

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Dr. Ing. Heinrich Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

92. Jahrgang

15. Juni 1937

Heft 12

Zur Ermittlung der im Steg von Eisenbahnschienen winkelrecht zur Längsrichtung wirkenden Oberflächenspannungen.

Von Dr. R. V. Baud, Abteilungsvorsteher der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt, Zürich.

Inhaltsangabe.

Bei jedem auf Biegung beanspruchten Balken sind außer den Längsspannungen noch Berührungsspannungen und gegebenenfalls Biegungs-Zusatzspannungen vorhanden — in dieser Arbeit sind sie kurz als Querspannungen bezeichnet — die, obschon unmittelbar wirksam, vielfach unberücksichtigt bleiben und die von der Belastungsstelle aus räumlich abklingen, also eine Funktion des Abstandes sind. Abhängig ist die Größe der Querspannung außerdem von der Form des Körpers. Die Gestaltwirkung kann in photoelastischen Versuchen an flachen, Schnittstücke senkrecht zur Schienenlängsachse darstellenden Probekörpern untersucht werden. Es bleibt dann als Unbekannte noch die Raumwirkung, die jedoch an Hand von Dehnungsmessungen an verlegten Schienen und den in dieser Arbeit angegebenen, ergänzten Formeln der Festigkeitslehre bestimmt werden kann. Sind sowohl die Gestalt- als auch die Raumwirkung bekannt, dann können die tatsächlichen Spannungen eines Querschnittes zum voraus berechnet werden; außerdem kann der günstigste Querschnitt gefunden werden.

Zur Ermittlung der die Gestaltwirkung kennzeichnenden Gestaltziffern wurden bisher mittige, lotrechte Belastung, Belastung durch Einzelquerkraft und außermittige, lotrechte Belastung photoelastisch untersucht. Für die gleichen Belastungsarten können die Raumziffern, die die Raumwirkung zum Ausdruck bringen, einem von Timoshenko und Langer ausgeführten Dehnungsmeßversuch entnommen werden. Auf Grund dieser Werte lassen sich die tatsächlichen Spannungen zweier Querschnitte, wovon Form II ein Vorschlag des Verfassers darstellt, berechnen und vergleichen. Diese Form zeigt infolge Verstärkung im oberen Stegteil eine bedeutende Abminderung der größten Querspannung.

Die bei einem gegebenen Querschnittsmaß unter Umständen greifbare Möglichkeit der Stoff- und Gewichtersparnis bei allseitig wohl abgewogener Formgebung einerseits, die Zunahme der Achsdrücke und die Steigerung der Zuggeschwindigkeiten andererseits, die an sich größere Schienenquerschnitte erfordern, lassen weitere Forschung in dieser Richtung als wünschenswert erscheinen.

I. Einleitung.

Die Forschung auf dem Gebiet der angewandten Mechanik bezweckt zum ersten, sichere Rechnungsgrundlagen zu schaffen, was verschiedene Vorteile bietet; so kann u. a. auf Grund solcher Unterlagen den Körpern die günstigste Form gegeben werden. In diesem Sinne soll auch die vorliegende Arbeit einen Beitrag bilden, indem in ihr ein Vorgehen beschrieben ist, das zur Ermittlung der in Trägern von verwickelten Querschnittsformen senkrecht zur Längsachse gerichteten, fernerhin kurz als Querspannungen bezeichneten Oberflächenspannungen geeignet ist¹⁾. Damit ist dann auch der Weg zur Ermittlung des günstigsten Querschnitts für Eisenbahnschienen — vom Gesichtspunkt der Beanspruchung durch die Querspannungen aus beurteilt — weitgehend geebnet. Daß hierzu die der Festigkeitslehre zugrunde liegende Formelgruppe in unveränderter Form und Anwendungsweise und in ihrem üblichen Anwen-

¹⁾ Wir beschränken uns damit auf die Ermittlung der Randspannungen in spiegelgleichen Schnitten, d. h. auf Schnitte, die einerseits durch die Kraftangriffsstelle, andererseits mitten zwischen den Schwellen oder durch die Schwelle gehen, vergl. Wahlstellungen der Angriffsstelle in bezug auf die Schwellen Abb. 1a und Abb. 1b. Diese zwei hauptsächlich in Frage kommenden Schnitte sind in dieser Arbeit als Hauptschnitte bezeichnet.

dungsgebiet in der Regel nicht genügt, liegt nahe. So werden beispielsweise bei Eisenbahnschienen meist nur die auf Grund der üblichen Biegungsformel berechneten Längsspannungen in Erwägung gezogen. Demzufolge wären zwei Eisenbahnschienen von gleichem Widerstandsmoment gleichwertig, gleichgültig, wie der Querschnitt im einzelnen geformt ist. Es ist jedoch bekannt, daß noch eine Reihe anderer Momente eine wichtige Rolle spielen, wovon die in diesem Zusammenhang wichtigsten im Abschnitt II folgen.

II. Begriff der Raumwirkung.

Vor allem sind außer den durch Biegung hervorgerufenen Längsspannungen auch die Berührungsspannungen zu berücksichtigen, im vorliegenden Fall namentlich die Berührungsspannungen zwischen Rad und Schiene einerseits, Schiene und

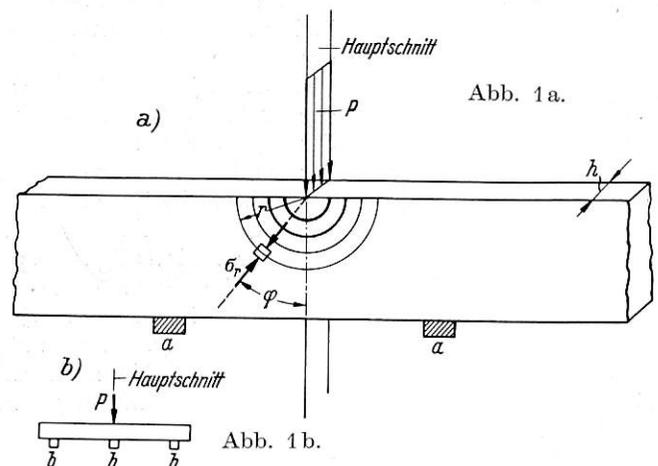


Abb. 1. Berechnung der Berührungsspannung σ_r . Begriff des Hauptschnittes a) Hauptstellung a, b) Hauptstellung b.

Oberbau andererseits. Diese Spannungen können bei Halbebenen von angenähert gleichbleibender Breite h mittelst der von Boussinesq aufgestellten Formel:

$$\sigma_{P(\varphi)} = \frac{P \cos \varphi}{h r} \dots \dots \dots 1)$$

berechnet werden, vergl. Abb. 1a. Aus dieser Formel ist ersichtlich, daß mit der Zunahme des räumlichen Abstandes r von der Belastungsstelle die Spannung hyperbolisch abnimmt. Dieses räumliche Abklingen der Spannung, das bei Querschnitten von stark veränderlicher Breite h entsprechend verwickelter wird, ist in den späteren Ausführungen als Raumwirkung bezeichnet.

Ferner muß der Art der Belastung und der durch diese Belastung hervorgerufenen Formänderung Rechnung getragen werden. Je nach Abnutzung der Schiene und Krümmung des Gleises treten geneigte Belastungen auf, die gemäß Abb. 2 bis 4 in ihre Grundkräfte zerlegt werden können²⁾. Bei außer-

²⁾ Nebenkräfte in Längsrichtung der Schiene, die hauptsächlich infolge Reibung auftreten, werden hier nicht berücksichtigt, d. h. wir betrachten nur in den Hauptschnitten liegende Kräfte bzw. Kraftanteile.

mittiger, lotrechter Belastung, Abb. 3a, ist außer der mittig zu denkenden Einzellast P noch das Moment $M = eP$ zu übertragen (Abb. 3b). Infolge eines solchen Momentes (Abb. 3),

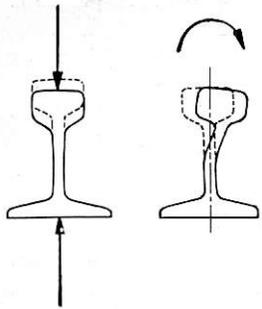


Abb. 2. Mittige, lotrechte Belastung.

Abb. 3. Wirkung eines Momentes.

biegt sich die Schiene verhältnismäßig wenig, und was wichtig ist, ohne Doppelkrümmung des Hauptschnittes durch. Anders verhält es sich bei der Belastung durch eine Querkraft, wo die Formänderung eine Gegenbiegung aufweist (Punkt I in Abb. 4). Betrachtet man ein kurzes Schnittstück — das man sich senkrecht zur Schienenlängsachse herausgeschnitten denke — dann überträgt ein Schnitt durch Punkt I senkrecht zur Mittelachse des Schnittstückes bekanntlich kein Moment, sondern nur eine Schubkraft, so

daß man sich die Schiene auf diese Weise aufgeschnitten und durch die in I wirkende Querkraft Q belastet denken kann (Abb. 4a). Die Momentenverteilung ist somit bei dieser

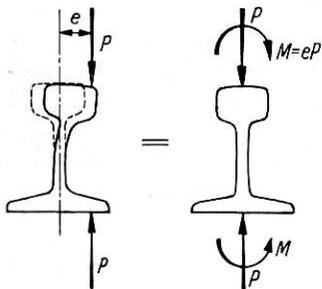


Abb. 3a.

Abb. 3b.

Abb. 3a. Doppelwirkung einer außermittigen, lotrechten Kraft. Abb. 3b. Zerlegung in Moment und Einzelkraft.

Belastungsart durch die Gerade AB in Abb. 4b dargestellt und nicht, wie man vermuten könnte, durch CD.

Zu obigen Gesichtspunkten in bezug auf die Berechnungsgrundlagen für den Steg kommen diejenigen hinsichtlich der Gestaltung des Kopfes und des Fußes hinzu, die aber in der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet werden. Die hier gestellte Aufgabe liegt vielmehr darin, die Querspannungen im Steg, namentlich diejenigen im oberen Querschnittübergang, zu unter-

suchen. Diese Spannungen können ihrer Größe nach recht beträchtlich, ja ein Vielfaches der von der Biegung durch das Moment:

$$M_{\max} = \frac{P}{4} \sqrt{\frac{4EI}{k}} \dots \dots \dots 2)$$

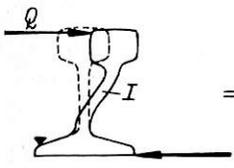


Abb. 4. Belastung durch Querkraft.

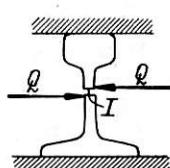


Abb. 4a. Berechnungsgrundlage für die Belastung durch Querkraft.

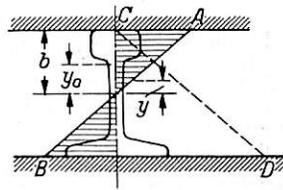


Abb. 4b.

herrührenden größten Längsspannung:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{I} \cdot y_{\max} \dots \dots \dots 3)$$

sein³⁾ und infolgedessen oft glattweg die Ursache von Längs-

³⁾ Formel 3) ist genau betrachtet, eine Annäherung, indem bei derartigen Querschnitten die Annahme des Ebenbleibens des Querschnittes nicht völlig erfüllt ist. Auf Grund der Gl. 2) und 3) errechnet sich für den Scheitelpunkt 0 des Profils I, Abb. 12 mit

- P = 18160 kg,
- k = 100 kg/cm²,
- I = 3025 cm⁴,
- y_{max} = 8,99 cm

rissen, besonders in den oberen Querschnittübergängen, darstellen. Soll ein Festigkeitsnachweis geführt werden, so darf sich ein solcher u. E. nicht mit der ausschließlichen Feststellung der Längsspannung nach Gl. 2) und 3) begnügen, deren einseitige Berücksichtigung nebenbei gesagt dazu verleitet, die Längsspannung ausschließlich aus der Längsdehnung zu bestimmen, was natürlich zu ungenauen Werten führt; denn wie aus obigen Betrachtungen hervorgeht, ist der Spannungszustand an der Oberfläche zweiachsig — vom dreiachsigen Berührungsgebiet abgesehen. Für solche Spannungszustände sind bekanntlich die hier der Vollständigkeit halber wiedergegebenen Formeln:

a) für die Längsrichtung:

$$\sigma_1 = (\epsilon_1 + \nu \epsilon_2) \frac{E}{1 - \nu^2} \dots \dots \dots 4a)$$

b) für die Querrichtung:

$$\sigma_2 = (\epsilon_2 + \nu \epsilon_1) \frac{E}{1 - \nu^2} \dots \dots \dots 4b)$$

heranzuziehen, wobei es sich bei ϵ_1 und ϵ_2 um die Dehnung senkrecht zum Hauptschnitt und die im Hauptschnitt selbst, also um die Hauptdehnungen handelt.

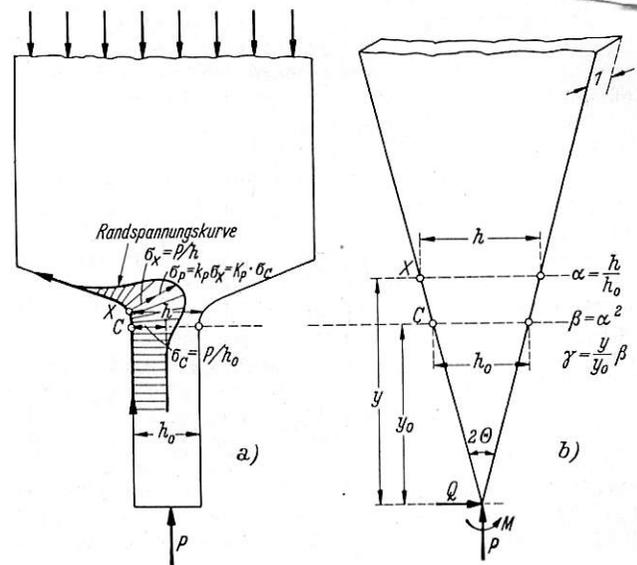


Abb. 5. Darstellung a) der Gestaltwirkung bei einem Querschnittübergang, b) zum Begriff der Formwerte α , β , γ .

III. Begriff der Gestaltwirkung.

Bei einem Körper von der in Abb. 5a dargestellten Form und Belastung bleiben die Randspannungen im unter schlanken Teil gleich, nehmen sodann in der angedeuteten Richtung, d. h. nach oben zu, erreichen einen Größtwert und sinken hierauf auf Null ab, während man eine stetige Abnahme erwarten sollte, da ja die Querschnittfläche nach oben zunimmt. Diese Abweichung sei als „Gestaltwirkung“ des Querschnitts bezeichnet. Um die Gestaltwirkung zahlenmäßig zu erfassen, kann man das Verhältnis aus der wirklichen in einem gewissen Punkt (z. B. Punkt X) vorhandenen Spannung σ_P oder σ_Q oder auch σ_M und der für denselben Punkt X aus der Grundformel berechneten Spannung σ_X bilden. Dieser, als Formzahl k bezeichnete Quotient kann im weitesten Sinn als die Zahl aufgefaßt werden, die der Abweichung der tatsächlichen Spannung von der aus der Grundformel berechneten Spannung Rechnung

M_{\max} zu 566 000 emkg und σ_1 zu - 1680 kg/cm². Vergleichsweise ist die im Trennschnitt infolge einer Querkraft $Q = P/2$ vorhandene Querspannung (sogar ohne Berücksichtigung der Gestaltwirkung) bereits viel größer, nämlich ± 4080 kg/cm², vergl. Abschnitt VIII.

trägt, gleichgültig welcher der eigentliche Grund dieser Abweichung ist. Wenn die Formzahl so festgelegt wird, braucht sie nicht notwendigerweise auf einer Kerbwirkung zu beruhen⁴⁾.

Statt die aus der Grundformel berechnete Bezugsspannung auf den jeweilig betrachteten Punkt X zu beziehen, kann man als Bezugspunkt einen möglichst einwandfrei bestimmbar Festpunkt C wählen, was gewisse Vereinfachungen mit sich bringt. Der so aus der wirklichen Spannung, z. B. σ_P im Punkt X und der für den Festpunkt C aus der Grundformel berechneten Spannung σ_C berechnete Quotient K wird als Formziffer bezeichnet⁵⁾. Indem man dann die eigentliche Formgebung noch durch Einführung der Formwerte:

$$\alpha = \frac{h_0}{h}; \quad \beta = \alpha^2; \quad \gamma = \frac{y}{y_0} \cdot \beta \dots \dots \dots 5)$$

berücksichtigt (vergl. Abb. 5b), ergeben sich aus obigen Begriffsbestimmungen, angewandt auf die drei in Frage kommenden Belastungsarten (Abb. 2 bis 4), die in Übersicht 1 gegebenen Ausdrücke und Beziehungen. Aus diesen geht hervor, daß die auf Grund von Messungen ermittelten Gestaltziffern k, K unter gewissen Einschränkungen⁶⁾ vom Modell- und Belastungsmaßstab unabhängig sind.

falls in einfacher Weise erfaßbar ist, vergl. Beispiel Abschnitt VII dieser Arbeit, so daß dieser Teil der Aufgabe als gelöst betrachtet werden kann.

Sind nun die Raumziffern für eine bestimmte Querschnittsgröße bekannt, dann kann die zweite Teilaufgabe gelöst werden, d. h. es können die wirklichen Querspannungen — das sind die in der verlegten Schiene zu erwartenden Spannungen — für eine andere Schiene von ungefähr gleicher Größe, aber anderer Querschnittsgestaltung, zum voraus berechnet werden, indem man die für den ebenen Spannungszustand dieses zweiten Querschnitts ermittelten Werte mit den bekannten Raumziffern des ersten Querschnitts multipliziert⁸⁾. Demzufolge ist man nun in der Lage, die für uns vordringliche Frage zu lösen, die darin besteht, den günstigsten von mehreren in Frage kommenden Querschnitten für eine bestimmte Schienengröße zu finden: Indem man entsprechende Abwandlungen des Querschnitts photoelastisch untersucht und die Ergebnisse mit den Raumziffern wechselweise multipliziert, erhält man Querspannungen von bestimmter Größe; je kleiner diese Spannungen sind, um so günstiger der Querschnitt, vom Gesichtspunkt dieser Beanspruchung aus beurteilt. Genau genommen, muß bei der endgültigen Beurteilung auch noch

Übersicht 1.

Formeln für die Formzahlen k und die Formziffern K, sowie für ihre gegenseitige Beziehung.

Belastungsart	Formzahl k	Formziffer K	Beziehung zwischen Formziffer und Formzahl
Zug und Druck	$k_P = \frac{\sigma_P}{P/h}$	$K_P = \frac{\sigma_P}{P/h_0}$	$K_P = \alpha \cdot k_P$
Biegung durch Einzelquerkraft	$k_Q = \frac{\sigma_Q}{6 y Q/h^2}$	$K_Q = \frac{\sigma_Q}{6 y_0 Q/h_0^2}$	$K_Q = \gamma \cdot k_Q$
Biegung durch reines Moment	$k_M = \frac{\sigma_M}{6 M/h^2}$	$K_M = \frac{\sigma_M}{6 M/h_0^2}$	$K_M = \beta \cdot k_M$

IV. Grundlagen der Lösung.

Die auf Grund von Dehnungsmessungen an verlegten Schienen aus der Gl. 4b) ermittelten Querspannungen (in jener Formel mit σ_2 bezeichnet) umfassen — sozusagen als Produkt — die oben klargestellten Begriffe der Raum- und Gestaltwirkung. Die vor uns liegende Aufgabe besteht nun einerseits darin, diese Wirkungen zu trennen. Die Gestaltwirkung ihrerseits kann für sich auf Grund von photoelastischen Versuchen an flachen, Schnittstücke senkrecht zur Schienenlängsachse darstellenden Modellen untersucht werden⁷⁾. Es bleibt somit als Unbekannte nur die Raumwirkung übrig, die jedoch an Hand der Formeln des folgenden Abschnittes eben-

die Längsspannung miteinbezogen werden. Auf diese Weise erübrigt es sich, Versuchsschienen von verschiedenen Formen herzustellen, zu verlegen und auszumessen, was mit sehr erheblichen, oft abschreckenden Kosten verbunden wäre.

V. Grundformeln.

Da für den Mittelschnitt $\varphi = 0$ ist, lautet Gl. 1):

$$\sigma_P = \frac{P}{h} \cdot \frac{1}{r} \dots \dots \dots 6)$$

Sinngemäß kann man schreiben:

$$\sigma_Q = \frac{6 y Q}{h^2 \cdot s} \dots \dots \dots 7)$$

und ferner:

$$\sigma_M = \frac{6 M}{h^2 t} \dots \dots \dots 8)$$

vergl. Abb. 2 bis 4. In obigen Gleichungen sind r, s und t die unbekanntenen Raumziffern⁹⁾.

⁸⁾ Die beschriebene Methode ist an die Voraussetzung geknüpft, daß für Schienen derselben Gattung und angenähert derselben Größe, die lediglich in der Formgebung, eventuell auch in der Gesamtquerschnittfläche um ein Geringes voneinander abweichen, die Raumwirkung dieselbe ist. Diese Voraussetzung erscheint erfüllt, da die Raumwirkung vor allem von der Höhe der Schiene, den Maßen des Schienenkopfes, dem Eisenbahnoberbau usw. abhängt, d. h. also von Einzelheiten, die mit der Formgebung des Steges wenig oder überhaupt nicht zusammenhängen.

⁹⁾ Wie schon oben kurz angedeutet wurde, ist — im Gegensatz zur Halbebene überall gleicher Dicke h (Abb. 6a), wo r als der Abstand des betrachteten Feldpunktes vom Belastungspunkt eine gegebene Größe darstellt — bei wechselndem Querschnitt r nicht mehr einfach der Abstand in Zentimeter, sondern ebenfalls eine Unbekannte, da durch die ungleiche Starrheit des Schienenkopfes und des Steges die Berechnung wesentlich verwickelt und durch die Dicke h in den Formeln nur sehr unvollständig erfaßt wird.

⁴⁾ So ist beispielsweise bei der Berechnung der Spannung im Punkt X eines auf Biegung durch eine Querkraft Q beanspruchten keilförmigen Körpers (Abb. 5b) die Abweichung nur durch die Rechnungsart bedingt, indem man nämlich bei der Berechnung der Spannung dieses Punktes einmal die genaue Formel:

$$\sigma_r = \frac{2}{2\theta - \sin 2\theta} \cdot \frac{P \sin \theta}{r}$$

das andere Mal die Grundformel:

$$\sigma_X = 6 y P/h^2$$

heranziehen kann, so daß wir in diesem Fall eine von „1“ verschiedene Formzahl, nämlich:

$$k = \frac{\sigma_r}{\sigma_X} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sin^2 \theta \cdot \text{tg}^2 \theta}{2\theta - \sin 2\theta}$$

erhalten, obschon hier keine Kerbwirkung vorhanden ist.

⁵⁾ Baud: „Beiträge zur Kenntnis der Spannungsverteilung in Konstruktionselementen mit Querschnittübergängen.“ Bericht Nr. 29 des SVMT, bzw. Nr. 83 der EMPA. In diesem Bericht sind die Formziffern mit k (statt mit K) bezeichnet.

⁶⁾ So dürfen beispielsweise Spannungen und Formänderungen gewisse zulässige Grenzen nicht überschreiten.

⁷⁾ Baud: „Technische Methoden photoelastischer Forschung“, Schweiz. Bauztg. Vol. 100, Nr. 1 und 2, Juli 1932.

Statt des räumlichen Falles mit konstanten Belastungswerten P, Q und M gegebener Größe kann man sich aus der Schiene ein Stück senkrecht zur Schienenlängsachse von 1 cm Länge herausgeschnitten denken, d. h. einen ebenen Spannungszustand betrachten, bei dem die Belastungsgrößen P, Q und M vom Abstand zum Belastungspunkt abhängen; dementsprechend kann man die Gl. 6) bis 8) in der Form schreiben¹⁰⁾:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_P &= \frac{P^*}{h} \\ P^* &= \frac{P}{r} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 6 a)$$

ferner:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_Q &= \frac{6 y Q^*}{h^2} \\ Q^* &= \frac{Q}{s} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 7 a)$$

und ähnlich:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_M &= \frac{6 M^*}{h^2} \\ M^* &= \frac{M}{t} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 8 a)$$

wobei P₀^{*} und M₀^{*} als im Trennschnitt angreifend gedacht werden können, während Q₀^{*} nach Abschnitt II in den durch I gehenden Schnitt verlegt zu denken ist. Für Schnitte unterhalb des Trennschnitts sind dann für die Belastung die Werte:

$$P^* = P_0^* \cdot m_r = \frac{P}{r_0} \cdot m_r \dots \dots \dots 11)$$

$$Q^* = Q_0^* \cdot m_s = \frac{Q}{s_0} \cdot m_s \dots \dots \dots 12)$$

$$M^* = M_0^* \cdot m_t = \frac{M}{t_0} \cdot m_t \dots \dots \dots 13)$$

einzusetzen, so daß die Formeln für die Stegspannungen nunmehr lauten:

$$\sigma_P = \frac{P}{r_0 h} \cdot m_r = \frac{P_0^*}{h} \cdot m_r = \frac{P^*}{h} \dots \dots \dots 6 b)$$

$$\sigma_Q = \frac{6 y Q}{s_0 h^2} \cdot m_s = \frac{6 y Q_0^*}{h^2} \cdot m_s = \frac{6 y Q^*}{h^2} \dots \dots 7 b)$$

$$\sigma_M = \frac{6 M}{t_0 h^2} \cdot m_t = \frac{6 M_0^*}{h^2} \cdot m_t = \frac{6 M^*}{h^2} \dots \dots 8 b)$$

womit die Raumwirkung berücksichtigt ist. Indem man nun noch durch Einführung der Gestaltziffern, sowie der Formwerte α, β, γ der Gestaltwirkung im Einklang mit den Ausführungen des Abschnittes III Ausdruck verleiht, erhält man abschließend folgende für die Querspannungen im Hauptschnitt geltenden Formeln:

a) für die Vertikallast P:

$$\sigma_P = k_P \cdot \frac{P}{r_0 h_0} \cdot m_r \cdot \alpha = K_P \frac{P}{r_0 h_0} \cdot m_r = K_P \frac{P^*}{h_0} \dots 6 c)$$

b) für die Querkraft Q:

$$\sigma_Q = k_Q \frac{6 y_0 Q}{s_0 h_0^2} \cdot m_s \cdot \gamma = K_Q \frac{6 y_0 Q}{s_0 h_0^2} \cdot m_s = K_Q \frac{6 y_0 Q^*}{h_0^2} \dots 7 c)$$

c) für das Moment M:

$$\sigma_M = k_M \frac{6 M}{t_0 h_0^2} \cdot m_t \cdot \beta = K_M \cdot \frac{6 M}{t_0 h_0^2} \cdot m_t = K_M \frac{6 M^*}{h_0^2} \dots 8 c)$$

VI. Beispiele für die Ermittlung der Gestaltziffern.

Für den zweidimensionalen Fall vereinfachen sich die Formeln (6c) bis (8c), indem sämtliche Raumziffern fortfallen; man kommt auf die bereits in Übersicht 1 angegebenen Bestimmungsgleichungen zurück, aus denen sich die Gestaltziffern begriffsgemäß bestimmen, d. h. durch Division der photoelastisch gemessenen Spannungen σ_P, σ_Q und σ_M durch den dem betreffenden Versuchszustand entsprechenden Wert des Nenners in jenen Gleichungen.

Zur Ermittlung von Gestaltziffern liegen bisher folgende Versuche vor¹²⁾:

A. Mittige, lotrechte Belastung.

Belastung: Bei diesem Versuch wurde die in Abb. 7 angedeutete Belastungseinrichtung benützt, der Versuchskörper in aufrechter Stellung entlang der Unterkante eingespannt und oben in der Mitte beansprucht; es wurde Zugbelastung gewählt, um seitliches Ausbiegen oder Ausknicken zu vermeiden.

Schienenform: Vergl. Abb. 12.

Ergebnisse: Die ermittelten Gestaltziffern sind in Übersicht 2, Abschnitt VIII, zusammengestellt. In dieser

¹²⁾ Diese Versuche wurden vom Verfasser während seiner Tätigkeit als Forschungsingenieur bei der Westinghouse Co., USA im Rahmen eines großzügigen Gesamtprogrammes zur Erforschung der Schienenspannungen in Verbindung mit der Einführung elektrischen Betriebes auf den Bahnen in USA in den Jahren 1926 bis 1931 ausgeführt. Schon damals wurden die Versuche vom Verfasser grundsätzlich so ausgewertet, wie hier beschrieben, d. h. unter Berücksichtigung der Gestalt- und Raumwirkung. Die hier vorliegende, genauere Verarbeitung jedoch erfolgte später, und zwar in den Jahren 1932 bis 1935.

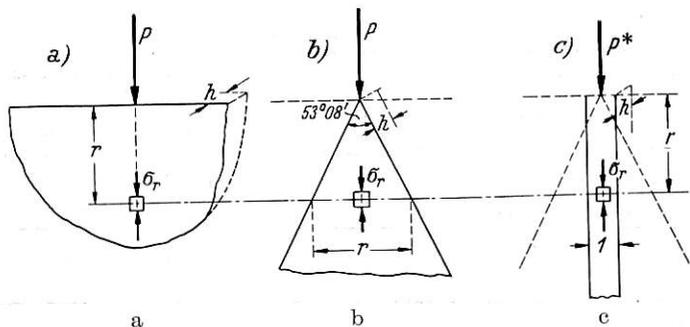


Abb. 6.

Skizzen zur Erklärung des Begriffs „variabler“ Belastung P*.

Dem bereits in Fußnote 9 erwähnten Einfluß des schroffen Querschnittüberganges Kopf — Steg auf das Abklingen der Berührungsspannungen kann in obigen Formeln dadurch Rechnung getragen werden, daß man dieses im Kopf kurzerhand durch die für einen zwischen Kopf und Steg gelegenen, fernerhin mit „0“ oder auch „C₁—C₂“ bezeichneten Trennschnitt¹¹⁾ geltenden Werte r₀, s₀ und t₀, das weitere Abklingen im Steg dagegen durch Einführung von:

$$m_r = \frac{r_0}{r}; \quad m_s = \frac{s_0}{s} \quad \text{und} \quad m_t = \frac{t_0}{t} \dots \dots \dots 9)$$

zum Ausdruck bringt. Dementsprechend gelten für den Trennschnitt „0“ die Belastungswerte:

$$P_0^* = \frac{P}{r_0}; \quad Q_0^* = \frac{Q}{s_0} \quad \text{und} \quad M_0^* = \frac{M}{t_0} \dots \dots \dots 10)$$

¹⁰⁾ Diese Schreibweise entspricht der in Abb. 6 skizzierten Behandlung der Aufgabe: Indem man statt der Halbebene, Abb. 6a, einen Ausschnitt von der in Abb. 6b dargestellten Form eines Keiles betrachtet und die Grundformel „Spannung = Kraft durch Fläche“ anwendet, erhält man die Gl. 6). Denkt man sich dann ferner aus dem Keil einen Streifen von der Einheitslänge 1 cm herausgeschnitten (Abb. 6c), dann ist $\sigma_r = \sigma_P = P^*/h$, wobei man, da man die Fläche vom Betrage r.h auf den Betrag 1.h zurückgeführt hat, auch die Kraft vom Betrag P auf den Betrag P* = P/r umrechnen muß.

¹¹⁾ Es ist hierfür womöglich ein Schnitt zu wählen, der für die Trennung einigermaßen kennzeichnend ist und einwandfrei festgelegt werden kann. Bei Eisenbahnschienen entspricht der Schnitt C₁—C₂ durch den Schnittpunkt S der geneigten Seiten dieser Forderung, vergl. Abb. 12 und 13. Sämtliche mit Index „0“ versehene Größen beziehen sich auf den so bezeichneten Trennschnitt, dessen Randpunkte C zweckdienlich gerade als Festpunkt für die Ermittlung der Formziffern K gewählt werden können.

Übersicht bezeichnet φ die Lage des Meßpunktes gemäß Abb. 12. Als Festpunkt wurde in diesem, sowie im folgenden Versuch der Randpunkt C_1 des Trennschnittes gewählt, vergl. Fußnote 11.

B. Belastung durch Einzelquerkraft.

Schienenform und Belastungseinrichtung, wie unter A, Abb. 7 und 12.

Belastung. Grundsätzlich kann man den Versuchskörper irgend einer passenden, obiger Belastungsart entsprechenden Kraft unterwerfen, um die Gestaltsziffern zu ermitteln, vorausgesetzt, daß man die Bestimmungsgleichung Übersicht 1 entsprechend auslegt. Will man aber gleichzeitig den Ort des Wendepunktes I bestimmen¹²⁾, dann liegt es nahe, die in Abb. 4 angedeutete Art der Durchbiegung nachzuahmen. Dies führt zur Versuchsanordnung Abb. 7: Mit dem Schienenkopf ist ein Stahlstab A starr verbunden, der die Belastung Q' überträgt. Infolge dieser Belastung hat der Versuchskörper die Neigung, ohne Doppelwendung durchzubiegen, wird jedoch an dieser Art der Verformung durch eine Rolle R, die an einem Querstab B drehbar befestigt ist,

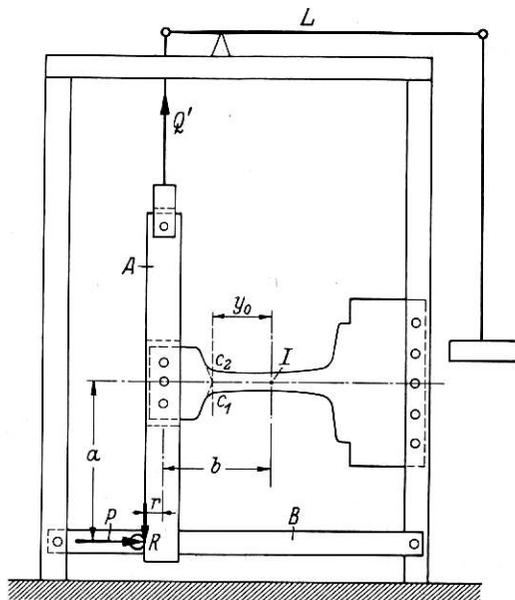


Abb. 7. Belastungsvorrichtung für den Versuch A: Mittige, lotrechte Belastung, B: Einzelquerkraft.

verhindert. Unter diesen Bedingungen kann infolge der gewählten Anordnung der Schienenkopf im wesentlichen nur eine Parallelverschiebung ausführen; da ferner der Schienenfuß eingespannt ist, kommt die gewünschte Deformation, Abb. 4, zustande. Es ist hierbei nicht zu vermeiden, daß außer der Belastung Q' noch eine außermittige, lotrechte Kraft P und die der Belastung Q' entgegenwirkende Reibungskraft $R = \mu P$ zur Wirkung gelangt, so daß die tatsächlich auf den Versuchskörper wirkende Querkraft $Q = Q' - R$ beträgt. Durch geeignete Wahl der Maße läßt sich jedoch erreichen, daß die Kraft P und entsprechend auch R klein wird. Zwecks Ermittlung von P und damit auch von R kann die Momentengleichung^{13a)}

$$(Q' - \mu P) b - a P = 0 \dots \dots \dots 14)$$

¹²⁾ Um dies wirklich auswerten zu können, bleibt streng genommen noch durch Vergleichsversuche (photoelastische- und Dehnungsmeßversuche) nachzuweisen, daß die Lage des Wendepunktes im räumlichen Fall mit der des ebenen Spannungszustandes übereinstimmt, was wir annehmen wollen.

^{13a)} Der Einfachheit halber wurde die geringe Verschiebung r der Kraft P , vergl. Abb. 7, hier vernachlässigt, d. h. $r = 0$ angenommen.

herangezogen werden, in der sowohl P , als auch „b“ zunächst unbekannt sind, während wir μ als bekannt voraussetzen wollen. Wie in Abb. 7 angedeutet, legt „b“ die Lage des Wendepunktes I fest, die sich photoelastisch sehr einfach bestimmen läßt, indem man nämlich an den Stegrändern diejenigen Punkte I_1, I_2 beobachtet, in denen die Druckspannung infolge P die Biegespannung des wirkenden Momentes gerade aufhebt. Der Schnittpunkt der Verbindungslinie I_1, I_2 mit der Stegmittellinie stellt den gesuchten Wendepunkt dar. Der Abstand „b“ ist somit bestimmt und damit auch P, R und y_0 .

Ergebnisse: Indem man sich die Kräfte P in der Mittellinie und Q senkrecht hierzu, beide im Punkt I angreifend, und den Kopf eingespannt denkt (vergl. Abb. 4a), rechnen sich die gesuchten Formziffern wie folgt: Von der gemessenen Spannung ist für jeden Randpunkt zuerst der kleine, von der direkten Kraft P herrührende Anteil $\sigma_P = K_P P/h_0$ abzuziehen; hierauf sind, um die Formziffern für Biegung allein zu erhalten, die übrig bleibenden Spannungswerte durch den Ausdruck $6 y_0 Q/h_0^2$ zu dividieren, wobei im vorliegenden Fall $y_0 = 3,7$ cm. Laut der in Übersicht 1 gegebenen Gleichung ist dann ferner $k_Q = K_Q/\gamma$. Die so ermittelten Werte sind in Übersicht 3, Abschnitt VIII gegeben.

C. Reines Moment.

Ein solcher Versuch wurde bisher noch nicht ausgeführt.

D. Zusammengesetzte Belastungen; Beispiel: Senkrechte Last außerhalb der Mitte.

Bei zusammengesetzten Belastungen sind die Anteile zu trennen, wobei man wie unter „B“ vorgeht. Man kann aber auch ein etwas anderes Verfahren einschlagen, indem man „vereinigte Form- und Raumziffern“ einführt. Die zweite Methode ist vielleicht dann vorzuziehen, wenn man auf etwas abgekürzte Weise rasch mehrere Schienenformen bei einer bestimmten Belastungszusammensetzung vergleichen will. Die Ableitung der Ausdrücke für die Spannung und die Gestaltsziffern wird bei derartigen Belastungen entsprechend verwickelter, so daß wir uns hier mit der Angabe der Formeln für das Beispiel der außermittigen Druckbelastung, Abb. 3b und 3c ohne Ableitung, begnügen wollen.

Bezeichnet man mit:

$$\varepsilon = \frac{M_0^*}{P_0^*} = \frac{e P}{t_0} \cdot \frac{r_0}{P} = \frac{r_0}{t_0} \cdot e \dots \dots \dots 15)$$

das im Trennschnitt vorhandene Verhältnis des Momentes zur Einzelkraft bei der verlegten Schiene und dementsprechend mit:

$$q = \frac{6 e P}{h_0^2 t_0} \cdot \frac{h_0 r_0}{P} = \frac{6 \varepsilon P_0^*}{h_0^2} \cdot \frac{h_0}{P_0^*} = \frac{6 \varepsilon}{h_0} \dots \dots \dots 16)$$

das im Bezugsschnitt vorhandene Verhältnis von Biegung- zu Druckspannung, dann lauten die Formeln:

$$\sigma_{P,M} = K_{P,M} \left[\frac{P}{h_0 r_0} (1+q) \right] m_{r,t} = k_{P,M} \left[\frac{P}{h_0 r_0} (\alpha + \beta q) \right] m_{r,t} \dots \dots \dots 17)$$

$$K_{P,M} = \frac{K_P + q \cdot K_M}{1 + q} \dots \dots \dots 18)$$

$$k_{P,M} = \frac{1 + q}{\alpha + \beta q} \cdot K_{P,M} \dots \dots \dots 19)$$

$$m_{r,t} = \frac{m_r + q m_t}{1 + q} \dots \dots \dots 20)$$

Beim photoelastischen Versuch vereinfacht sich Gl. 17), da r_0 und $m_{r,t}$ gleich eins sind; indem man ferner für die erste eckige Klammer dieser Gleichung σ_0 setzt, erhält man:

$$\sigma_{P,M} = K_{P,M} \cdot \sigma_0 \dots \dots \dots 17a)$$

und daraus ergibt sich $K_{P,M}$, indem $\sigma_{P,M}$ photoelastisch gemessen und σ_0 berechnet wird. Wesentlich bei diesem photoelastischen Versuch ist, daß im Modell die gleichen Verhält-

nisse ε und q wie in der wirklichen Schiene vorhanden sind. Bevor wir darauf näher eingehen, sei noch bemerkt, daß bei der Wahl des Festpunktes zwecks Bestimmung der Formziffern nicht unbedingt am Randpunkt C_1 des Trennschnittes festgehalten zu werden braucht, sondern irgend ein beliebiger, geeigneter Punkt gewählt werden kann. Es wurde bei dem Versuch mit außermittiger, senkrechter Last hierfür aus einem bestimmten, später angegebenen Grunde der Punkt C_3 (Minimalquerschnitt des Steges) gewählt, vergl. Abb. 12 und 13. Die Formeln bleiben gleich, nur ist jetzt für $h_0 \rightarrow h_{\min}$, ferner für $\alpha \rightarrow h_{\min}/h$, $\beta \rightarrow h_{\min}^2/h^2$ und für $\sigma_0 \rightarrow \sigma_{\min}$ einzusetzen, wobei sich der Index „min“ auf den Minimalschnitt bezieht.

Belastung. Durch Einführung von ε wurde theoretisch bereits der Tatsache Rechnung getragen, daß der Schienenkopf Moment und Einzelkraft in der Regel ungleich stark überträgt, so daß $\frac{r_0}{t_0}$ von 1 und dementsprechend ε von e verschieden ist.

Legt man beim Modellversuch dieselbe Abweichung von der Mitte zugrunde, dann ist bei ihm $\varepsilon = \frac{eP}{1} \cdot \frac{1}{P} = e$, so daß demnach im Modell nicht das gleiche Verhältnis q von Biege- zu Druckspannung wie in der verlegten Schiene vorhanden ist. Um das richtige ε und damit auch das richtige q

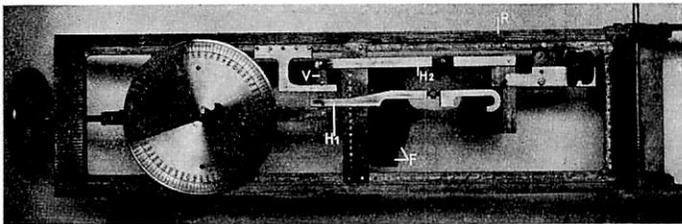


Abb. 8. Belastungsvorrichtung für den Versuch D: Senkrechte Last außerhalb der Mitte.

zu erhalten, könnte man den Abstand von der Mitte entsprechend ändern, was jedoch den Nachteil hat, daß P dann nicht an der richtigen Stelle angreift, was einen Einfluß auf die Spannungen im obern Stegteil haben kann. Um dennoch völlige Übereinstimmung zwischen Modellversuch und Wirklichkeit, sowohl in bezug auf das richtige Verhältnis ε , als auch in bezug auf die richtige Lage des Lastangriffs zu erhalten, wurde vom Verfasser folgende Versuchsanordnung entworfen, vergl. Abb. 8¹⁴):

Der Fuß F der Schiene ist starr mit dem Belastungsrahmen R verbunden. Mittelst des senkrechten Hebels V , sowie der waagerechten Stange H_1 wird die Zugkraft der Federwaage an der richtigen Stelle des Modelles auf dieses als Druckkraft übertragen. Infolge des unveränderten Abstandes e entsteht dadurch in der Regel ein zu großes Moment, das im vorliegenden Fall entgegen dem Uhrzeigersinn wirkt. Mit dem Hebel V ist jedoch noch eine zweite waagerechte Stange H_2 verbunden, die bei der Belastung auf eine Verlängerung des Kopfes eine Druckkraft nach rechts ausübt und so ein Moment im Uhrzeigersinn erzeugt.

Durch entsprechende Wahl der Abmessungen ist es mit dieser Versuchsanordnung möglich, die geforderten Bedingungen zu erfüllen, d. h. bei vorgeschriebener Kraftangriffsstelle im Modellversuch dieselben Verhältnisse ε und q zu erzielen, wie sie in der verlegten Schiene vorhanden sind.

¹⁴) Allerdings wird der Vorteil der richtigen Lage wieder zum Teil hinfällig infolge der Schwierigkeit, die Kraft-Übertragungsverhältnisse von Rad zu Schiene an der Belastungsstelle genau nachzuahmen.

Bei den bisher vorgenommenen photoelastischen Versuchen wurde die Belastungsvorrichtung für ein $\varepsilon = e/5,5$ und $e = 2,54$ cm hergestellt. Dementsprechend gelten die so ermittelten Gestaltziffern streng genommen nur für diese Werte¹⁵), bzw. die im Versuch effektiv vorhandenen, vergl. Fußnote 16.

Modelle. Es wurden auf diese Weise insgesamt vier verschiedene Schienenformen untersucht. Bei Form I, Abb. 12 handelt es sich um die gleiche Schiene wie unter Absatz A, B dieses Abschnittes; Form II, Abb. 13, dagegen ist ein Entwurf des Verfassers. Die übrigen zwei Formen, Abb. 14 und 15 (ein weiterer Vorentwurf von dritter Seite und eine tatsächlich verwendete Form) ergaben Werte von ungefähr derselben Größe wie Form I; es erübrigt sich deshalb, die damit erzielten Ergebnisse hier wiederzugeben.

Ergebnisse. Bei der Ermittlung der in Übersicht 4 gegebenen Formziffern $K_{P,M}$ auf Grund der Gl. 17a) wurde σ_0 , d. h. im vorliegenden Fall σ_{\min} , nicht wie üblich berechnet, sondern es wurde σ_{\min} im Punkt C_3 ebenfalls gemessen und der gemessene Wert eingesetzt¹⁶), in der Annahme, daß in diesem Punkte keine Kerbwirkung vorhanden ist. Die so ermittelten Werte für $K_{P,M}$ sind in Übersicht 4, Abschnitt VIII gegeben. Der Vollständigkeit halber sind in einer getrennten Reihe dieser Übersicht auch noch die auf Grund der Modellverhältnisse:

$$\varepsilon = \frac{e}{5,5} = 0,462$$

$$q = \frac{6\varepsilon}{h_{\min}} = \frac{6 \cdot 0,462}{1,75} = 1,58$$

aus Gl. 19) berechneten Formzahlen $K_{P,M}$ gegeben. Sie erscheinen etwas hoch, was wahrscheinlich einer an sich geringen Unstimmigkeit zwischen den tatsächlichen ε und q von den oben gegebenen Werten zuzuschreiben ist.

VII. Beispiel für die Ermittlung der Raumziffern.

Auf Grund von Dehnungsmessungen in den Hauptschnitten erhält man aus Gl. 4b) drei Spannungskurven σ_P , σ_Q und σ_M , entsprechend den drei betrachteten Belastungsarten. Daraus können, da die Gestaltziffern als bekannt vorausgesetzt werden können, die Raumziffern in einfacher Weise wie folgt berechnet werden.

a) Ermittlung der r_0 , s_0 und t_0 -Werte. Für den Trennschnitt sind laut Definition $m_r = 1,0$, $\alpha = 1,0$; es folgt somit aus Gl. 6c):

$$\sigma_{0P} = k_{0P} \frac{P}{r_0 h_0}$$

und daraus errechnet sich auf Grund der Gl. 10) P_0^* durch

Bildung des Ausdrucks $\frac{\sigma_{0P}}{k_{0P}} \cdot h_0$; denn:

¹⁵) Zuerst wurde auf Grund theoretischer Überlegungen und Vorversuche mit $r_0 = 10,2$ und $t_0 = 71,2$, d. h. mit $\varepsilon = e/6$, dann mit $r_0 = 10,2$ und $t_0 = 56,0$, d. h. mit $\varepsilon = e/5,5$ gerechnet. Erst später wurde der in Abschnitt VII beschriebene Meßstandversuch ausgeführt, der einen Wert $\varepsilon = 15,8 e/31,6 = e/2$ ergibt. Wie aus späteren Betrachtungen ersichtlich, haben wir für die folgenden Berechnungen die aus dem Meßstandversuch ermittelten Raumziffern beibehalten, da uns in erster Linie daran lag, geschlossene Beispiele durchzuführen. Es bleibt jedoch nachzuprüfen, ob die im Laboratorium ermittelten Raumziffern mit denjenigen der effektiv verlegten Schiene übereinstimmen, bzw. wie stark sie davon abweichen.

¹⁶) Dies geschah in der Erwägung, daß der gemessene Wert genauer mit der wirklich vorhandenen Belastung übereinstimmt, indem nämlich die Belastungseinrichtung verhältnismäßig verwickelt ist und eine Abweichung der tatsächlich im Modell vorhandenen ε - und q -Werte von den für die Meßverhältnisse berechneten ε - und q -Werten nicht ausgeschlossen erscheint. Da nun eine solche Abweichung eine ungenaue Berechnung von σ_{\min} bedingt hätte, wurde wie oben erwähnt, vorgezogen, σ_{\min} ebenfalls zu messen, was durchaus zulässig ist, insofern keine Kerbwirkung vorliegt.

$$\frac{\sigma_{0P}}{k_{0P}} \cdot h_0 = \frac{P}{r_0} = P_0^*$$

Definationsgemäß ist dann

$$r_0 = \frac{P}{P_0^*}$$

Ebenso folgt aus Gl. 7c), indem wir für den Trennschnitt $m_s = 1,0$, ferner $\beta = 1,0$ und $y = y_0$, d. h. $\gamma = 1,0$ setzen:

$$\sigma_{0Q} = k_{0Q} \frac{6 y_0 Q}{s_0 h_0^2}$$

und daraus errechnet sich Q^* nach Gl. 10 durch Bildung des

Ausdrucks $\frac{\sigma_{0Q}}{k_{0Q}} \cdot \frac{h_0^2}{6 y_0}$; denn

$$\frac{\sigma_{0Q}}{k_{0Q}} \cdot \frac{h_0^2}{6 y_0} = \frac{Q}{s_0} = Q^*$$

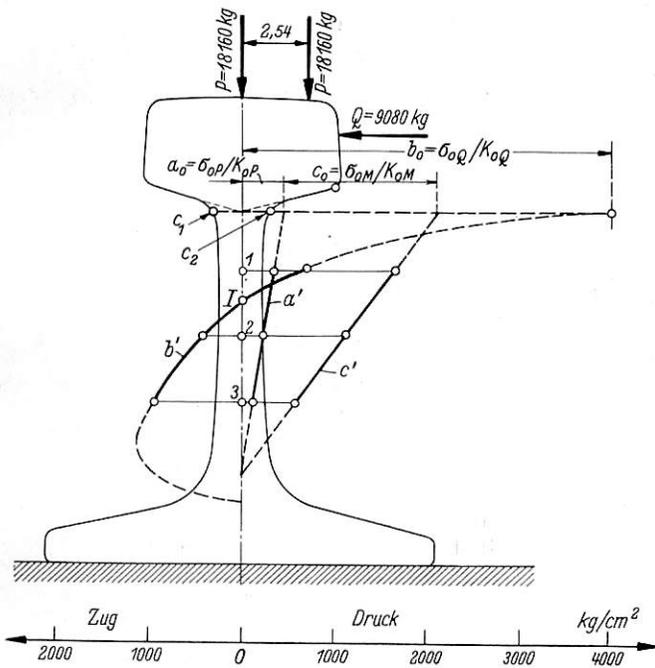


Abb. 9.

Ergebnisse des von Timoshenko und Langer in den Forschungslaboratorien der Westinghouse Co., USA, ausgeführten Meßstandversuches.

----- Erweiterung der Kurven a', b', c'.

Definationsgemäß ist dann:

$$s_0 = \frac{Q}{Q^*}$$

Auf ganz gleichem Wege erhält man aus Gl. 8c) und 10)

$$t_0 = \frac{M}{M_0^*}$$

b) Ermittlung der m-Werte. Man erhält die m-Werte ohne weiteres in Kurvenform, indem man aus den drei Spannungskurven für σ_P , σ_Q und σ_M die drei neuen Kurven:

$$a = \sigma_P / K_P; \quad b = \sigma_Q / K_Q; \quad c = \sigma_M / K_M$$

bildet und ihren Maßstab so wählt, daß die für den Trennschnitt geltenden Grundspannungen:

$$a_0 = \frac{\sigma_{0P}}{K_{0P}} = \frac{P}{r_0 h_0} \quad \dots \quad 21)$$

$$b_0 = \frac{\sigma_{0Q}}{K_{0Q}} = \frac{6 y_0 Q}{s_0 h_0^2} \quad \dots \quad 22)$$

$$c_0 = \frac{\sigma_{0M}}{K_{0M}} = \frac{6 M}{t_0 h_0^2} \quad \dots \quad 23)$$

gleich eins werden.

Zeichnet man dagegen die Kurven:

$$a' = \sigma_P / k_P; \quad b' = \sigma_Q / k_Q; \quad c' = \sigma_M / k_M$$

auf¹⁷⁾, so erhält man, indem man in gleicher Weise wie oben vorgeht, zuerst die α_{m_r} , γm_s und βm_t -Kurven und daraus dann die m_r , m_s und m_t -Kurven.

c) Zahlenbeispiel. Bisher war angenommen, daß sämtliche Randpunkte den Dehnungsmessungen zugänglich sind, was jedoch infolge der großen Meßlänge der zur Zeit gebräuchlichen Dehnungsmesser vielfach nicht möglich ist. In diesem Fall bleibt als Notbehelf die Erweiterung (Extrapolation) der für den mittleren Teil des Steges ermittelten a-, b-, c-Kurven. Als Erweiterungsschnitt wird man zweckmäßig den Trennschnitt C_1-C_2 wählen.

Es läßt sich unter diesen Umständen nicht umgehen, daß für Punkte oberhalb dieses Schnittes, d. h. für die Abrundung

und die unteren Seiten des Schienenkopfes, gewisse Annahmen bezüglich der Raumziffern gemacht werden müssen. In den weiteren Rechnungen nehmen wir an, daß vom Berührungspunkt B der Kraft ausgehend (einfachheitshalber wurde jeweils der Scheitelpunkt 0 genommen) die r-, s- und t-Werte geradlinig bis zum Trennschnitt C_1-C_2 zunehmen, so daß sich die m-Werte aus der Gleichung $m = g/x$ berechnen, sofern man unter x und g die in Abb. 11 eingezeichneten Abstände versteht. Wir bemerken, daß sowohl von dieser Näherungsannahme als auch von der Erweiterung Umgang zu nehmen ist, sobald es gelingt, sämtliche Punkte mit Dehnungsmeßgeräten auszumessen.

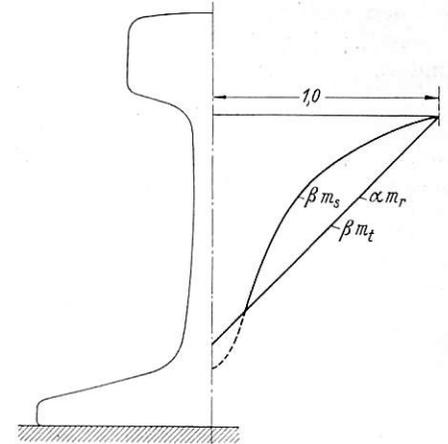


Abb. 10. Aus dem Meßstandversuch Abb. 9 ermittelte Raumkurven.

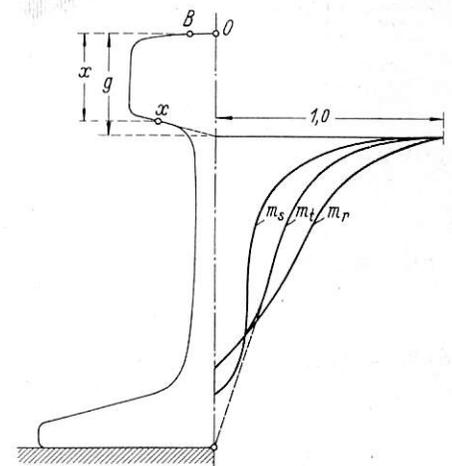


Abb. 11.

Aus Abb. 10 ermittelte m-Kurven.

In Abb. 9¹⁸⁾ sind die durch einen Schienenversuch ermittelten Spannungswerte σ_P , σ_Q und $\sigma_{P,M}$ für drei mit 1, 2, 3

¹⁷⁾ Da Formzahl und Formziffer im Bezugschnitt „0“ gleich groß sind, können wir in den Formeln (21) bis (23) k_0 durch k_0 ersetzen, somit sind für den Trennschnitt $a'_0 = a_0$; $b'_0 = b_0$; $c'_0 = c_0$.

¹⁸⁾ Dieser Abbildung liegt Abb. 20 der Arbeit von Timoshenko und Langer, betitelt: „Stresses in Railroad Track“, Transaction of the ASME 1932, zugrunde, die einen Meßstandversuch betrifft. Vermutlich handelt es sich bei diesem Versuch um die Stellung Abb. 1a. – Einer während der Drucklegung zugegangenen Mitteilung zufolge wurden die in dieser Abbildung gegebenen Spannungen als Produkt der Hauptschnittdehnungen ϵ_s und dem Elastizitätsmodul E erhalten, d. h. ohne Berücksichtigung der Dehnungen ϵ_x in Horizontalrichtung, (vgl. Gl. 4). Die auf Grund dieser Spannungen ermittelten Raumziffern sind somit nicht genau und bedürfen einer Nachprüfung auf Grund von Messungen, die, wenn immer möglich, an der verlegten Schiene selbst vorzunehmen sind.

bezeichneten Randpunkte gegeben^{18a)}. Indem man die Werte für Druck von den Werten für die Kräftevereinigung „Druck — Reine Biegung“ abzieht, bleiben die Spannungen für „Reine Biegung“ übrig. In Ermangelung photoelastischer Versuchsergebnisse wurde die Formzahl *k* für diese drei untersuchten Punkte gleich 1,0 angenommen, was tatsächlich mit genügender Genauigkeit zutreffen mag, da bei so großen Krümmungen, wie der Steg sie hier aufweist, keine wesentlichen Kerbwirkungen vorhanden sind. Dementsprechend handelt es sich bei den verbindenden Linien um die Kurven *a'*, *b'* und *c'*, deren Erweiterung die Grundspannungen $a_0' = a_0$; $b_0' = b_0$ und $c_0' = c_0$ zu:

$$\begin{aligned} a_0 &= 493 \text{ kg/cm}^2 \\ b_0 &= 3950 \text{ kg/cm}^2 \\ c_0 &= 1617 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

ergibt.

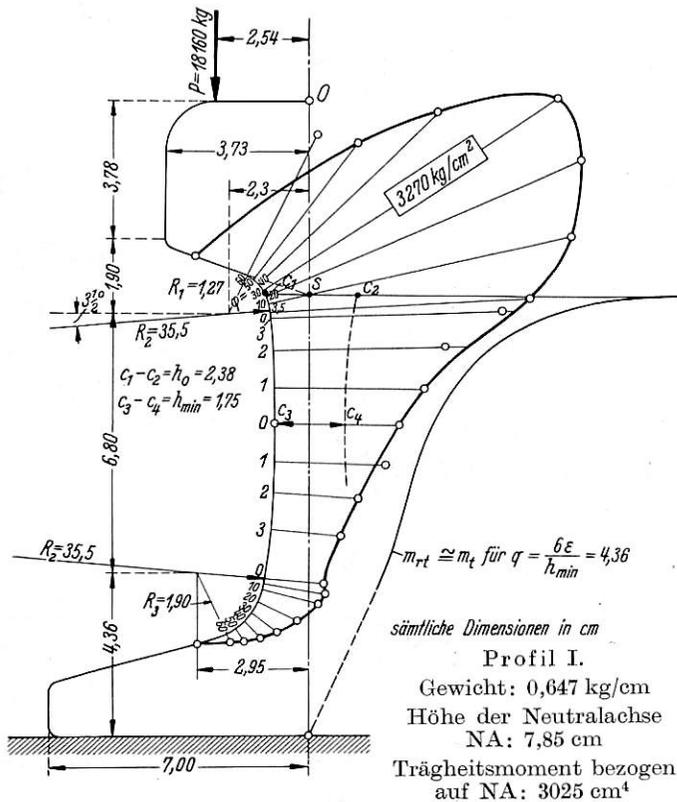


Abb. 12. Spannungen $\sigma_{P,M}$ in Schienenform I bei senkrechter Last außerhalb der Mitte.

Auf Grund dieser Werte erhält man in der unter a) dieses Abschnittes beschriebenen Weise:

$$\begin{aligned} \frac{r_0}{P_0^*} &= \frac{P}{\left(\frac{\sigma_0 P}{k_0 P}\right) h_0} = \frac{18160}{(493) \cdot 2,33} = 15,8 \\ \frac{s_0}{Q_0^*} &= \frac{Q}{\left(\frac{\sigma_0 Q}{k_0 Q}\right) \frac{h_0^2}{6 y_0}} = \frac{9080}{(3950) \cdot \frac{5,43}{6 \cdot 3,43}} = 8,7 \\ \frac{t_0}{M_0^*} &= \frac{e P}{\left(\frac{\sigma_0 M}{k_0 M}\right) \cdot \frac{h_0^2}{6}} = \frac{18160 \cdot 2,54}{(1617) \cdot \frac{5,43}{6}} = 31,6 \end{aligned}$$

Auf Grund der in bezug auf *k* gemachten Annahme stellen ferner nach b) dieses Abschnittes die drei Kurven *a'*,

18a) An Stelle der Randpunkte selbst wurden die entsprechenden Punkte des Mittelschnitts mit 1, 2, 3 bezeichnet, da die Spannungen der Randpunkte einfachheitshalber lotrecht vom Mittelschnitt aus abgetragen wurden.

b', *c'* in Abb. 9 ohne weiteres die α_{m_r} , γ_{m_s} - und β_{m_t} -Kurven dar, vergl. auch Abb. 10. Die in dieser letztern Figur dargestellte β_{m_s} -Kurve wird aus der γ_{m_s} -Kurve Abb. 9 begriffsgemäß durch Multiplikation der Ordinaten mit den jeweiligen Quotienten y_0/y erhalten. Aus den drei Kurven in Abb. 10 ergeben sich schließlich in einfacher Weise die gesuchten m_r - m_s - und m_t -Kurven selbst, Abb. 11.

VIII. Anwendungsbeispiele zur Ermittlung der tatsächlich auftretenden Randspannungen in den Querschnitten I und II.

Abb. 12 und 13.

Unter Benützung und Zugrundelegung der in den vorhergehenden Abschnitten ermittelten Werte und der darin ge-

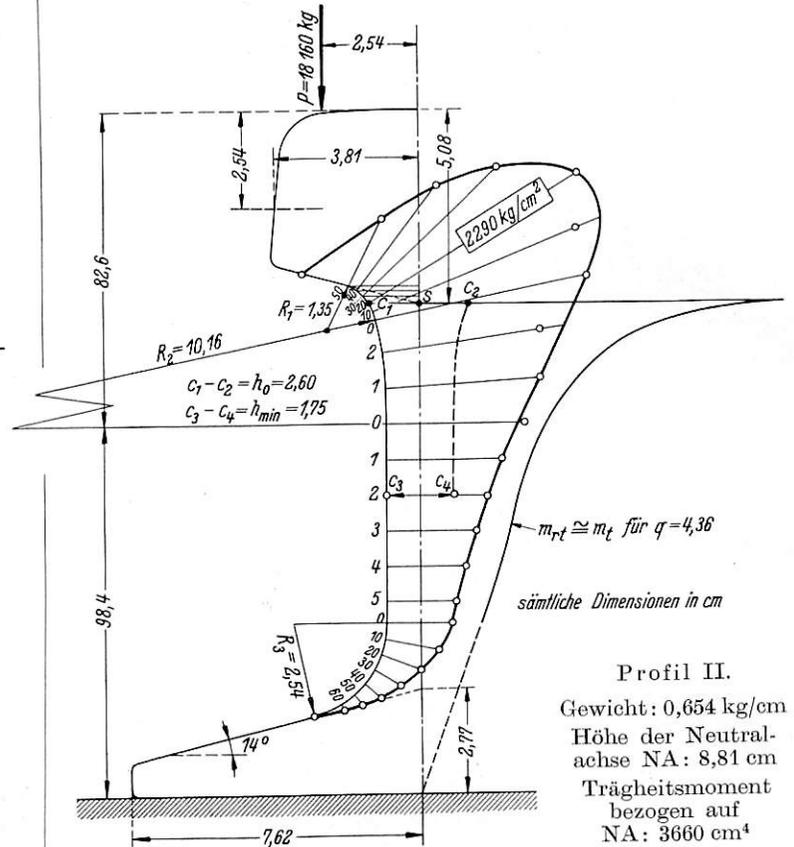


Abb. 13. Spannungen $\sigma_{P,M}$ in Schienenform II bei senkrechter Last außerhalb der Mitte.

machten Annahmen lassen sich die tatsächlichen Schienenquerspannungen σ_P , σ_Q , $\sigma_{P,M}$ für die Schienenformen I und II nun wie folgt ermitteln.

A. Senkrechte Last *P* in Schienenmitte; Schienenform I.

Bei einer Belastung von 18 160 kg beträgt die Trennschnitt-Grundspannung a_0 nach Gl. 21):

$$a_0 = \frac{18160}{15,8 \cdot 2,33} = 483 \text{ kg/cm}^2$$

Indem man diesen Wert im Einklang mit Gl. 6c) mit den in Übersicht 2 gegebenen Form- und Raumziffern multipliziert, erhält man die in der obern Abrundung auftretenden Querspannungen σ_P , deren Größtwert 700 kg/cm² beträgt, vergl. zweitletzte Reihe der Übersicht 2.

B. Belastung durch Einzelquerkraft *Q*; Schienenform I.

Ebenso rechnet sich die Trennschnitt-Grundspannung b_0 für eine Belastung von 9080 kg nach Gl. 22) zu:

$$b_0 = \frac{6 \cdot 3,7 \cdot 9080}{8,7 \cdot 5,67} = 4080 \text{ kg/cm}^2$$

und daraus auf Grund der Gl. 7c) die in Übersicht 3 gegebenen σ_Q -Werte, die einen Höchstwert von 4920 kg/cm² aufweisen.

Übersicht 2.

Gestalt- und Raumziffern für Schienenform I für senkrechte Last in Schienenmitte P; Querspannungen σ_P für P = 18 160 kg.

Ort	K _P	m _r	σ_P	k _P = K _P /a
$\varphi = 60$	0,69	1,12	374	0,96
50	0,84	1,09	443	1,07
40	1,14	1,06	584	1,28
30	1,25	1,02	617	1,29
20	1,51	0,96	700	1,47
10	1,56	0,88	664	1,42
3,5	1,52	0,81	595	1,31

Übersicht 3.

Gestalt- und Raumziffern für Schienenform I für Querkraft-Belastung Q; Querspannungen σ_Q für Q = 9080 kg.

Ort	K _Q	m _s	σ_Q	k _Q = K _Q /γ
$\varphi = 60$	0,56	1,12	2560	0,95
50	0,82	1,09	3650	1,15
40	1,00	1,06	4330	1,18
30	1,18	1,02	4920	1,23
20	1,30	0,72	3820	1,27
10	1,26	0,59	3040	1,14
3,5	1,05	0,52	2230	0,90

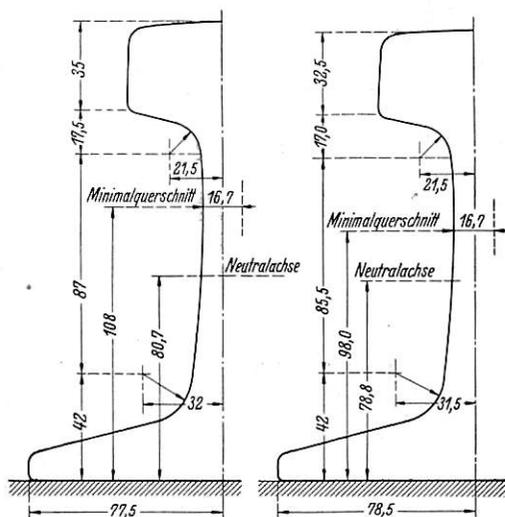


Abb. 14.
Auswahlvorschlag
Form III.

Abb. 15.
Auswahlvorschlag
Form IV.

C. Zusammengesetzte Belastung; Beispiel: Außer-mittige senkrechte Last; Schienenformen I und II.

Mit P = 18160 kg, h_{min} = 1,75 cm, e = 2,54 cm, r₀ = 15,8, t₀ = 31,6, d. h. mit ε = 1,27 und q = 4,36 errechnet sich¹⁹⁾ σ_{min} , d. h. der erste eckige Klammerausdruck der Gl. 17) mit h_{min} statt h₀, zu 3520 kg/cm², so daß:

$$\sigma_{P,M} = K_{P,M} \cdot 3520 \cdot m_r \cdot t.$$

¹⁹⁾ Vergl. Fußnote 15.

Indem man in Ermangelung anderer Werte für K_{P,M} die für ε = e/5,5 ermittelten Zahlen der Übersicht 4 und — da Biegung vorwiegt — für m_{r,t} einfachheitshalber m_t der Abb. 11 (mit der in dieser Abbildung strichpunktiert angedeuteten Ab-

Übersicht 4.

Gestalt- und Raumziffern für die Formen I und II für außer-mittige lotrechte Belastung e.P; Querspannungen $\sigma_{P,M}$ für P = 18160 kg und e = 2,54 cm.

Ort	Profil I				Profil II			
	Punkt	K _{P,M}	m _t	$\sigma_{P,M}$	K _{P,M}	m _t	$\sigma_{P,M}$	k _{P,M}
Abrundung oben	60	0,37	1,12	1460	0,97	—	—	—
	50	0,42	1,09	1610	1,00	0,20	1,10	770
	40	0,62	1,06	2310	1,22	0,35	1,07	1320
	30	0,91	1,02	3270	1,59	0,49	1,04	1790
	20	1,05	0,86	3180	1,61	0,65	1,00	2290
	10	1,09	0,75	2880	1,56	0,77	0,76	2060
	0	1,06	0,65	2430	1,42	0,84	0,68	2010
Steg oben	3	0,99	0,62	2160	1,27	—	—	—
	2	0,95	0,48	1600	1,16	0,86	0,50	1510
	1	1,00	0,39	1370	1,10	1,04	0,40	1460
	0	1,00	0,33	1160	1,00	1,09	0,34	1300
Steg unten	1	1,00	0,29	1020	1,10	1,03	0,30	1090
	2	0,85	0,27	810	1,00	1,00	0,27	950
	3	0,80	0,24	680	1,06	1,00	0,24	850
	4	—	—	—	—	1,00	0,21	740
	5	—	—	—	—	1,00	0,18	630
Abrundung unten	0	0,77	0,20	540	1,18	1,00	0,16	560
	5	0,90	0,19	600	1,43	—	—	—
	10	0,84	0,18	530	1,43	0,92	0,15	490
	20	0,70	0,17	420	1,38	0,80	0,13	370
	30	0,58	0,15	340	1,33	0,63	0,12	270
	40	0,47	0,14	230	1,29	0,48	0,11	190
	50	0,32	0,13	150	1,07	0,29	0,09	90
60	0,22	0,13	100	0,86	0,12	0,08	30	

wandlung in der Kurvenform) einsetzt, erhält man die in Übersicht 4 gegebenen und in den Abb. 12 und 13 bildlich dargestellten Näherungswerte für die Querspannungen $\sigma_{P,M}$. Sie gestatten einen Vergleich der beiden Schienenformen, da den Berechnungen dieselben Annäherungen (in bezug auf K_{P,M} und m_{r,t}) zugrunde liegen.

Der Vergleich der $\sigma_{P,M}$ -Werte an Hand der Abb. 12 und 13 zeigt, daß es durch geeignete Formgebung des Schienensteiges nach Querschnitt II möglich ist,

die Querspannungen wesentlich zu vermindern, d. h. die Festigkeit der Schiene zu erhöhen. Damit ein Vergleich Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann, müßten jedoch noch Kräftegruppen mit Einschluß von Q, vergl. Abb. 16, untersucht werden, doch ist nicht daran zu zweifeln, daß auch dann die Schienenform II gegenüber I bedeutend günstiger ist. Da

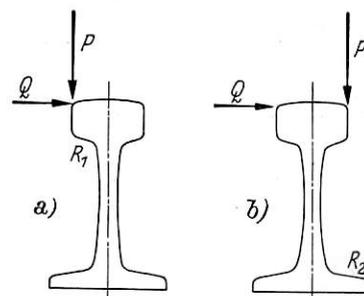


Abb. 16. Zusammengesetzte Belastung: P (außer-mittig) und Q.
a) Größtspannung in Abrundung R₁.
b) Größtspannung in Abrundung R₂.

ferner bei einer Stellung nach Abb. 1 b die m-Kurven anders verlaufen, besonders unten, in dem Sinne, daß in der unteren Abrundung ebenfalls erhebliche Querspannungen auftreten, ist die Formgebung hier, sowie des Schienenfußes überhaupt, noch eingehender abzuklären und bei vorgeschriebener Querschnittfläche allenfalls mit der Formgebung oben erneut auszumitteln. Es hat sich gezeigt, daß für die obere, auf der linken Stegseite befindliche Abrundung R_1 , vergl. Abb. 16 a, die in dieser Abbildung angedeutete Kräftegruppe, dagegen für die untere, auf der rechten Stegseite befindliche Abrundung R_2 , vergl. Abb. 16 b, die in dieser Abbildung dargestellte Belastungsart die ungünstigste darstellt und als solche dem endgültigen Vergleich zugrunde zu legen ist.

Ein neues Schweißverfahren für hochverschleißfeste Schienen.

Von Dipl.-Ing. Wilhelm Ahlert, Berlin-Mariendorf.

I. Grundsätzliches.

Aus dem gewöhnlichen „kombinierten Thermit-Schienen-schweißverfahren“ wurde ein in seiner Wirkungsweise neues Verfahren entwickelt: „Das kombinierte Thermit-Schweißverfahren mit Kopfschutz“. Es dient zur Verschweißung von Schienen, deren Festigkeit über 85 kg/mm^2 liegt und ist besonders für Schienen mit einfachem Fahrkopf geeignet.

Anlaß zur Entwicklung und Einführung des Verfahrens gaben folgende Umstände: Seit einigen Jahren geht man mehr und mehr zur Verwendung härteren und festeren Schienenstahls über. Besonders bevorzugt werden hochgekohte Schienenstähle, sogenannte naturharte Schienen, ferner molybdänhaltige und Verbundstahlschienen. Für harte Schienen, deren Festigkeit über 85 kg/mm^2 , ja sogar bis zu 130 kg/mm^2 beträgt, sind die bisher bekannten Schweißverfahren nicht mehr in rechtem Maße geeignet. Die Schmelzgußschweißung mit normalem Thermit schaltet wegen der viel geringeren Zwischengußhärte ganz aus, die Schmelzgußschweißung mit „Stahlthermit“ ergibt im Vergleich zu dem harten Schienenstahl oft kein genügend hartes Thermitisen mehr, da man dem „Stahlthermit“eisen in der Regel nur eine Festigkeit bis zu 85 kg/mm^2 gibt. Man könnte diese durch entsprechende Legierung wohl noch steigern, jedoch nur unter gleichzeitiger Erhöhung der Sprödigkeit, zu der das Thermitisen infolge seinem Stahlgußgefüge leicht neigt. Bei Schienen, deren Härte sehr weit über 85 kg/mm^2 liegt, würde daher auch die Verschweißung nach dem Schmelzgußverfahren mit „Stahlthermit“ keinen geeigneten Zwischenguß im Schienenkopf ergeben.

Die gewöhnliche „kombinierte Thermit-Schweißung“ ist für sehr harten Schienenstahl ebenfalls nicht mehr gut anwendbar. Zum Verständnis dient folgende Betrachtung über kohlenstofflegierte Schienen:

Abb. 1 stellt das hinlänglich bekannte Eisen-Kohlenstoffdiagramm dar. Über den prozentualen Kohlenstoffgehalten als Abszissen sind die charakteristischen Temperaturen, bei denen eine Umwandlung des Gefüges oder des Formzustandes der Eisen-Kohlenstofflegierung stattfindet, als senkrechte Ordinaten aufgetragen. Die Liquidus- und die Soliduslinie teilen das Diagramm in drei wichtige Felder ein: Unterhalb der Soliduslinie ist jede Eisen-Kohlenstofflegierung in festem Zustand, oberhalb der Liquiduslinie ist sie ganz flüssig. Zwischen Liquidus- und Soliduslinie liegt der Schmelzbereich. Eine Eisen-Kohlenstofflegierung hat keinen Schmelzpunkt mehr, vielmehr beginnt beim Erhitzen über die Soliduslinie hinaus ein allmählicher Übergang zu einem breiigen Zustand, der sich immer mehr dem flüssigen Zustand nähert, ihn aber erst bei Erhitzung bis knapp über die Liquiduslinie erreicht. Nur reines Eisen hat einen Schmelzpunkt und dieser liegt etwa bei 1528°C .

Abschließend soll noch betont werden, daß der Zweck der vorliegenden Arbeit weniger in der Angabe zahlenmäßiger Werte beruht, die zum Teil, wie erwähnt, noch einer messenden Nachprüfung bedürfen, als darin, die Gesamtzusammenhänge nach Möglichkeit abzuklären um so den Weg zur Ermittlung des günstigsten Schienenquerschnittes bei gegebenen Verhältnissen zu ebnen, was unter Umständen eine nicht unerhebliche Ersparnis an Stoff und Gewicht mit sich bringen kann. Auf alle Fälle lassen die Zunahme der Achsdrücke und die gewaltige Steigerung der Zuggeschwindigkeiten es als ratsam erscheinen, daß die Forschung in dieser Richtung weitergeführt werde, um mögliche Rückschläge in dieser Entwicklung zu vermeiden.

Die bisherige gewöhnliche „kombinierte Thermit-Schweißung“ an Schienen von üblicher Festigkeit ($\sim 70 \text{ kg/mm}^2$) bestand im Fuß und Steg der Schiene aus Schmelzguß, im Kopf dagegen aus einer Preßschweißung. Diese Kopfpreßschweißung fand, wie Temperaturmessungen gezeigt haben, unterhalb der Soliduslinie, d. h. in festem Zustand des Stahls statt. Die Kopfschweißung einer gewöhnlichen „kombinierten Thermit-Schienen-schweißung“ wäre demnach für Schienen von 0,35% Kohlenstoff in Abb. 1 etwa gekennzeichnet durch Punkt 1. Eine solche Preßschweißung kommt wahrscheinlich dadurch zustande, daß bei ferritreichen, d. h. kohlenstoffarmen Stählen, wenn sie mit glatt bearbeiteten Flächen dicht gegeneinander gepreßt und bis in das Gebiet der festen Lösung

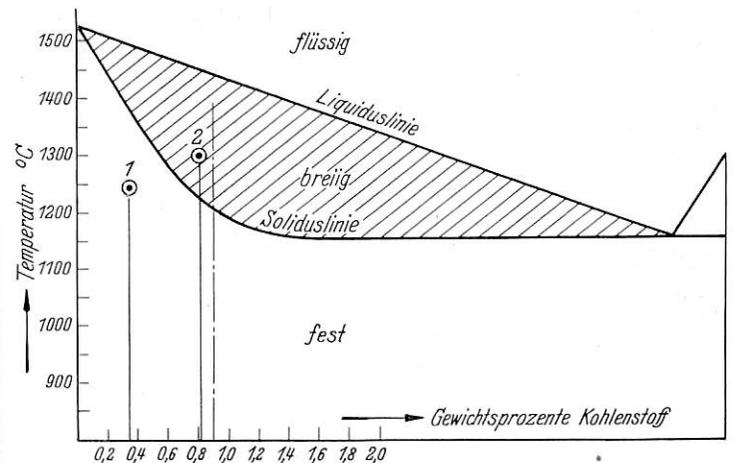


Abb. 1.

unterhalb der Soliduslinie erhitzt werden, bei der Rekristallisation die Ferritadern beider Teile über die ehemalige Trennungsfuge hinweg zusammenwachsen. Ist diese Erklärung richtig, so leuchtet ein, daß eine Preßschweißung um so schlechter möglich ist, je weniger freien Ferrit die beiden zu verschweißenden Werkstückquerschnitte oder auch einer von beiden besitzt. Die Möglichkeit zum Zusammenwachsen von Ferritadern ist dann eben nicht mehr in so weitem Maße gegeben. Praktisch hört auch die unmittelbare Preßschweißbarkeit von Kohlenstoffstählen bei einem Kohlenstoffgehalt von etwa 0,4% auf. Bei der gewöhnlichen „kombinierten Thermit-Schweißung“ hat man die Kohlenstoffgrenze der Preßschweißbarkeit der Schienenköpfe künstlich dadurch heraufgesetzt, daß man zwischen die beiden Schienenköpfe ein ferritreiches Schweißblech einschaltet. Die Möglichkeit des Zusammenwachsens von Ferritadern ist hierdurch vergrößert. Diese Maßnahme wäre aber dann zwecklos, wenn das Werkstück nahezu oder ganz des freien Ferritgehaltes entbehrt, da ja in diesem Falle in dem Werkstück-

querschnitt keine Ferritaderbildung mehr stattfindet und somit ein Zusammenwachsen von Schweißblech und Werkstück nicht möglich ist.

Aus dem Gesagten leuchtet ein, daß die neuerdings verwendeten naturharten Schienen, die bis zu 0,9% Kohlenstoff enthalten und somit nahe am eutektoiden Punkt liegen, d. h. fast keinen freien Ferrit mehr besitzen, nicht mehr preßschweißbar sind. Auch die Einschaltung eines noch so ferritreichen Kopfschweißbleches wäre zwecklos, wie durch Versuche festgestellt worden ist.

Das neue „kombinierte Thermit-Schweißverfahren“ mit Kopfschutz ist nach Erkenntnis dieser Zusammenhänge auf dem Grundsatz aufgebaut, daß man, um eine innige Verschweißung hochgekoelter Stähle zu erreichen, die zu schweißenden Schienenenden über den festen Zustand hinaus bis in den Schmelzbereich zwischen Liquidus- und Soliduslinie erhitzen, d. h. in breiförmigen Zustand versetzen muß, so daß die Schienenköpfe unmittelbar miteinander verschmelzen. Gelingt dies, so unterscheidet sich die Kopfschweißung immer noch wesentlich und günstig von der Schmelzgußschweißung, denn bei der Schmelzgußschweißung kommt ein Fremdstoff zwischen die beiden Schienenköpfe, während bei dem neuen Verfahren die Verschmelzung unmittelbar und stoffgleich ist und außerdem nicht bei Temperaturen oberhalb der Liquiduslinie stattfindet, also keine reine Gußstruktur in der Schweißzone hinterläßt. Im Eisen-Kohlenstoffdiagramm (Abb. 1) wäre demnach das neue Verfahren mit Kopfschutz für eine naturharte Schiene mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,85% etwa gekennzeichnet durch den Punkt 2.

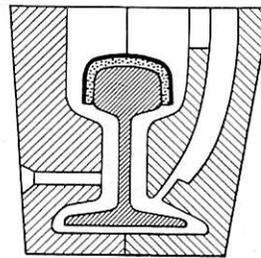
Eine so starke Erhitzung und Aufweichung des Schienenstahls hätte naturgemäß ein Auseinanderfließen des Schienenkopfes zur Folge. Dies würde jedoch die Schiene unbrauchbar machen. Das Verfahren ist also nur möglich, wenn gleichzeitig eine Maßnahme getroffen wird, um die Form des Schienenkopfes trotz der Aufweichung des Stahls beizubehalten.

Diese Maßnahme ist gefunden in dem sogenannten Kopfschutz, dessen Wesen und Bedeutung am besten aus der Ausführungsbeschreibung des Verfahrens hervorgeht.

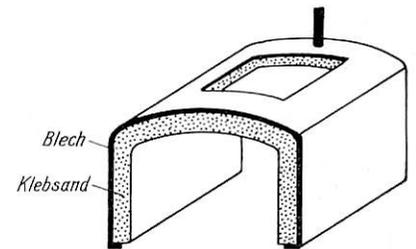
Die harten Schienen werden mit gleichlaufend eben bearbeiteten Kopfstirnflächen durch eine Klemmvorrichtung dicht gegeneinandergepreßt, nachdem zwischen Füßen und Stegen durch Unterschneiden oder durch Ausbrennen eine Lücke von etwa 5 mm geschaffen wurde. Ist die Schaffung einer Lücke in Steg und Fuß nicht möglich, so kann auch zwischen die Schienenköpfe eine Einlage aus schienengleichem Werkstoff eingefügt werden. Vorzuziehen ist jedoch die Schweißung ohne jede Einlage, da hierbei nur eine einzige Schweißnaht vorhanden ist, die genau in der Mitte der erwärmten Zone liegt und daher die stärkste Erhitzung erfährt. Die weitere Vorbereitung für die Schweißung ist äußerlich genau die gleiche wie beim gewöhnlichen „kombinierten Thermit-Schweißverfahren“. Eine Form mit oberer Öffnung wird um den Stoß gelegt. Hierauf wird der Stoß vorgewärmt, bis der Schienenkopf orangefarben bis weißglühend ist. Hierin besteht bezüglich der Ausführung der erste große Unterschied von der gewöhnlichen kombinierten Schweißung. Nach beendeter übertriebener Vorwärmung wird auf den Schienenkopf eine Schutzkappe gemäß Abb. 2 aufgesetzt. Unmittelbar darauf beginnt der „Thermit“-Guß. Die feurig-flüssige Schlacke, die in den oberen Formteil eindringt, erstarrt zunächst an der verhältnismäßig kalten Oberfläche der Schutzkappe zu einer festen Kruste, so daß der Schienenkopf sofort von einem dicht schließenden, festen Gehäuse umgeben ist. Ein Ausspülen des Schienenkopfes, ein Ausbrennen oder Abtropfen des aufgeweichten Schienenstahls wird durch den allseitigen Abschluß verhindert. Ohne die Schutzkappe wäre

der durch die übertriebene Vorwärmung hochehitze Schienenkopf von der Schlacke weggespült worden, wie dies bezüglich Versuche zeigten.

Kurz nach dem Einguß wird der Stoß um etwa 3 bis 4 mm gestaucht. Im Gegensatz zur gewöhnlichen kombinierten Schweißung bedarf die Stauchung bei dem neuen Verfahren keines Kraftaufwandes, da die weich gewordenen Schienenköpfe keinen Widerstand bieten. Das Stauchen ist von Vorteil, wenn es auch hier eine andere Bedeutung hat als bei der gewöhnlichen kombinierten Schweißung: Bei dieser hatte es



Kopfschutz nach Vorwärmung auf Orange- bis Weißglut aufgesetzt.



Kopfschutz.

Abb. 2.

die Aufgabe, die Preßschweißung zu unterstützen, jetzt hat es die Aufgabe, an der Oberfläche des Schienenkopfes entstandene Formunregelmäßigkeiten, kleine Lunker usw. herauszudrücken.

Das neue Verfahren mit Kopfschutz ist in erster Linie für die Verschweißung naturharter Schienen geeignet, läßt sich jedoch, wie Versuche gezeigt haben, auch für andere verschleißfeste Schienen vorteilhaft anwenden.

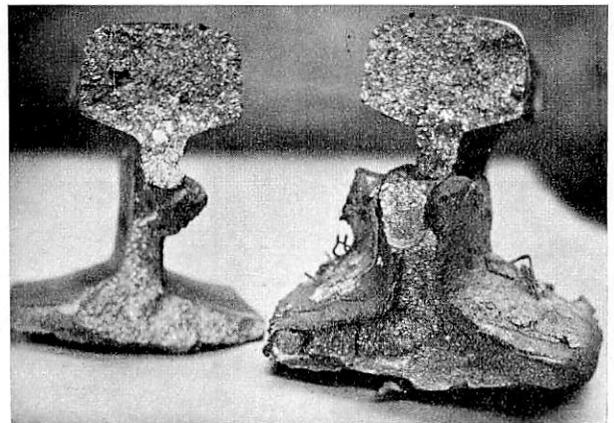


Abb. 3.

Abb. 3 zeigt z. B. einen gewaltsamen Biegebruch (mit gezogenem Schienenkopf) durch eine Schweißung an Verbundstahlschienen nach diesem Verfahren. Die Innigkeit der Schweißung im Kopf der Schiene wie im ganzen übrigen Querschnitt ist deutlich zu erkennen.

2. Gefügeuntersuchungen.

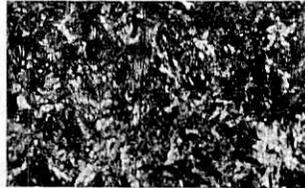
Das große Bild auf der Bildtafel (Abb. 4) stellt einen makroskopisch geätzten Längsschnitt durch eine nach dem kombinierten Verfahren mit Kopfschutz geschweißte naturharte Schiene S 49 dar. Gemäß der Beschreibung ist die Schweißung ohne Kopfschweißblech ausgeführt. Im unteren Teil des Schienenkopfes ist die Schweißnaht noch schwach angedeutet, während in der oberen Kopfhälfte jegliche Naht verschwunden ist. Bei der Erwärmung des Schienenkopfes von außen her sind die äußeren Schichten des Schienenkopfes stärker erwärmt

als die inneren. Wo die Schweißnaht nicht mehr sichtbar ist, hat ein vollkommenes Ineinanderschmelzen der beiden Enden der Schiene stattgefunden. Dies ist der besondere Vorteil des kombinierten Verfahrens mit Kopfschutz. Das Mikrobild gibt einen Überblick über die Geschlossenheit der Schweißverbindung.

Mikrobild 1 der Bildtafel (Abb. 4) ist aus der Mittellinie der Kopfschweißung an der mit 1 bezeichneten Stelle entnommen. Es zeigt recht deutlich, daß jegliche Schweißnaht restlos verschwunden ist, ein Beweis für die wirkliche Vereinigung der Schienenköpfe. Das Walzgefüge ist an der Stelle



1 V=40



2 V=40



3 V=40



4 V=40

Abb. 4. Kombinierte Schweißung mit Kopfschutz. 1 bis 4 Aufnahme von Mikrobildern.

Nr. 1 infolge der hohen Erhitzung gestört. Eine Umwandlung zum Gußgefüge hat jedoch nicht stattgefunden. In dem feinen Gefüge herrscht Perlit vor. Der Werkstoff hat eine große Zähigkeit und Festigkeit.

Mikrobild 2 der Bildtafel zeigt das Gefüge des Schienenkopfes in 40 mm Entfernung von Stoßmitte. Hier ist die Zeilenbildung nicht mehr ausgeprägt und das Gefüge ist infolge der langanhaltenden, das Wachstum des Korns fördernden Überhitzung etwas gröber als im Mikrobild 1.

Mikrobild 3 der Bildtafel ist in etwa 90 mm von Stoßmitte aufgenommen und zeigt das Gefüge des unbeeinflussten Schienenstahls. Die hellen Stellen (Ferrithäufungen) beweisen daß der betreffende Stahl noch nicht „eutektoid“ ist. Wahrscheinlich liegt sein Kohlenstoffgehalt etwa bei 0,8%. Eine Zeilenordnung ist in der Mitte noch eben erkennbar. Bei diesem höhergekohlten, verschleißfesten Stahl ist der

Abstand der Zeilen an sich größer als in einem gewalzten Stahl von geringerem Kohlenstoffgehalt, so daß ein so kleines Bild zwischen den Zeilen der Walzstruktur liegt und diese nicht enthalten kann.

Mikrobild 4 der Bildtafel zeigt das Gefüge des eigentlichen Schmelzgutes, das eine Legierung von „Thermit“-Eisen und Schienenwerkstoff darstellt. Der Kohlenstoffgehalt dieser Legierung liegt nach Untersuchungen und Schätzungen zwischen 0,3 und 0,4%. Das Gefüge ist kennzeichnend für untereutektoiden Stahlguß. Die hellen Ferritteile, die hier weit stärker in den Vordergrund treten als bei dem hochgekohlten Schienenstahl, stellen ein zusammenhängendes Netz dar, in dessen Maschen die dunklen Perlitkörner liegen (grobe Netzstruktur). Ferrit und Perlit sind etwa zu gleichen Teilen vorhanden. Da das Netz ziemlich grob und weitmaschig ist, ist die Festigkeit des Schweißgutes nicht gerade so groß wie bei gewalzten Werkstoffen, sie entspricht vielmehr der Festigkeit des Stahlgusses, den man hier durch gewisse Legierungszusätze zum „Thermit“ erheblich veredelt hat.

3. Härteprüfung auf der Schienenfahrfläche an der Schweißstelle.

Abb. 5 zeigt die „Härtekurve“ einer nach dem „kombinierten Verfahren mit Kopfschutz“ geschweißten, natur-

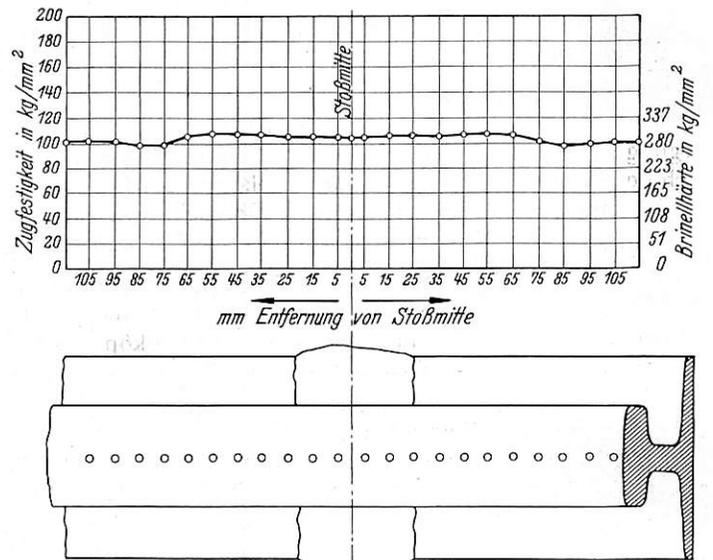


Abb. 5.

harten Schiene S 49. Über der Mittellinie der Schienenkopf-Fahrfläche sind die zugehörigen Brinellhärten aufgetragen. Der Zusammenhang zwischen Brinellhärte und Festigkeit ist gegeben durch die Formel:

$$\text{Zugfestigkeit} = 0,35 \cdot \text{Brinellhärte} + 2 \text{ kg/mm}^2$$

(vergl.: „Die Brinellsche Kugeldruckprobe“, von Döhmer, Verlag Julius Springer, 1925).

Die Härtemessung wurde mit der Brinellpresse vorgenommen. Aus je drei Messungen quer zur Fahrflächen-Mittellinie wurde das Mittel errechnet und aufgetragen. Die Härte des unbeeinflussten Schienenstahls beträgt etwa 100 kg/mm². Die Härtekurve entspricht in ihrer Form grundsätzlich der allgemein mit jeder beliebigen Schweißung verbundenen Wärmebeeinflussung und hierdurch verursachten Gefügeveränderung.

Beiderseits neben der Schweißmitte steigt die Kurve an, da hier infolge der langanhaltenden Erhitzung eine Kornvergrößerung stattgefunden hat. In 80 mm Entfernung von Stoßmitte sind die Störungszonen, in denen das Gefüge am feinsten, die Härte des Werkstoffes am geringsten und die

Dehnbarkeit am größten geworden ist. Es sind die Stellen, an denen die Gußform und Abdichtung abschließt.

Neben den Störungszonen liegt wieder Stahl von unbeeinflusster Schienenhärte. Die größten Abweichungen von der Schienenhärte betragen bei diesem Verfahren etwa 10%. Ob und inwieweit sich diese Abweichungen im Betrieb ungünstig bemerkbar machen, kann nur Anwendung und Erfahrung zeigen. Nach den bisherigen Streckenergebnissen mit den nach diesem Verfahren hergestellten Schweißstößen an verschleißfesten Schienen scheinen sie sich günstig zu verhalten.

4. Prüfung der Bruchfestigkeit und Durchbiegung sowie Schlagproben.

Die Zahlentafel gibt hierüber näheren Aufschluß. Die nach diesem Verfahren geschweißten Schienen wurden mit der zur Verfügung stehenden hydraulischen Presse belastet, die eine Höchstkraft von 113 t besitzt. Die Auflagerentfernung betrug 1 m. Die Belastung wurde derart durchgeführt, daß der Schienenkopf gezogen, der Fuß gedrückt wurde, weil auf diese Weise an die Kopfschweißung die stärksten Anforderungen gestellt werden. Bei der Beanspruchung einer Schiene kommt es bekanntlich auf die innige Kopfschweißung in erster Linie an. Die durchschnittliche Festigkeit K_b der nach dem neuen Verfahren hergestellten Schweißstöße an naturharten Schienen liegt weit über 100 kg/mm². Die Durchbiegungen betragen im Mittel über 16,5 mm auf 1 m. Bei der Schweißung an Verbundstahlschienen wurden mittlere Werte von 81 kg/mm² Biegefestigkeit und 30 mm Durchbiegung auf 1 m erzielt. Verschiedene Schweißungen wurden nach der Biegeprobe mit voller Last noch wiederholten Schlagbeanspruchungen mit einem 100 kg-Fallbär ausgesetzt, wobei nicht immer die Zerstörung gelang.

Zusammenfassung.

Das beschriebene neue Schweißverfahren beruht auf der Erhitzung der gegeneinandergedrückten Schienenköpfe bis in den Wärmebereich zwischen Solidus und Liquidus. Gleichzeitig wird ein Formverlust des durch die hohe Erhitzung breiig gewordenen Schienenkopfes verhindert durch Aufsetzen einer Schutzkappe. Das Verfahren ist in erster Linie geeignet für hochverschleißfeste Schienen, weil bei diesen ohnehin die Preßschweißbarkeit unterhalb der Soliduslinie nicht mehr möglich ist und weil andererseits der Schmelzbereich zwischen Solidus und Liquidus bei hochgekohten Werkstoffen verhältnismäßig groß und daher leicht zu treffen ist.

Die Prüfungsergebnisse an Schienenschweißungen nach dem neuen Verfahren können als recht gut bezeichnet werden.

Ein endgültiges Urteil wird erst eine umfangreichere Streckenerfahrung zulassen.

Das vorgeschriebene Verfahren wird der neuerdings angestrebten Einführung hochverschleißfester Schienen dienlich sein.

Zahlentafel.

Biege- und Schlagprüfung von Schweißungen nach dem „kombinierten Verfahren mit Kopfschutz“ an verschleißfesten Schienen.

$$K_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{P \cdot l}{4 \cdot W_b} = \frac{P \cdot 100^2}{4 \cdot W_b} \text{ kg/mm}^2.$$

A. Schiene S 49 (W = 234 cm³)

Nr.	Vers. Nr.	Belastung P = kg	Bruchfestigkeit kg/mm ²	Durchbiegung bei Last P auf 1 m mm	Schlagbeanspruchung mit 100 kg Bär m
1	547	107 000	114	17	5 × 5 m 5 × 6 m 2 × 7 m
2	579	113 000	über 120	über 17	
3	581	89 000	95	12,5	
4	583	83 000	87,5	13	5 × 5 m 5 × 6 m 7 × 7 m Kein Bruch
5	584	113 000	über 120	über 15	
6	585	113 000	über 120	über 18	
7	586	108 000	115	21,5	5 × 5 m 5 × 6 m 2 × 7 m
8	587	88 000	94	16,5	
9	588	106 000	113	21,5	
10	589	113 000	über 120	über 20	Kein Bruch
11	590	113 000	über 120	über 13	Kein Bruch
12	591	91 000	97	12	Kein Bruch
13	994	103 000	über 110	über 17	
B. Schiene S 49.					
1	833	71 000	76	20	Klößkner Verbundstahl
2	837	77 000	81	36	
3	853	78 000	82	26	
4	857	82 000	87	40	

Naturharte Krupp- und V. T.-Schienen

Die Fährverbindung Dover—Dünkirchen.

Gemeinschaftlich von der englischen Süd-Eisenbahn und der französischen Nord-Eisenbahn eingerichtet, besteht seit Oktober 1936 ein Fährverkehr Dover—Dünkirchen, mit dessen Hilfe ein Personenverkehr zwischen London und Paris und ein Güterverkehr zwischen den englischen Eisenbahnen und denen des europäischen Festlands ohne Umladen stattfindet. Dover wird als englischer Ausgangspunkt für diesen Verkehr wegen seiner Lage zu London gewählt worden sein, obgleich dort große Schwierigkeiten bei Herstellung der Landanlagen für die Fährdampfer zu überwinden waren, während die Wahl auf festländischer Seite nicht auf Calais, wie man hätte erwarten können, sondern auf Dünkirchen fiel, weil dort die Verhältnisse zur Aufnahme des neuen Verkehrs besonders günstig sind. Der Unterschied des Wasserstands bei Ebbe und Flut beträgt in Dünkirchen nur 5,5 m gegen 6,5 m in Calais, wo überdies die Fährschiffe bei Niederwasser nicht einfahren können. Dünkirchen hat dazu einen durch

Schleusen abgeschlossenen Hafen, dessen Schleusen so bedient werden, daß die Schwankungen des Wasserstands nur 1,85 m betragen. Die baulichen Anlagen des Hafens Dünkirchen sind so, daß für den Fährverkehr nur in einer Ecke eines Hafenbeckens ein Fährbett angelegt zu werden brauchte. Die übliche bewegliche Brücke, die den Verkehr der Eisenbahnwagen zwischen den Schienen auf dem festen Lande und denen auf dem Fährdampfer vermittelt, ist hier zweiteilig angeordnet. Der landseitige Teil, um eine waagerechte Achse am Landende schwingbar, dient dazu, die Schwankungen des Wasserstands auszugleichen, während der vordere Teil auf ihm so gelagert ist, daß er auch in der Querrichtung schwingen kann, so daß er nicht nur sich dem Höhenunterschied anpassen kann, der sich aus der verschiedenen Belastung des Fährdampfers ergibt, sondern auch den Bewegungen folgt, die das Schiff bei einseitiger Belastung macht. Die beiden Brückenteile sind je 27 m lang. Sie können durch einen abnehmbaren 7 m langen

Schnabel verlängert werden, um auch anderen Fähren als denen für den Verkehr Dover—Dünkirchen dienen zu können. Das Zufahrtgleis gabelt sich auf der Brücke in zwei Zweige, so daß es möglich ist, beim Auf- und Abfahren der Eisenbahnwagen eine gleichmäßige Be- und Entlastung der Fährdampfer zu wahren. Die Fährbrücke hat elektrischen und hilfsweise Handantrieb. Die nötigen Sicherungsmaßnahmen sind vorgesehen, um zu verhindern, daß Wagenbewegungen zwischen dem festen Land und dem Dampfer vorgenommen werden, ehe die Brücke mit dem Dampfer verriegelt ist. Eine weitere Sicherungsvorrichtung spricht an, wenn die Fährbrücke eine zu steile Neigung annimmt; es ertönt dann eine Klingel, ein Warnlicht leuchtet auf, und der Strom für den Antrieb der Brücke wird abgeschaltet.

Neben dem Fährbett ist ein Empfangsgebäude, hauptsächlich um den Reisenden zu dienen, die nicht die durchgehenden Wagen benutzen, mit den nötigen Räumen für den Zolldienst usw. sowie eine Überladeanlage für Güter errichtet worden. Eine 5 m breite Rampe in 1:12,5 Neigung führt auf das Dach dieses Gebäudes, damit Kraftwagen, die auf dem Oberdeck der Fährdampfer die Reise über den Kanal machen, mit eigener Kraft auf- und abfahren können. Eine bewegliche Brücke vermittelt den Verkehr auch für Fußgänger zwischen diesem Dach und dem Oberdeck. Für Güter, die umzuladen sind, sind ebenfalls die nötigen Anlagen vorgesehen. Die Gleisanlagen bestehen aus einem Gleis neben dem Fährbett, auf dem, wenn sich die Notwendigkeit herausstellt, ein Kran aufgestellt werden soll, der Behälter, Gepäck und dergl. zwischen Schiff und Land überhebt, einer Gruppe von fünf Gleisen jenseits des Empfangsgebäudes für den Personenverkehr und zu Abstellzwecken und einer Gruppe von vier Gleisen an der Überladeanlage. Alle diese Gleise gehen von einem Stammgleis aus, das die Verbindung mit dem Stadtbahnhof Dünkirchen herstellt.

In Dover gehen die Schwankungen des Wasserstands bis 7,5 m, und es war daher nötig, zur Aufnahme der Fährdampfer eine Dockschleuse anzulegen. Ihr Bau machte ungeheure Schwierigkeiten. Wegen des zerklüfteten Untergrunds gelang es nicht, die Baugrube trocken zu legen, ihre Sohle mußte erst durch eine unter Wasser eingebrachte, 1,5 m dicke Betonschicht abgedeckt werden, ehe man mit dem Bau der Umfassungsmauern für die Dockschleuse beginnen konnte, deren Länge 126,25 m, deren Breite 21,35 m beträgt und in der das Wasser 5,2 m über dem Drempeel steht. Die Einfahrt zu dieser Schleuse ist durch ein niederklappbares Doppeltor abgeschlossen. Die Schiffe legen erst an einer 120 m langen Mole vor der Schleuse an und werden dann, nachdem die Tore niedergelegt sind, in diese hineingeschleppt. Hinter ihnen werden die Tore wieder geschlossen, und durch drei Schleuderpumpen mit einer Leistung von 540 m³ in der Minute wird dann der richtige Wasserstand in der Schleuse hergestellt. Damit diese Pumpen voll wirken können, müssen sie unter dem niedrigsten Wasserstand aufgestellt sein, und die Sohle des Pumpenhauses liegt infolgedessen 15 m unter dem höchsten Wasserstand. Diese 31 m lange und 12,2 m breite Sohle besteht aus 21 Blechträgern von 1,5 m Höhe, deren Zwischenraum mit Beton ausgefüllt ist. Auf die Sohle wurden Spund-

wände als Schalung für die seitlichen Mauern aufgesetzt, die ebenfalls aus Beton hergestellt wurden. Es ist gelungen, auf diese Art eine vollständig dichte Wanne zur Aufnahme der Pumpen herzustellen.

Da in der Dockschleuse während des Ladevorgangs stets die gewollte Wasserhöhe besteht, braucht die Fährbrücke hier nur 21,35 m lang zu sein; sie hat ja nur die Aufgabe, die Schwankungen in der Tauchtiefe der Fährdampfer auszugleichen.

Auch in Dover ist neben der Landestelle der Fährdampfer ein Empfangsgebäude errichtet worden, auf dessen als Terrasse ausgebildetes Dach eine Rampe für die Kraftwagen führt. Die Landebrücken sind übrigens sowohl in Dover wie in Dünkirchen mit einer solchen Fahrbahn versehen, daß Kraftwagen auch auf das Gleisdeck auffahren können.

Für den Fährverkehr sind drei Sonderdampfer gebaut worden, die auf ihrem Gleisdeck 12 Schlafwagen oder 40 Güterwagen aufnehmen können. Sie sind 109,8 m lang, 18,3 m breit und haben beladen einen Tiefgang von 3,8 m. Sie haben Turbinenantrieb und entwickeln eine Geschwindigkeit von 15 Knoten. Auf dem Oberdeck sind Aufenthaltsräume für die Reisenden vorgesehen, die während der Überfahrt nicht im Wagen bleiben wollen oder die durchgehenden Wagen nicht benutzen. Hier befindet sich auch ein Unterstellraum für 25 Kraftwagen, dessen abgeschlossene Anlage es möglich macht, daß diese Wagen befördert werden können, ohne ihren Betriebsstoffbehälter zu entleeren.

Der über dem Gleis freizuhaltende Raum ist bekanntlich bei den englischen Eisenbahnen kleiner als bei den festländischen, auch weichen die englischen Kupplungen von den festländischen ab. Infolgedessen war es nötig, für den Fährverkehr einen besonderen Wagenpark zu bilden. Es sind daher zunächst zwölf Schlafwagen beschafft worden, die 18 Reisende 1. und 2. Klasse aufnehmen können. Sie sind nur 2,75 m breit und 3,9 m hoch, bieten aber trotz dieser kleinen Abmessungen alle Bequemlichkeit, die man von einem neuzeitlichen Schlafwagen erwartet. Die zugehörigen Gepäckwagen haben doppelte Zug- und Stoßvorrichtungen, damit sie, den Übergang zwischen den Schlafwagen und der Lokomotive bildend, sowohl mit einer englischen wie mit einer französischen Lokomotive gekuppelt werden können.

Außerdem sind für den Fährverkehr 1340 Güterwagen in Sonderbauart vorhanden, die, 12 t wiegend, eine Nutzlast von 12 bis 20 t auf einer Ladefläche von 17 bis 22 m² aufnehmen können. Sie sind 7,7 m lang und 2,2 m breit. Der Bau weiterer Wagen, z. B. zur Beförderung von Behältern, von Kraftwagen, von Lasten ungewöhnlicher Abmessungen und dergl. ist beabsichtigt. Auch Kühlwagen, die sich sowohl für den Verkehr auf dem Festlande wie in England eignen, sollen für den Fährverkehr beschafft werden.

Die Fahrt mit dem Schlafwagen von London nach Paris dauert von 22 bis etwa 9½ Uhr. Paßprüfung und Zolldurchsicht findet im Zuge statt, so daß die Reisenden in ihrer Nachtruhe möglichst wenig gestört werden. Entsprechend ist der Verkehr in der Gegenrichtung. Für den Güterverkehr machen die Fähren je nach Bedarf zwei oder drei Fahrten täglich.

Wernecke.

Rundschau.

Geschäftsbericht der Deutschen Reichsbahn über das 12. Geschäftsjahr 1936.

Der Geschäftsabschluß des zwölften und letzten Geschäftsjahres der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft zeigt entsprechend den Auswirkungen des allgemeinen Wirtschaftsanstiegs eine weitere Besserung des Ergebnisses. Die Verkehrseinnahmen im

Personen- und Gepäckverkehr sind 1 069,9 Millionen *R.M.* (988,6), im Güterverkehr 2 635,6 Millionen *R.M.* (2 324,5), zusammen 3 705,5 Millionen *R.M.* (3 313,1). Die Ziffern in Klammern gelten für das Jahr 1935. Einschließlich der „sonstigen Einnahmen“ belaufen sich die Gesamteinnahmen der Betriebsrechnung auf 3 984,8 Millionen *R.M.* (3 586,1). Die in der Betriebsrechnung für die Betriebsführung, Unterhaltung und Erneuerung verrechneten

Ausgaben betragen 3513 Millionen *R.M.* (3433,9). Die Zunahme der Ausgaben erklärt sich durch größere Verkehrsleistungen mit ihrer Rückwirkung auf die Kosten der Betriebsführung und die sachlichen Aufwendungen für die Unterhaltung und Erneuerung der Bahnanlagen und Fahrzeuge. Somit schließt die Betriebsberechnung mit einem Überschuß von 471,8 Millionen *R.M.* (152,2). Die Betriebszahl, d. h. das Verhältnis der Betriebsausgaben zu den Einnahmen der Betriebsberechnung ist 88,16 (95,75). Der Betriebsüberschuß von 471,8 Millionen *R.M.* erhöht sich durch außerordentliche Einnahmen auf 512,6 Millionen *R.M.*, aus denen nach Abdeckung der Verbindlichkeiten der Gewinn- und Verlustrechnung ein Reingewinn von 121,4 Millionen *R.M.* verbleibt. Dieser wurde in 75,7 Millionen *R.M.* für 7% Dividende auf die Vorzugsaktien, 11,4 Millionen *R.M.* als Zuweisung zur Dividendenrücklage und 34,3 Millionen *R.M.* als Zuweisung zur Ausgleichsrücklage aufgeteilt. Das statistische Anlagekapital der Reichsbahn ist Ende 1936: 27,4 Milliarden *R.M.*, der Gesamtschuldenstand 2,7 Milliarden.

I. Verkehr und Betrieb.

Güterverkehr. Die Wagenstellungszahlen hatten im arbeitstäglichen Durchschnitt einen Verkehrszuwachs von 8,8% gegenüber 1935. Der Bestand an Großgüterwagen betrug wie 1935 961 Stück, und zwar 911 offene und 50 gedeckte. Der Nachfrage nach Kleinbehältern konnte in den Herbstmonaten mit 15 000 Stück nicht voll entsprochen werden. Die Betriebsleistungen sind gegen 1935 weiter gestiegen. Die wachsende Zugstärke brachte eine erhöhte Wirtschaftlichkeit der Betriebsführung. Die Beförderungsdauer verringerte sich hauptsächlich durch Verkürzung der Aufenthalte auf den Verschiebebahnhöfen. Weitere Kleinlokomotiven bis zur Gesamtzahl 1082 (933) und Einradwagenschieber bis zu 33 (32) wurden eingesetzt, so daß die Reisegeschwindigkeit der Nahgüterzüge sich um 4,3% hob. Personenverkehr. Verkehrsleistungen und Verkehrseinnahmen sind gestiegen. Die mittlere Reiseweite im Gesamtpersonenverkehr mit Nahverkehr stieg auf 27 km, im allgemeinen Verkehr auf 34,1 km. Die Einnahme auf 1 Personenkilometer betrug 2,46 Pfg. Der Personenverkehr stand stark unter dem Einfluß des Olympiaverkehrs. Im Fernverkehr wurde das Schnelltriebwagenetz ausgebaut. Auf der Strecke Nürnberg—Leipzig—Berlin wurde ein aus 2 zweiseitigen, 2 × 410 PS-Dieselschnelltriebwagen mit Gabelung Nürnberg—München und Stuttgart—Nürnberg, auf der Strecke Beuthen—Breslau—Berlin ein dreiteiliger, 2 × 600 PS-Dieselschnelltriebwagen mit 2. und 3. Klasse eingesetzt. Ferner läuft auf der Strecke Stuttgart—München ein elektrischer Schnelltriebwagen für Oberleitung von gleicher Bauart wie die zweiseitigen Dieselschnelltriebwagen. Trotz steigender Zuglast bei den schnellfahrenden Zügen konnte die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit aller D-Züge von 64,3 km/h auf 65,2 km/h gesteigert werden. Im Ruhrgebiet wurden die Dampfzüge des Ruhrschnellverkehrs durch Verbrennungstriebwagen ersetzt. Diese Maßnahme zur Auflockerung und Verdichtung des Reisezugfahrplanes hat heute schon dahin geführt, daß im gesamten Reichsbahnbereich 8,5% der Zugleistungen im Fernverkehr durch Triebwagen mit eigener Kraftquelle gegen 7,3% im Vorjahr gefahren werden. — Die Eröffnung des Rügendamms hat erhebliche Verbesserungen im Verkehr zwischen Deutschland und Schweden-Norwegen gebracht. Mehrere Expreßzüge wurden im Verkehr mit dem Ausland in der Reisezeit verkürzt. Das Netz der Reichsbahn-Kraftomnibuslinien auf Reichsautobahnen umfaßt z. Z. 26 Linien mit rund 2500 km Betriebslänge. Im Güterfernverkehr mit Kraftfahrzeugen haben sich die tariflichen Maßnahmen noch nicht günstig für die Reichsbahn ausgewirkt.

Elektrische Zugförderung. Auf den Strecken Freiburg (Breisgau)—Neustadt (Schwarzwald) und Titisee—Seebruck (Höllental- und Dreiseisenbahn) wurde der elektrische Zugbetrieb mit Drehstrom aus der Landesversorgung beschränkt aufgenommen. In Berlin wurde der nördlich des Bahnhofs Unter den Linden gelegene Teil der Nord-Süd-S-Bahn in Betrieb genommen. Im ganzen umfaßte die elektrische Zugförderung der Reichsbahn 2284 km (2225 km). Die Bauarbeiten auf der Strecke Nürnberg—Halle—Leipzig (350 km) nehmen planmäßig ihren Fortgang. Zum Studium des Verhaltens von Heimstoffen an Stelle von Kupfer im Fahrleitungsbau wurde auf 40 km Gleis der Fahrdrabt aus Aluminiumlegierungen, Aluminium, Stahl und mechanischer Vereinigung von Aluminium mit Stahl ausgeführt.

II. Bauwesen.

Bautätigkeit. In Berlin wurden die Arbeiten an der Nord-Süd-S-Bahn fortgesetzt. Der Rügendamm wurde seiner Bestimmung übergeben. Eine Reihe von Streckenneu- und -umbauten sind im Gange. Das elektrische Bahnbetriebswerk mit Verwaltungsgebäude auf dem Hauptbahnhof Nürnberg wurde fertiggestellt. Die umfangreichen Bahnbauten dortselbst im Zusammenhang mit der Ausgestaltung des Reichsparteitaggeländes wurden fortgesetzt. — Zum Jahreschluß befanden sich 1087 km Reichsautobahnen im Betrieb und weitere 1644 km im Bau. Bauartige Anlagen. Zur Sicherung der Wegübergänge sind 137 Warnlichtanlagen im Betrieb, weitere 10 in Ausführung. Rund 1800 Kreuzungen von Reichsstraßen mit Reichsbahnstrecken wurden mit Wegebaken versehen. Die Beleuchtung an Wegeübergängen wurde verbessert. Oberbau. 1350 km Gleis und 5587 (4581) Weicheneinheiten wurden erneuert. Im Herrichten der Strecken für erhöhte Geschwindigkeiten wurden weitere wesentliche Fortschritte erzielt. Die Oberbaumeßwagen wurden mit einer neuen Kreiselanordnung zum Aufnehmen der Gleisrichtung ausgerüstet. Sicherungs- und Fernmeldeanlagen. Alte Stellwerke wurden durch solche der Einheitsform oder durch elektrische Kraftstellwerke, darunter Mehrreihenstellwerke ersetzt. Die Ausrüstung von Bahnen mit elektrischer Streckenblockung (Nordsüd-S-Bahn) wurde fortgesetzt. Zur Ermöglichung von Fahrgeschwindigkeitssteigerungen wurden auf weiteren Schnellzugstrecken die Abstände der Vorsignale vom zugehörigen Hauptsignal auf 1000 m erhöht und hierbei Vorsignale mit Zusatzflügel eingeführt. Zugbeeinflussungseinrichtungen wurden weiter eingebaut.

III. Fahrzeuge.

Unter den beschafften Dampflokomotiven befindet sich eine neue 1'E 1'h 3-Tenderlokomotive, Baureihe 84, mit Schwartzkopff-Eckardt-Lenkgestellen als zukünftige Einheitsausführung. In der Schweißung der Tender wurde fortgefahren, bei den Lokomotiven der Baureihen 24 3T 17 und 03 4T 34 konnte dadurch der Wasserinhalt ohne Änderung des Dienstgewichts um 1 bzw. 2 m³ gegenüber der genieteten Ausführung erhöht werden. Um devisenzehrenden Stoff zu sparen, haben alle Lokomotiven geschweißte Stahlfeuerbüchsen erhalten. Einige Lokomotiven der Baureihe 03 sind versuchsweise mit Dreistofflagern ausgerüstet worden. Vier Lokomotiven der Baureihe 71⁰ erhielten vollständig geschweißte Kessel, halb selbsttätige Rostbeschickung und nach beiden Seiten Übergangsmöglichkeit zum Zuge. Der Treibraddurchmesser wurde auf 1600 mm und die Höchstgeschwindigkeit auf 100 km/h erhöht. Die neuen Lokomotiven mit Stromlinienverkleidung der Baureihen 03 und 05 wurden auf der Strecke Berlin—Hamburg für FD 23/24, die der Baureihe 61 auf der Strecke Berlin—Dresden zur Beförderung des Henschel-Wegmann-Dampfzuges eingestellt. Die 05-Lokomotive kam bis auf 200,4 km/h, der Henschel-Wegmann-Dampfzug auf 185 km/h. Außer einigen elektrischen Speicherkleinlokomotiven der Leistungsgruppe II wurden Einheitskleinlokomotiven der Leistungsgruppen I und II mit Dieselmotoren beschafft. Diese können ohne weiteres auch mit einheimischem Braunkohlendieselloil betrieben werden. Auch Kleinlokomotiven mit Sauggasanlagen kamen zur Anlieferung. Neben dem Viergangrädigertriebe der Einheitsbauart sind einige Lokomotiven mit einem dreiteiligen Voith-Flüssigkeitstriebwerke ausgerüstet. Neu in Dienst gestellt wurden vier dreiteilige, auf je zwei Jacobs- und Einzeldrehgestellen laufende Schnelltriebwagen Bauart „Leipzig“, die durch Maybach-Auflademotoren von 2 × 600 PS-Leistung angetrieben werden und je zur Hälfte elektrische und hydraulische Kraftübertragung haben. Diese Leistung ermöglichte bei wiederholten Versuchsfahrten die Überschreitung der 200-km-Grenze. Unter weiteren zwei und vierachsigen Dieselschnelltriebwagen von 150, 210, 300, 410, 420 und 560 PS-Leistung ist ein vierachsiger dieselhydraulischer Aussichtstriebwagen mit Rollverdeck und liegenden DWK-Motoren von 2 × 180 PS-Leistung zu erwähnen. Ferner wurden entwickelt und bestellt: zwei vierteilige Schnelltriebwagen, bestehend aus je einem Maschinenwagen und drei Personenfahrzeugen auf Einzeldrehgestellen mit langsamlaufendem 1300-PS-MAN-Auflademotor, dessen Antriebsleistung sich vermittels elektrischer Übertragung auf alle vier Fahrzeuge verteilt, sodann 14 dreiteilige 2 × 600 PS dieselektrische Schnelltriebwagen auf Einzeldrehgestellen, und eine Reihe zweiseitiger Nebenbahntriebwagen mit 2 × 275 PS-Motoren.

Elektrische Fahrzeuge. Eine neu entwickelte Schnellzuglokomotive E 19 mit einer Höchstgeschwindigkeit von 180 km/h und einer Stundenleistung von mehr als 5000 PS wurde in Auftrag gegeben und soll später für die Beförderung der schweren FD-Züge München—Berlin verwendet werden, wobei sie imstande sein wird, solche Züge von 360 t ohne Vorspann und ohne Schublokomotive mit einer Fahrgeschwindigkeit von 60 km/h über die Steilrampen des Frankenwaldes zu fahren. Ferner werden neu in Dienst gestellt vier zweiteilige Wechselstrom-Einheitstriebwagen für 120 km/h und zwei zweiteilige Wechselstrom-Schnelltriebwagen für 160 km/h Höchstgeschwindigkeit, acht dreiteilige Wechselstrom-Triebwagen für 120 km/h Höchstgeschwindigkeit sowie ein Wechselstrom-Aussichtstriebwagen. Bestellt wurden noch zwölf Wechselstrom-Triebwagen und 20 Steuerwagen, ein weiterer vierachsiger Triebwagen für 50 Hertz für die Höllental- und Dreiseisenbahn. Der Austausch von Baustoffen ausländischen Ursprungs durch einheimische Baustoffe wurde auch beim Bau der elektrischen Fahrzeuge mit größtem Nachdruck gefördert. Bei zwei E 44 Lokomotiven wurden Umspanner mit Aluminiumwicklung eingebaut, auch bei Elektromotoren werden Versuche mit Aluminiumwicklung angestellt werden. Der Entwurf für eine elektrische Lokomotive, bei der ausschließlich einheimische Baustoffe verwendet werden sollen, ist in Arbeit. Für die Umspanner soll Öl deutschen Ursprungs verwendet werden. Die Ausrüstung der elektrischen Triebfahrzeuge auf dem schlesischen Gebirgsstreckennetz mit Kohleschleifstücken gegen Störungen im Rundfunkempfang hat sich auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten bewährt.

Für den Verkehr auf dem Bodensee wurden zwei Motorschiffe gebaut für je 800 Personen Fassungsraum mit je zwei Dieselmotoren von 380 PS-Leistung und Voith-Schneider-Propeller. Personen- und Güterwagen. Die Laufeigenschaften der neuen D-Zugwagen der FD-Züge wurden durch eine verfeinerte Abfederung, die vierte Federung der Görlitzer Drehgestelle, verbessert. Die D-Zugwagen erhalten windschnittige Form. Ferner wurden vierachsige Personenwagen mit Mittel- und Endeinstiegen mit einem Wagengewicht von nur rund 24 t bei 70 Sitzplätzen entwickelt, die trotz der leichten Bauart noch in größerem Zug-

verband laufen können. Im Güterwagenbau wurde das Laufwerk für höhere Geschwindigkeiten verbessert. Neue Kühlwagen in geschweißter Bauart wurden für 90 km/h Höchstgeschwindigkeit eingestellt. Die Bremsbewertung wurde für verschiedene Wagen und Lokomotiven zum Abschluß gebracht. Die Hikss-Bremse mit 200% Abbremsung des Eigengewichts wurde für besonders schnellfahrende Züge erprobt und fortentwickelt. Die Druckluftbremsen der neuen Triebwagengattungen wurden in Leistung und Bedienungsweise, die Magnetschienenbremse in der Steuerung verbessert. Straßenkraftfahrzeuge. Es sind 2196 Lastkraftwagen mit 1,5 bis 5 t Nutzlast vorhanden. Hierunter sind zehn Stück mit Trilok-Flüssigkeitsgetriebe, 30 Holzgaswagen und zehn Stück Doble-Dampfswagen. In Zukunft werden möglichst vereinheitlichte Lastkraftwagen für 6,5 t Nutzlast beschafft, die 120 oder 150 PS-Motoren erhalten. Anhänger sind 918 Stück für 3 bis 10 t Nutzlast vorhanden, für den Betrieb auf den Reichsautobahnen 126 Kraftomnibusse.

Werkstätten. Die durchschnittliche Leistung einer Dampflokomotive zwischen zwei Untersuchungen betrug rund 120000 km (119000). Der Ausbesserungsstand der Dampflokomotiven im Jahresdurchschnitt 13,2%. Sehr wertvoll hat sich die Verwendung eines warmfesten Kupfers in Verbindung mit stählernen Stehbolzen in den Feuerbüchsen der Lokomotiven erwiesen. Neben dem Aufschweißen der Spurkränze wurden weitere Versuche mit dem Schleifen von Radsätzen gemacht. Man erhofft Stoffersparnis. Stoffwirtschaft. Die Umstellung auf Heimstoffe wird beschleunigt durchgeführt. In der Altstoffwirtschaft wurde die Auffrischung der Altöle und Reinigung der Putzwolle erfolgreich ausgebaut.

Der Kohlenverbrauch betrug 14,5 (14,0) Millionen Tonnen. Der Verbrauch auf 1000 Lokomotivkilometer war 13,72 t (13,74 t). Beschafft wurden 2,5 Millionen Stück Holzschwellen, vornehmlich Buchenschwellen, sämtlich im Inland. Neue Fahrzeuge wurden für rund 125,1 Millionen *R.M.* beschafft. Die verschiedenen Versuchsabteilungen (chemische, schweiß-, gießereitechnische, mechanische) erfüllten die wichtigen Aufgaben der Prüfung zur Fortentwicklung. Przygode VDI VDE.

Bücherschau.

Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbogen. Von Sarrazin-Oberbeck-Höfer. Berlin: Julius Springer 1937. 52. Auflage. Preis geb. 6,00 *R.M.*

Die Besonderheit der neuen Auflage besteht darin, daß die Tafeln für die Kreisbogen mit Übergangsbogen auf die für Hochgeschwindigkeiten erforderlichen, großen Übergangsbogenlängen ausgedehnt sind. Die Gleichung der kubischen Parabel erscheint dabei in einer nach Petersen berichtigten Form, so daß die Anschlußfehler am Übergang zum Kreisbogen verschwinden. Die Tafeln erstrecken sich auf Halbmesser von 60 bis 10000 m und auf Parabelnängen von 10 m bis 320 m. Beispielsweise sind für den Bogenhalbmesser $r = 2000$ m 31 Parabeln aufgeführt, so daß alle Geschwindigkeitsstufen gedeckt sind. Die Ordinaten für den anschließenden Kreisbogen sind für jeden Halbmesser gleich mit berechnet. Das allgemein gut eingeführte, vielbewährte Handbuch ist damit auf den neuesten Stand gebracht, seine Brauchbarkeit ist noch erhöht und erweitert. Dr. Bloss.

Beitrag zur Berechnung von Mastfundamenten. Von Dr. Ing. H. Fröhlich. Dritte neubearbeitete und erweiterte Auflage. Mit 70 Textabbildungen. Berlin: Wilhelm Ernst und Sohn 1936. Preis geheftet 7,50 *R.M.*

Die bisher veröffentlichten Bemessungsverfahren für Blockfundamente von Freileitungsmasten können nicht restlos befriedigen, weil sie teils auf nur begrenzt gültigen, teils auf noch nicht genügend erforschten Grundlagen oder schwer einschätzbaren Annahmen beruhen. Auch die Berechnungsweise, die den beiden ersten Auflagen des vorliegenden Buches zugrunde liegt, ist nicht ganz einwandfrei; sie ergibt bei ungünstigen Baugrundverhältnissen und großen Angriffsmomenten unzulängliche Abmessungen.

In der dritten Auflage sind diese Mängel beseitigt worden. Zur Vermeidung von übermäßigen Setzungen und Schiefstellungen der Gründungkörper wurden für die Baugrundbelastung Grenzwerte festgelegt, und zwar in waagerechter Richtung der unter

Vernachlässigung der Reibung zwischen Erde und Gründungswand errechnete passive Erddruck, in senkrechter Richtung die zulässige Bodenpressung. Für die letztgenannte empfiehlt der Verfasser die in der „Hütte“ (4) III, Seite 103 angegebenen Werte. In Einzelfällen, z. B. bei feuchtem Lehm und Ton dürften diese Werte keine ausreichende Gewähr für geringe Formänderungen (Zusammendrückungen) des Baugrundes bieten. Bei solchen weichplastischen Böden müssen die zu erwartenden Setzungen unbedingt nach den physikalischen Eigenschaften des Erdstoffes und den Ergebnissen der an Bodenproben vorzunehmenden Verdichtungs- und Durchlässigkeitsversuche beurteilt werden.

Auch die im zweiten Abschnitt behandelte Berechnung von Plattengründungen, die oft wirtschaftlicher sind als Blockfundamente, ist den neuesten Erkenntnissen der Forschung entsprechend umgearbeitet worden.

Die übersichtliche, durch zahlreiche Kurventafeln zur raschen Ermittlung der Abmessungen den Bedürfnissen der Praxis Rechnung tragende Abhandlung hat erheblich an wissenschaftlichem Wert gewonnen und wird bei allen, mit einschlägigen Arbeiten betrauten Fachgenossen gebührende Beachtung finden.

Schönberg.

Technologie des Holzes. Von Prof. Dr. Ing. F. Kollmann, Eberswalde. Berlin: Julius Springer 1936. 729 Seiten, 604 Textabbildungen und 1 Tafel. Preis geheftet 66.— *R.M.* gebunden 69.— *R.M.*

Das vorliegende Werk stellt eine umfassende, wissenschaftlich gründliche, dabei von Anfang bis zu Ende fesselnde Technologie des Baustoffes Holz dar. Der Sinn und das Ziel des Werkes werden dem Leser klar, wenn er die in reicher Fülle eingestreuten Fußnoten überblickt, die auf Forschungsergebnisse hinweisen. Sie stammen zum allergrößten Teile aus den letzten zehn Jahren. In diesem Zeitraum hat der Baustoff Holz jene wissenschaftliche Durchleuchtung gefunden, die dem Werkstoff Stahl schon wesent-

lich früher zuteil geworden ist. Eine Riesenarbeit ist damit geleistet worden. Daß dabei sehr verwickelte Verhältnisse erforscht werden mußten, ergibt sich aus der Natur des Holzes. Handelt es sich doch beispielsweise bei der Zerspannung von Holz um Hirnzerspannung, Querzerspannung und Längzerspannung je mit besonderen Erscheinungsformen. Von Zeit zu Zeit erwächst nun der sichtenden Wissenschaft die Aufgabe, die Unsumme der Einzeluntersuchungen zu einem übersichtlichen Gesamtbau zusammenzufügen. Diese Aufgabe hat Kollmann meisterhaft gelöst. Er hat nicht nur in sicherer Beherrschung des gesamten Stoffes ein Werk aus einem Guß geschaffen, er hat auch mit nachahmenswerter Gewissenhaftigkeit „bestimmte Kapitel vor der endgültigen Drucklegung dem kritischen Urteil einiger Fachgenossen vorgelegt“. So ist ein zuverlässiger Führer durch das ganze, große Gebiet entstanden.

Von dem Reichtum des Buches gibt eine Aufzählung der Hauptabschnitte nur eine schwache Vorstellung. Das Werk ist wie folgt gegliedert: Der Aufbau des Holzes, die Physik des Holzes, Elastizität und Festigkeit des Holzes, Chemie des Holzes, Holzschutz und Holz Trocknung, die Zerspannung von Holz, spanlose Formgebung von Holz und Holzverbindungen, Holzveredelung, Abfallholzverwertung. Naturkunde und Technik sind allenthalben aufs innigste, ja geradezu wohlthuend verbunden.

Von Eisenbahnfachleuten werden aus dem Werke reichen Nutzen ziehen können der Bauingenieur für die vertiefte Kenntnis der Holzschwellen, der Architekt für Holzbauten, vor allem aber der Werkstättenmann für die Holzbearbeitung, die besonders vielseitig behandelt ist.

Erwähnung verdient noch, daß das Werk aus dem Heimatboden des Preußischen Holzforschungsinstitutes Eberswalde erwachsen ist, das sich damit wiederum als Pflanzstätte echter Wissenschaftlichkeit erwiesen hat.

Die vorbildliche Ausstattung des Buches gereicht dem Verfasser wie dem Verlag zur Ehre.

Dr. Bloss.

„Bewegliche Brücken“. Von Dr.-Ing. Hawranek. Berlin: Julius Springer 1936. Preis geb. 48,— R.M.

Wenn man nicht nur als Ingenieur allgemein, sondern insbesondere als Brückenbauer bisher die vollkommene Literatur über feste Brücken studierte, so konnte man feststellen, daß in ihr sowohl für einfache Entwürfe als auch für die schwierigsten Fragen, die überhaupt auftreten können, Beispiele und Lösungen in untadeliger Form zusammengetragen sind. Nicht so ging es bei der Entwurfsbearbeitung für bewegliche Brücken. Weit verstreut, oft kaum zugänglich, waren die nötigen Unterlagen, so daß die Bearbeitung in den Büros der Brückenbauanstalten überflüssige Zeit und Mühe kostete, sofern nicht Erfahrungen im einzelnen vorlagen; diese paßten sich aber oft nicht den gegebenen An-

forderungen an und brachten dann Lösungen, die als überholt angesehen werden konnten. Bei den raschen Fortschritten in den Verkehrsgrößen (Schiffe) und Lasten (Eisenbahn- und Straßenfahrzeuge) und der möglichst ungehemmten Geschwindigkeit des sich kreuzenden Verkehrs bei Wasserläufen spielt eine mitgehende Bewegungstechnik der beweglichen Brücken eine bedeutende Rolle. Hierzu die Antriebsmöglichkeiten zu erschöpfen, indem auch die neueste Kraftquelle, die Elektrizität, voll ausgenutzt wird, war nur allerersten Brückenbauanstalten vorbehalten, die über einen Stab von geschulten Maschinentechnikern verfügten. Auch hierin bildet nun das neue Buch: Bewegliche Brücken von Dr.-Ing. Hawranek eine bis auf die Neuzeit ergänzte Quelle reichsten Stoffes. Das Buch ist mit Abbildungen ausgeführter beweglicher Brücken zur Anschauung reich ausgestattet und bietet als Ergänzung hierzu viele Darstellungen von Einzelheiten, ohne die der Entwerfende so schwieriger Bauwerke kaum auskommt. Doch auch hiermit begnügt sich der Verfasser nicht. Alle Werte für die Berechnung von Einzelheiten werden dem Bearbeiter zur Verfügung gestellt, so daß er aus den Erfahrungen vorhandener Ausführungen schöpfen kann und kaum zu Fehlgedanken kommt, besonders dann nicht, wenn er die Veröffentlichungen studiert, die in der umfangreichen Literaturangabe aufgeführt sind. Nicht nur der eigentliche Brückenbauer, sondern auch der Maschinenbauer findet reichlich Stoff, um die gestellten Anforderungen zu befriedigen. Wenn auf die Wiedergabe älterer Literatur verzichtet ist, so darf dies kaum als ein Mangel bezeichnet werden mit Rücksicht auf die oben angeführten Gründe des schnellen Fortschritts unserer neuzeitlichen Technik.

So darf das neue Buch nicht als ein Nachschlagewerk angesehen werden, sondern als ein in sich abgeschlossenes Ganzes, das unseren heutigen Ansprüchen auf schnelles Erfassen gerecht wird. Hierzu verhelfen auch die sachlichen Kritiken, die, wenn auch nicht immer offen, so doch dem sachverständigen Benutzer klar genug Andeutungen machen, wo Mängel vorhanden sind.

Auch für wirtschaftliche Vergleiche bieten sich genügend genaue verwertbare Unterlagen, die oft recht willkommen sein mögen.

Wenn auch in Europa die bewegliche Brücke fast noch als eine Ausnahme bewertet wird, so kann doch bei dem Fortschreiten der Verkehrsentwicklung auch bei uns die Möglichkeit einer Benutzung einsetzen und hierbei können die Beispiele großer beweglicher Brücken im Ausland den heimischen Brückenbauanstalten einen guten Anreiz bieten. Aber auch die Beteiligung an Wettbewerben im Ausland wird durch das vorliegende Werk erleichtert und zu weiteren Erfolgen unserer Industrien führen können.

Das Buch gehört nicht in die Hand des Anfängers, sondern ihm gebührt ein würdiger Platz in der Literatur des gewiegten Brückenbauers.

Dr.-Ing. Tils.

Zuschrift.

Zur Frage des Ausdehnungsstoßes und der Schienenschweißung.

Zu diesen Fragen erhalten wir nachfolgende Zuschrift:

„Im Heft Nr. 3 dieser Zeitschrift vom 1. Februar 1937 hat Herr Dr. Ing. Berchtenbreiter (München) eine zusammenfassende Darstellung der wichtigsten Ergebnisse der im Jahre 1935 in Budapest abgehaltenen III. Internationalen Schienentagung gegeben und an die Besprechung der einzelnen Probleme einige Bemerkungen geknüpft.“ Wir möchten im folgenden zu zwei Abschnitten der erwähnten Ausführungen einiges bemerken.

1. In dem Abschnitt „Die Beanspruchung der Schienen“ sagt der Verfasser bezüglich der Fragen des Langschienenoberbaues unter anderem: . . . „Das dankbarste Versuchsziel wäre hier nur noch die bauliche Ausbildung des Ausdehnungsstoßes und die Auswahl des geeignetsten Baustoffes dafür“ . . .

Die angeführten und die darauffolgenden Worte des Verfassers lassen darauf schließen, daß er keine Kenntnis von den Ausgleichstößen mit verjüngten Schienenenden System Csilléry hat; durch diese Ausgleichstöße wurde nämlich das Problem der ungehinderten Dehnung des Langschienenoberbaues nach Meinung maßgebender Fachkreise vollständig gelöst.

Wir beabsichtigen nicht, an dieser Stelle diese Ausgleichstöße ausführlich zu beschreiben, da sie bereits im Jahre 1932 auf der II. Internationalen Schienentagung in Zürich von Herrn D. Székely beschrieben worden sind. Seine Beschreibung wurde in den Berichten der II. Internationalen Schienentagung und in den Heften Nr. 8 und 9 des Jahrgangs 1934 der Zeitschrift „Gleistechnik und Fahrbahnbau“ unter dem Titel „Dilatationsvorrichtungen des Langschienenoberbaues auf den Linien der Budapester Hauptstädtischen Verkehrs-A. G.“ auch in deutscher Sprache weiteren Fachkreisen zugänglich gemacht.

Um wiederholte Mißverständnisse zu vermeiden, haben wir die Benennung „Dilatationsvorrichtung“ von nun an in „Ausgleichstöße mit verjüngten Schienenenden System Csilléry“ oder nur kurz „Ausgleichstöße System Csilléry“ geändert und werden in Zukunft immer nur diese Benennung anwenden.

Auf der III. Internationalen Schienentagung in Budapest 1935 behandelte W. Hüttner in seinem Vortrag „Prüfung von Langschienenstrecken“ ebenfalls die Csilléry-Ausgleichstöße, die im Rahmen dieser Tagung auf den Linien der Budapester Hauptstädtischen Verkehrs-A. G., ferner auf der Versuchsbahn der Budapester Lokalbahnen-A. G. und auf einer Linie der Kgl. Ungarischen Staatsbahnen auch eingebaut vorgeführt wurden.

Die Kongreßteilnehmer konnten sich mithin persönlich überzeugen, daß die Csilléry'schen Ausgleichstöße das Problem der ungehinderten Dehnung in jeder Hinsicht vollständig gelöst haben, und zwar so, daß der stoßfreie, elastische Übergang der Wagenräder (was nach Dr. Berchtenbreiter noch eine durch Versuche zu lösende Aufgabe darstellt) bei diesen Ausgleichstößen vollständig erreicht ist.

Die ersten Csilléry-Ausgleichstöße wurden im Jahre 1930 auf den Linien der Budapester Hauptstädtischen Verkehrs-A. G. eingebaut, und die praktischen Erfahrungen haben so vorzügliche Ergebnisse geliefert, daß die Budapester Hauptstädtische Verkehrs-A. G. und die in ihrem Betriebe stehenden Bahnen auf ihren unbedeckten Strecken den Csilléry-Langschienenoberbau als Norm angenommen haben. Auch große Bahngesellschaften, z. B. die Kgl. Ungarischen Staatsbahnen (MAV.) haben diese Ausgleichstöße auf den Brücken als Norm eingeführt.

Auch das Ausland zeigt großes Interesse für diese Ausgleichstöße. Mehrere deutsche Bahnen haben sie auf verschiedenen Linien eingebaut und es interessieren sich auch schweizerische, jugoslawische und englische Fachkreise dafür.

2. In dem Abschnitt „Die Schweißung der Schienen“ sagt der Verfasser unter anderem: „...soweit ich heute die Wirtschaftlichkeit und Bewährung der verschiedenen Schweißverfahren beurteilen kann, dürfte die anpassungsfähige Gasschmelzschweißung deshalb und der Einfachheit und Beweglichkeit der benötigten Gerätschaften wegen in der Häufigkeit ihrer Anwendung wohl an der Spitze stehen ... usw.“

Unserer Meinung nach sollte die Gasschmelzschweißung den anderen Schweißverfahren gegenüber nicht so ausdrücklich in den Vordergrund gestellt werden.

Wir müssen uns vor allem vor Augen halten, daß für die Schweißung der Schienen ein solches Verfahren zu wählen ist, das das ursprüngliche Gefüge des Schienenwerkstoffes gar nicht oder nur in sehr geringem Ausmaße ändert. Die hierauf bezüglichen Untersuchungen haben erwiesen, daß die Wärmeeinwirkung in der Umgebung der Schweißstelle bei der elektrischen Lichtbogenschweißung viel geringer ist als bei der Gasschmelzschweißung; daher ändert sich das Gefüge des Schienenwerkstoffes bei der elektrischen Lichtbogenschweißung viel weniger als bei der Gasschmelzschweißung. Diese Tatsache gereicht schon allein zum Vorteil der elektrischen Lichtbogenschweißung.

Außer den statischen und Festigkeitsanforderungen, denen heute schon die elektrischen Lichtbogenschweißungen — z. B. der Katonaschen Stöße vollständig entsprechen — spielen im übrigen die wirtschaftlichen Gesichtspunkte die ausschlaggebende Rolle. Die hier auftauchenden Probleme gestalten sich aber so mannigfaltig, daß letzten Endes immer die örtlichen Verhältnisse in Betracht zu ziehen sind. Die wichtigsten Faktoren, nämlich a) die nationalökonomischen Gesichtspunkte, b) der Anschaffungspreis und die Einbaukosten, c) die Einbaumöglichkeiten, d) die Frage der Betriebssicherheit, e) die Ausbesserungsmöglichkeit der beschädigten Schweißung usw. gestalten sich in allen Ländern und bei allen Eisenbahnen anders; infolgedessen ist es unserer Meinung nach nicht zulässig, bezüglich der Verwendbarkeit eines Schweißverfahrens etwas allgemein-gültig zu behaupten.

Die bei der Budapester Hauptstädtischen Verkehrs-A. G. durchgeführten, sehr eingehenden Festigkeits- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen haben z. B. erwiesen, daß die Katonasche Lichtbogenschweißung die Thermiterschweißung weit übertrifft oder wenigstens von gleichem Wert ist. Die Anschaffungspreise und die Einbaukosten betragen z. B. bei unsern Verhältnissen nur

etwa 50% der Kosten der Thermiterschweißung. Die Anwendung der elektrischen Lichtbogenschweißung ist bei elektrischen Bahnen derart naheliegend einfach und wirtschaftlich, daß ein anderes Schweißverfahren nur ausnahmsweise in Betracht kommen kann. Wir halten aber die elektrische Lichtbogenschweißung auch bei solchen nicht elektrischen Bahnen, bei denen eine leicht erreichbare Stromquelle zur Verfügung steht, unbedingt für wirtschaftlich. Auch Dieselmotor-Dynamo-Aggregate sind für diesen Zweck sehr gut anwendbar, deren Motoren bei Großbahnen auch für zahlreiche andere Zwecke verwendet werden können.

Dr. Ing. Joh. Szemere.

Sektionsleiter der Budapester Hauptstädtischen Verkehrs-A. G.

Herr Dr. Berchtenbreiter erklärt zu den vorstehenden Ausführungen folgendes:

Der Csilléry-Ausgleichstoß war mir aus dem Schienentagungsbuch 1932 und 1936 wohl bekannt. Seine Öffnungsmöglichkeit ist darin mit 80 bis 100 mm angegeben. Nach den Angaben eines Berichtes ist er zwischen größten Schienenslängen von 270 m erprobt worden. Ich sprach in meinem Aufsatz auf Seite 53 von der baulichen Ausbildung des Ausdehnungsstoßes als dem dankbarsten Versuchsziel im Zusammenhang mit den Temperaturspannungsfragen am lückenlosen Gleis und mit beliebig langen, aus beliebigen Einzellängen zusammengesetzten Schienen. Für diesen Fall halte ich den Csilléry-Ausgleichstoß noch weitgehender Änderungen für bedürftig. Ich hatte keinen Anlaß, ihn also eingehend zu erwähnen, ohne damit irgendwie seine bisherige Bewährung verkennen zu wollen.

Was die bemängelte angebliche Bevorzugung der Gasschmelzschweißung anbelangt, so ist die Beherrschung der durch die hohe örtliche Lichtbogenerwärmung an harten Stählen verstärkten verursachten Gefügespannungen immer noch recht schwierig. Ich verspreche mir von der Gasschmelzschweißung die schweißtechnisch bessere Lösung vor allem der verschleißfesten Wiederinstandsetzung abgefahrter Schienen und Weichteile. Ich verweise darauf, daß große Bahnverwaltungen, auch die DR, für Schienenauftragschweißung ausschließlich die Gasschmelzschweißung anwenden*). Mir ist bekannt, daß die Lichtbogenschweißung da und dort immer noch Anhänger hat und daß eine klare Entscheidung zugunsten des einen oder anderen der beiden Verfahren in absehbarer Zeit wohl nicht zu erwarten sein wird. Dies ist bedingt durch die in den einzelnen Ländern vorhandenen technischen, nationalwirtschaftlichen Besonderheiten, die nie entscheidend gegen das in anderen Land unter anderen solchen Voraussetzungen bevorzugte Verfahren ins Feld geführt werden können.

Was ich in meinem Artikel über die Schweißung der Schienen schrieb, entspricht durchaus dem heutigen Stand der Schweißtechnik im Oberbauwesen. Meine Stellungnahme zur Lichtbogenschweißung und der bei dieser tatsächlich immer noch vorhandenen stärkeren Neigung zu Ribbildungen könnte nur durch die genaue Mitteilung aller Einzelheiten des angewandten Lichtbogenschweißverfahrens und der Untersuchungsergebnisse der Schweißungen selbst widerlegt werden, wobei zwischen Auftrag- und Verbindungsschweißungen unterschieden werden sollte. Ich hatte vorwiegend die erstere im Auge. Dr. Berchtenbreiter.

*) Ich verweise hier auch auf Veröffentlichungen der jüngsten Zeit: Autogene und elektrische Schienenschweißverfahren (M. M. Michaud, Bull. Soc. Ing. Soud 7, 1936, Nr. 41) sowie Schweißen im Eisenbahnoberbau (Fa. Golling, Autogenschweißung 9, 1936, Nr. 12).

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.