mit. Der äußere, große Pflug arbeitet von Schwellenende bis zur äußeren Kante des Schotterbettes. Diese Vorrichtungen sind auf einen zweiachsigen Wagen aufgebracht. Die Maschine wird noch vervollständigt durch eine zylindrische Metallbürste und zwei Rechen, welche an der Rückseite des Wagens angeordnet sind.

wendigen Dampf aus der Schubmaschine erhält, in eine schwingende Bewegung um den Drehpunkt A versetzt. Die beiden Pflüge und die Bürste werden durch Preßluft, die gleichfalls von der Lokomotive kommt, in die Arbeitsstellung gebracht und aus dieser zurückgenommen. Die Messer werden mit einer Kraft von etwa 4000 kg bis auf Tiefe der Schwellenunterkante in die Bettung gestossen und beseitigen das Unkraut auf die ganze Schwellenlänge. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein eines wirklich vorschriftsmäßigen Schotterbettes, während bei altem verfilztem Graswuchs die Wirkung nur unvollständig ist. Gleiches gilt auch für die beiden Pflüge, die man bei ungenügender Bettung und bei Vorhandensein von Pack-



Abb. 1.

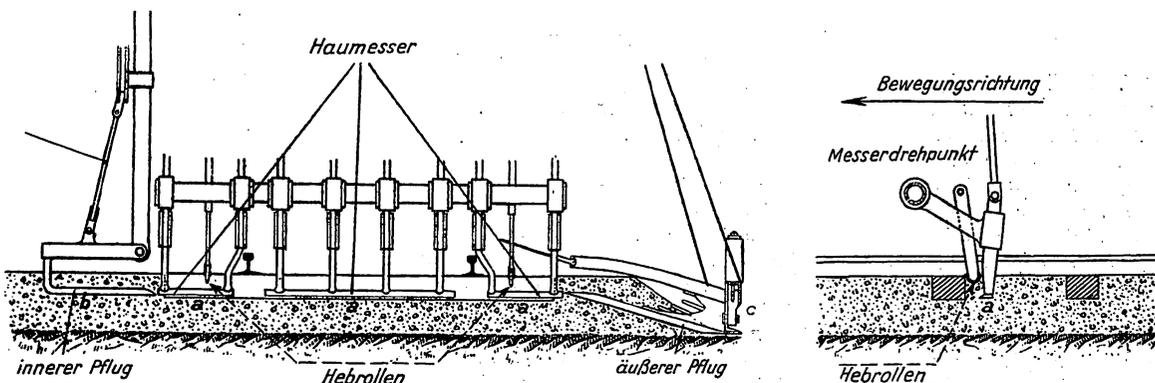


Abb. 2.

Die Bürste und die Rechen bringen das Schotterbett nach Möglichkeit wieder in Ordnung. Wenn leer, d. h. ohne zu arbeiten, gefahren wird, können die Messer und Pflüge aus ihrer Arbeitsstellung gehoben werden. Wenn die Maschine arbeiten soll, werden die am Ende von Armen wagrecht befestigten Messer durch einen Dampfzylinder, der auf der Bühne des Wagens steht und den not-

lage besser nicht arbeiten läßt. Wenn die Rollen, die sich auf dem Schotter bewegen, auf eine Schwelle aufsteigen, erfolgt eine Umsteuerung des Dampfes. Infolgedessen werden die Messer gehoben, so daß sie die Schwellen überschreiten ohne sie zu beschädigen. Bei alten, morschen Schwellen haben sich Stücke abgesplittert. Die beiden Pflüge in Arbeitsstellung gebracht, werden durch die Schub-

lokomotive im Schotterbett vorwärts geschoben. Das Drehen der Metallbürste wird durch die Hinterachse des Wagens bewirkt, mit der sie durch einen Kettenantrieb in Verbindung steht. Sämtliche Teile können an besonderen Stellen, wie Festpunkten, schienengleichen Übergängen usw. ohne Verminderung der Fahrgeschwindigkeit ausgehoben werden. Bei eingeleigten Linien kann auf beiden Seiten mit großen Pflügen gearbeitet werden. Die Maschine kann je nach Erfordernis mit sämtlichen oder einzelnen Werkzeugen arbeiten. Bei voller Arbeit leistet die Maschine 4 bis 5 km/Std. Mit größerer Geschwindigkeit kann gefahren werden, wenn nur die Pflüge eingesetzt sind. Die Maschine wird von vier Mann unter der Leitung eines Ingenieurs bedient. Je ein Mann hat die Bedienung der Messer, des inneren, des äußeren Pfluges und der Bürste. Für das Personal, das monatelang unterwegs ist, wird ein besonderer Wohnwagen mitgeführt, der an die Lokomotive angehängt ist. (In letzter Zeit wurde in einer größeren Zahl von Bauinspektionsbezirken Bayerns die maschinelle Entkrautung mit dieser Maschine vorgenommen.)

2. Chemisches Entgrasen.

Dieses Verfahren besteht im Begießen des Schotterbettes mit einer unkrautvernichtenden Flüssigkeit. Die Wirksamkeit dieser Verfahren und der verhältnismäßig niedere Preis der Soda, die die Basis der meisten dieser Mittel bildet, haben verschiedene Eisenbahngesellschaften veranlaßt, eine praktische Arbeitsweise hierfür zu finden. Zu diesem Zweck wurden mit Zerstäubungsapparaten Versuche gemacht, mittels deren die Pflanzen und der Boden mit der Flüssigkeit in sehr konzentrierter Lösung besprengt wurde. Man konnte mit einer geringen Flüssigkeitsmenge selbst die hartnäckigsten Pflanzen wie Schachtelhalm, Quecke, Brombeer usw. bis auf die Wurzel ausrotten. Die günstigste Jahreszeit für dieses Verfahren ist das Frühjahr, solange das Unkraut noch nicht ausgeschossen ist. Aber auch später ist das Verfahren noch wohl anwendbar, wenn zuerst das Unkraut gemäht worden ist. Die besten Erfolge wurden bei nebligem oder feuchtem Wetter erzielt. Der Apparat besteht aus einem zylindrischen kupfernen Behälter der von einem Arbeiter auf dem Rücken getragen wird. Eine Pumpe sorgt jederzeit für den richtigen Druck im Kessel. Die Flüssigkeit wird mittels eines Gummischlauches, an dem sich ein Mundstück befindet, auf die Pflanzen gestäubt. Der Inhalt des Behälters beträgt neun Liter und reicht zur Bearbeitung von 180 bis 170 qm (auf 1 km Gleis 280 bis 320 Liter) wobei auf ein Liter Wasser 250 g Soda genommen werden. Der Kessel entleert sich in etwa sieben Minuten und kann in zwei Minuten wieder gefüllt werden. Das Gesamtgewicht beträgt 15 kg. Die Arbeit ist in keiner Weise gesundheitsschädlich. Das Verfahren, das mit billigen Apparaten durchgeführt werden kann, hat gegenüber der maschinellen Entkrautung den Vorteil, daß man damit überall arbeiten kann, während dies im anderen Fall z. B. bei Weichen, Kanälen usw. nicht möglich ist, da hier die Messer und Pflüge ausgehoben werden müssen. Jeder Bahnmeister hat bei diesem Verfahren die Möglichkeit, sich die geeignetste Zeit für die Arbeit auszuwählen, während bei Verwendung der Maschine diese nicht immer zur Hand ist, da sie wegen ihres hohen Preises für das Bearbeiten eines größeren Gebietes bestimmt sein muß. Wa.

Getrennte Bettungs- und Gleiserneuerung.

(„Der Bahnbau“ 1925, Nr. 3.)

Geh. Baurat Samans, der Verfasser der preussischen Oberbauvorschriften, die den getrennten Umbau vorschreiben, gibt über den Zweck dieser Maßnahme interessante Aufschlüsse, die um so beachtenswerter sind als anderwärts, z. B. im bayrischen Netz, bisher fast ausschließlich die Bettung gleichzeitig mit dem Gleis umgebaut wurde.

Zunächst soll durch einen getrennten Umbau das allgemeine Durcheinander, das beim gleichzeitigen Umbau auf verkehrsreichen Strecken eintritt, ein überhasteter Gleiseinbau und eine übermäßige Belastung des Bahnmeisters im Interesse der Bahnunterhaltung vermieden werden.

Ferner soll, da neue Schotterbettung bis zur festen Lage gewöhnlich dreimal gestopft werden muß und durch die in der Zwischenzeit vorhandene Unruhe das Gleis von Anfang an geschädigt wird, dem alten Oberbau die Aufgabe des Festfahrens der Bettung übertragen werden.

Es wird aber zugegeben, daß der getrennte Umbau höhere Kosten — wenigstens für den Umbau selbst — erfordert.

Der vorzeitige Bettungsombau erscheint trotzdem für viele Fälle wohl begründet, und es sollte die Bettung für einen Gleisumbau stets schon im Vorjahr vollständig eingebaut werden — mindestens soweit verkehrsreiche Strecken in Betracht kommen. A. W.

Schutz der Züge gegen Steinschlag in Amerika.

Wie in Railway Age 1925, Heft 3, beschrieben ist, kam man im Jahre 1921 bei der Northern Pacific auf den Gedanken, selbsttätige Signale aufzustellen, die den Zügen die Unfahrbarkeit des Gleises wegen erfolgten Steinschlages anzeigen sollen. Zu diesem Zweck wurden in gefährlichen, felsigen Einschnitten längs der Gleise Zäune aus starkem Maschendraht aufgestellt und diese mit dem Signal in Verbindung gebracht. Im Jahre 1923 wurde der erste derartige Zaun bei St. Regis gebaut. Er besteht aus einzelnen Abteilungen von gewöhnlich 60 bis 70 m Länge. Die Drähte sind an den Endpfosten der Abteilungen festgemacht, während sie an den Zwischenpfosten nur durch Ösen gehalten sind, durch die sie hindurchgleiten können. Durch Federn wird der Draht in Spannung gehalten, jedoch so, daß beim Anprall eines schweren Steines ein Durchbiegen möglich ist. Dies hat zur Folge, daß ein am Ende der Drähte angebrachter Stöpsel eines Steckkontaktes herausgerissen wird. Dadurch wird ein Stromkreis geöffnet und das Signal in Gefahstellung gebracht. Bei St. Regis wurden durch diese Vorrichtung bei sieben kleineren Steinschlägen zehn Züge und bei drei größeren zwei Züge zum Halten gebracht. In einer größeren Zahl derartiger Einschnitte wurden bereits solche Zäune errichtet. So besteht z. B. die Anlage im Yakima Canyon aus zehn Abteilungen mit 17 Kontakten bei einer Länge von rund 1600 m. Die früher aufgestellten Wärter kamen dadurch fast gänzlich in Wegfall. Auf Grund von Erfahrungen wurde die Einrichtung so geändert, daß nicht bei jedem Steinschlag die Signale ausgelöst werden, sondern nur in den Fällen, in denen tatsächlich eine Entgleisungsgefahr für die Züge vorliegt. Wa.

Zur Nachricht.

16. Ergänzungsband des Organs.

Bericht über die Arbeiten des Technischen Ausschusses in der Frage der selbsttätigen durchgehenden Güterzugbremse.

Nach dem Beschluß der Vereinsversammlung in Dresden am 12. und 13. Dezember 1923 gibt der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen im Dezember einen zusammenfassenden Bericht über die langjährigen Arbeiten des Technischen Ausschusses in der Frage der Ausbildung einer selbsttätigen durchgehenden Güterzugbremse heraus. In einer kurzen Schilderung der Versuche und in zahlreichen Tabellen und Zeichnungstafeln wird er die Entwicklung der verschiedenen, vom Verein erprobten Bremssysteme bis zu ihrer Eignung als durchgehende Güterzugbremse enthalten. Auch wird über den gegenwärtigen Stand der durchgehenden Bremse bei Personen- und Schnellzügen in einzelnen Vereinsländern berichtet. Die Ausbildung einer durchgehenden Güterzugbremse hat den Verein über 15 Jahre beschäftigt. Es mußten viele langwierige und kostspielige Versuche ausgeführt werden, um die von den verschiedenen Verwaltungen

gewählten Bremssysteme zu einer geeigneten Güterzugbremse auszubilden. Die hierbei geleistete wertvolle Arbeit ist in zahlreichen Niederschriften des mit dieser Aufgabe betraut gewesenen Unterausschusses des Technischen Ausschusses des Vereins enthalten. Da diese der Öffentlichkeit nicht allgemein zugänglich gemacht werden können, ist die Herausgabe des besonderen Berichtes sehr zu begrüßen, um so mehr als die Frage der Einführung einer durchgehenden Güterzugbremse zur Zeit alle Eisenbahnländer in Europa beschäftigt. Das Werk wird daher nicht nur für die Eisenbahnverwaltungen aller Länder, sondern auch für die industriellen Kreise von großem Nutzen sein, da es eine Fundgrube von Erfahrungen ist und zweifellos die besten Unterlagen bietet, um diese wichtige Frage aus dem Gebiete des Eisenbahnwesens immer weiter zu vervollkommen und auszubilden.

Das Werk erscheint im Dezember als 16. Ergänzungsband zum „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“ und kann im Verlag von C. W. Kreidel in München zum Preise von 40.00 M bezogen werden. C.