

### Modellverfahren zur Ermittlung der inneren Kräfte von beliebig belasteten, statisch unbestimmten Tragwerken mit Hilfe der Drehwinkelverformungslehre.

Von Dr. Ing. K. Schaechterle, Stuttgart.

Die mechanischen Verfahren zur Ermittlung der inneren Kräfte von beliebig belasteten, beliebigfach statisch unbestimmten Tragwerken an Modellen beruhen, wie die mathematisch-analytischen und graphischen Lösungen, auf der Elastizitätslehre. Es ist also vorausgesetzt, daß die Formänderungen sehr klein sind, genauer innerhalb des elastischen Bereichs bleiben und daß das Hookesche Proportionalitätsgesetz gilt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf ebene Systeme, bei denen die Formänderungen sich nur in der Hauptselebene (Modellebene) vollziehen, Torsionsmomente also ausgeschlossen sind.

Bei den mechanischen Verfahren werden an Modellen aus Zelluloid, Pappe oder anderen elastischen Stoffen mit Hilfe von Verformungslehren bestimmte, in der Theorie „gedachte“ Formänderungen „wirklich“ hervorgerufen und die dadurch bedingten Verschiebungen der Angriffspunkte von äußeren Kräften in deren Krafrichtung mit Feinmeßgeräten abgelesen. Die Formänderungen sind lineare Funktionen der erzeugenden Kräfte oder sonstigen Ursachen.

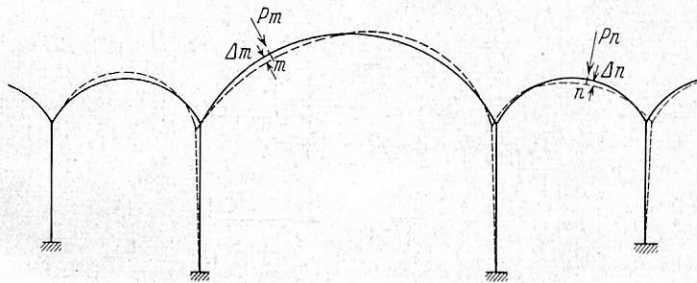


Abb. 1.

#### I.

Das von George E. Beggs, Professor an der Princeton University in Princeton Y. (U.S.A.) angewandte Modellverfahren\*) zur mechanischen Ermittlung der Einflußlinien der statisch unbestimmten Größen, zeichnet sich durch Genauigkeit, Anpassungsfähigkeit und Anschaulichkeit aus.

Professor Beggs benützt in sehr sinnvoller Weise den Satz von der Gegenseitigkeit der Verschiebungen, der zuerst von Maxwell\*\*) für Fachwerke mit unverrückbaren Stützpunkten und reibungslosen Gleitlagern aufgestellt wurde.

Wird ein beliebig geformter Träger (Abb. 1), dessen Auflagerkräfte bei eintretenden Formänderungen keine Arbeit leisten, durch beliebig gerichtete Kräfte  $\begin{Bmatrix} P_m \\ P_n \end{Bmatrix}$  in den Angriffspunkten

$\begin{Bmatrix} m \\ n \end{Bmatrix}$  belastet, wobei sich die Punkte  $\begin{Bmatrix} m \\ n \end{Bmatrix}$  in Richtung von  $\begin{Bmatrix} P_m \\ P_n \end{Bmatrix}$  um  $\begin{Bmatrix} \Delta_m \\ \Delta_n \end{Bmatrix}$  verschieben, so ist die gesamte von äußeren Kräften geleistete, mechanische Arbeit unter der Voraussetzung, daß die Kräfte gleichzeitig und stetig von Null bis zum Endwert ansteigen

$$A = \frac{1}{2} P_m \cdot \Delta_m + \frac{1}{2} P_n \cdot \Delta_n \dots \dots \dots 1)$$

Wird die Verschiebung auf die Kräfteinheit, also  $\frac{\Delta_m}{P_m}$  mit  $\delta_m$ ,  $\frac{\Delta_n}{P_n}$  mit  $\delta_n$  bezeichnet, so ist

$$A = \frac{1}{2} P_m^2 \cdot \delta_m + \frac{1}{2} P_n^2 \cdot \delta_n \dots \dots \dots 2)$$

Die Verschiebung  $\delta_m$  setzt sich zusammen aus den Teilverschiebungen

$\delta_{mm}$  des Punktes  $m$  in Richtung von  $P_m$  infolge  $P_m = 1$   
 $\delta_{nn}$  „ „ „ „ „ „ „ „ „  $P_n = 1$ ,  
 die Verschiebung  $\delta_n$  entsprechend aus

$\delta_{nn}$  des Punktes  $n$  in Richtung von  $P_n$  infolge  $P_n = 1$   
 $\delta_{mm}$  „ „ „ „ „ „ „ „ „  $P_m = 1$ .

Somit gilt

$$A = \frac{1}{2} P_m^2 (\delta_{mm} + \delta_{nn}) + \frac{1}{2} P_n^2 (\delta_{nn} + \delta_{mm}) \dots \dots 3)$$

Wenn  $P_m$  und  $P_n$  nacheinander zur Auswirkung gelangen, gilt für  $P_n$  nach  $P_m$ :

$$A = \frac{1}{2} P_m^2 \cdot \delta_{mm} + P_m^2 \cdot \delta_{nn} + \frac{1}{2} P_n^2 \cdot \delta_{nn} \dots \dots 4)$$

für  $P_m$  nach  $P_n$ :

$$A = \frac{1}{2} P_n^2 \cdot \delta_{nn} + P_n^2 \cdot \delta_{mm} + \frac{1}{2} P_m^2 \cdot \delta_{mm} \dots \dots 5)$$

Hieraus folgt

$$P_m^2 \cdot \delta_{nn} = P_n^2 \cdot \delta_{mm} \dots \dots \dots 5)$$

und für  $P_m = P_n$

$$\delta_{nn} = \delta_{mm} \dots \dots \dots 6)$$

Zu dem gleichen Ergebnis gelangt man durch Gegenüberstellung der Gleichungen 3) und 4) bzw. 3) und 5).

„Die im Punkt  $m$  angreifende Kraft  $P_m$  erzeugt im Punkt  $n$  eine Verschiebung in Richtung von  $P_n$ , die ebenso groß ist wie die Verschiebung, die der Punkt  $m$  in Richtung von  $P_m$  erfährt, sobald im Punkt  $n$  eine gleichgroße Kraft  $P_n = P_m$  in Richtung  $P_n$  angreift.“

Die Modellverfahren mit Verformungslehren benützen i. B. den Satz:

„Die Einflußlinie irgend einer statisch unbestimmten Größe  $X_r$  eines  $n$ -fach statisch unbestimmten Systems hat die Form der Biegelinie eines  $(n-1)$ -fach statisch unbestimmten Grundsystems, das durch Ausschalten dieser Größe entsteht und an dem  $X_r = 1$  als äußere Kraft angebracht wird.“

Zur Bestimmung der unbekanntenen, inneren Kräfte (Normalkraft  $X_a$ , Querkraft  $X_b$  und Moment  $X_c$ ) in einem beliebigen Querschnitt eines ebenen,  $n$ -fach statisch unbestimmten Systems

\*) Siehe Beggs: Der Gebrauch von Modellen bei der Lösung von statisch unbestimmten Systemen. Beton u. Eisen, Jahrgang 1927, Heft 16, S. 300 ff. — Bühler: Die Anwendung des Modellverfahrens von Professor Beggs. Beton u. Eisen, Jahrgang 1927, Heft 16, S. 304 ff. — Schaechterle: Anleitung zur Ermittlung der inneren Kräfte von beliebig belasteten statisch unbestimmten Tragwerken mit Hilfe des Beggsschen Gerätes. Beton u. Eisen, Jahrgang 1930, Heft 22, S. 406 ff.

\*\*) Clerk Maxwell: „On the calculation of the equilibrium and stiffness of frames“. Philos. Mag. 1864, Bd. 27, S. 294.

stimmten Systems unter einer äußeren Kraft  $P_m$  im Angriffspunkt  $m$  (Abb. 2) wird nach dem von Beggs angegebenen Verfahren das Modell in dem zu untersuchenden Querschnitt völlig durchgeschnitten und nacheinander durch Erzeugung einer genau bekannten, äußerst kleinen gegenseitigen Parallelverschiebung  $\Delta_{aa}$  der Schnittflächen in Richtung der Normalkraft  $X_a$  (Abb. 3) einer ebensolchen Verschiebung  $\Delta_{bb}$  in Richtung  $X_b$  (Abb. 4) und einer gegenseitigen Verdrehung der Schnittflächen  $\Delta_{cc}$  um die Schwerachse des Querschnitts im Drehsinn des Moments  $X_c$  (Abb. 5)

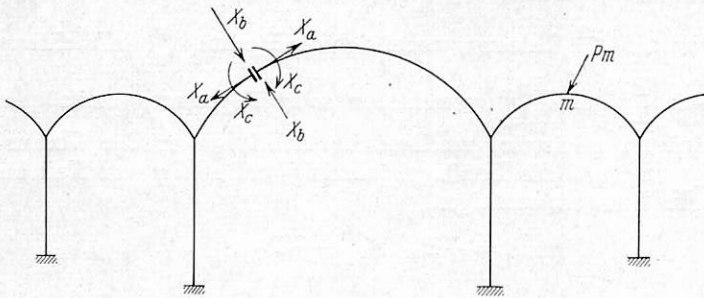


Abb. 2.

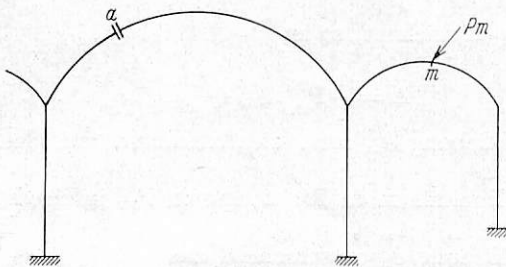


Abb. 2a.

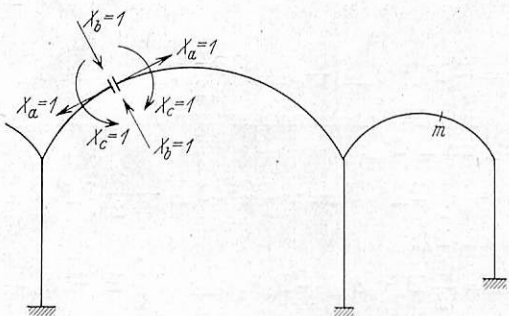


Abb. 2b.

zwangsweise verformt, wobei die jeweils durch  $\Delta_{aa}$ ,  $\Delta_{bb}$ , und  $\Delta_{cc}$  bedingten Verschiebungen  $\Delta_{ma}$ ,  $\Delta_{mb}$ ,  $\Delta_{mc}$  des Angriffspunktes  $m$  einer äußeren Kraft  $P_m$  in Richtung von  $P_m$  am Mikroskop abgelesen werden.

Wird die gegenseitige Verschiebung der Schnittflächen infolge der Belastungseinheit  $P_m = 1$  in Richtung von  $X_a$  mit  $\delta_{am}$ , von  $X_b$  mit  $\delta_{bm}$ , die Verdrehung der Schnittflächen um die Schwerachse im Drehsinn von  $X_c$  mit  $\delta_{cm}$  bezeichnet, so verschieben sich die Schnittflächen unter der Belastung  $P_m$  in  $m$  (Abb. 2a) um

$$\begin{aligned} P_m \cdot \delta_{am} & \text{ in Richtung von } X_a \\ P_m \cdot \delta_{bm} & \text{ ,, ,, ,, } X_b \end{aligned}$$

und verdrehen sich um  $P_m \cdot \delta_{cm}$  im Drehsinn von  $X_c$ .

Bringt man an den beiden Schnittflächen die Größen  $X_a$ ,  $X_b$  und  $X_c$  an (Abb. 2b) und bezeichnet die gegenseitigen Verschiebungen der Schnittflächen in der Richtung von  $X_a$  infolge

$$\begin{aligned} X_a = 1 & \text{ mit } \delta_{aa} \\ X_b = 1 & \text{ ,, } \delta_{ab} \\ X_c = 1 & \text{ ,, } \delta_{ac} \end{aligned}$$

in der Richtung von  $X_b$  infolge

$$\begin{aligned} X_a = 1 & \text{ mit } \delta_{ba} \\ X_b = 1 & \text{ ,, } \delta_{bb} \\ X_c = 1 & \text{ ,, } \delta_{bc} \end{aligned}$$

die gegenseitigen Verdrehungen der Schnittflächen im Sinne von  $X_c$  infolge

$$\begin{aligned} X_a = 1 & \text{ mit } \delta_{ca} \\ X_b = 1 & \text{ ,, } \delta_{cb} \\ X_c = 1 & \text{ ,, } \delta_{cc} \end{aligned}$$

so verschieben sich die Schnittflächen insgesamt um

$$\begin{aligned} X_a \cdot \delta_{aa} + X_b \cdot \delta_{ab} + X_c \cdot \delta_{ac} & \text{ in Richtung von } X_a \\ X_a \cdot \delta_{ba} + X_b \cdot \delta_{bb} + X_c \cdot \delta_{bc} & \text{ ,, ,, } X_b \end{aligned}$$

und verdrehen sich um

$$X_a \cdot \delta_{ca} + X_b \cdot \delta_{cb} + X_c \cdot \delta_{cc} \text{ in Richtung von } X_c.$$

Die Übereinanderlagerung der beiden Belastungsfälle liefert, da bei inneren Kräften die gegenseitigen Verschiebungen der Schnittflächen in Richtung  $X_a$  und  $X_b$  und die gegenseitigen Verdrehungen in Richtung  $X_c$  stets gleich Null sind, die drei Elastizitätsgleichungen, die nach Anwendung des Maxwell'schen Satzes lauten:

$$\left. \begin{aligned} P_m \cdot \delta_{ma} + X_a \cdot \delta_{aa} + X_b \cdot \delta_{ab} + X_c \cdot \delta_{ac} &= 0 \\ P_m \cdot \delta_{mb} + X_a \cdot \delta_{ba} + X_b \cdot \delta_{bb} + X_c \cdot \delta_{bc} &= 0 \\ P_m \cdot \delta_{mc} + X_a \cdot \delta_{ca} + X_b \cdot \delta_{cb} + X_c \cdot \delta_{cc} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots 7)$$

aus denen die statisch unbestimmten Größen  $X_b$ ,  $X_c$  und  $X_a$  errechnet werden können.

Für den am Modell erzwungenen Verschiebungszustand  $\Delta_{aa} = X_a \cdot \delta_{aa}$  (zwangsweise Parallelverschiebung der Schnittflächen um  $\Delta_{aa}$  entsprechend Abb. 3 in Richtung von  $X_a$ , wobei gleichzeitig  $X_b \cdot \delta_{ab} = 0$  und  $X_c \cdot \delta_{ac} = 0$  ist) ergeben die Elastizitätsgleichungen

$$P_m \cdot \delta_{ma} + X_a \cdot \delta_{aa} = 0 \dots 8)$$

woraus

$$X_a = -P_m \cdot \frac{\delta_{ma}}{\delta_{aa}}$$

worin  $\delta_{ma}$  den Weg des Lastangriffspunktes  $m$  in Richtung von  $P_m$  infolge  $X_a = +1$  bedeutet.

Für  $P_m = 1$  ist

$$X_a = -1 \cdot \frac{\delta_{ma}}{\delta_{aa}} = -\frac{\Delta_{ma}}{\Delta_{aa}} \dots 10)$$

Man hat also nur die durch  $\Delta_{aa}$  bedingten Verschiebungen  $\Delta_{ma}$  an verschiedenen Stellen des Modells zu messen, um die Einflußlinien für  $X_a$  mit den Einflußordinaten  $\frac{\Delta_{ma}}{\Delta_{aa}}$  für eine wandernde Last  $P_m = 1$  zu erhalten\*).

In gleicher Weise folgt für den Verschiebungszustand  $\Delta_{bb} = X_b \cdot \delta_{bb}$  entsprechend Abb. 4, wobei  $X_a \cdot \delta_{ba} = 0$  und  $X_c \cdot \delta_{bc} = 0$  ist,

$$X_b = -P_m \cdot \frac{\delta_{mb}}{\delta_{bb}} \dots 11)$$

worin  $\delta_{mb}$  den Weg des Angriffspunktes  $m$  in Richtung von  $P_m$  infolge  $X_b = +1$  bedeutet.

Werden endlich die Schnittflächen gegenseitig entsprechend Abb. 5 um  $\delta_{cc}$  verdreht, wobei gleichzeitig  $X_a \cdot \delta_{ca} = 0$  und  $X_b \cdot \delta_{cb} = 0$  ist, so wird

$$X_c = -P_m \cdot \frac{\delta_{mc}}{\delta_{cc}} \dots 12)$$

worin  $\delta_{mc}$  die Verschiebung des Angriffspunktes  $m$  in Richtung von  $P_m$  infolge  $X_c = +1$  bedeutet.

Die am Modell ermittelten Einflußordinaten für das Biegemoment  $X_c$  sind noch mit einer Zahl  $n$  zu multi-

\*) Müller, Breslau: Die neueren Methoden der Festigkeitslehre, Leipzig, Baumgärtners Verlag. — Grünig: Die Statik des ebenen Tragwerks, Berlin: Verlag J. Springer 1925, S. 301 ff. Mörsch: Der durchlaufende Balken, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 1928.

plizieren, die sich aus dem Verhältnis der Modellabmessungen zu den Bauwerksabmessungen ergibt. Bei einem Modell 1:50 (1 cm am Modell = 50 cm am Bauwerk) erhält man beispielsweise das wirkliche Biegemoment  $X_c = 50 P \cdot \frac{\Delta_{mc}}{\Delta_{cc}}$  in emkg, wobei  $\Delta_{mc}$  in cm, P in kg einzusetzen ist.

Die Ableitungen gelten allgemein für jedes beliebigfach statisch unbestimmte System. Das Wesen des Beggsschen Verfahrens besteht darin, daß das (n)-fach statisch unbestimmte Hauptsystem auf ein (n-1)-fach statisch unbestimmtes System zurückgeführt wird, indem man eine der n-statisch unbestimmten Größen, z. B. das Biegemoment,  $X_r$  ausschaltet und als äußere Belastung einführt.

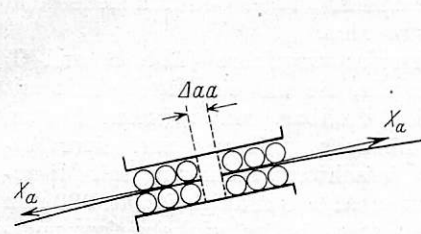


Abb. 3. Verschiebungszustand  
 $\Delta_{aa} = X_a \delta_{aa}$ ,  $X_b \delta_{ab} = 0$ ,  
 $X_c \delta_{ac} = 0$ .

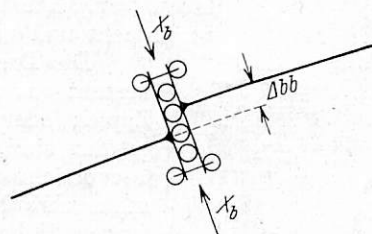


Abb. 4. Verschiebungszustand  
 $\Delta_{bb} = X_b \delta_{bb}$ ,  $X_a \delta_{ba} = 0$ ,  
 $X_c \delta_{bc} = 0$ .

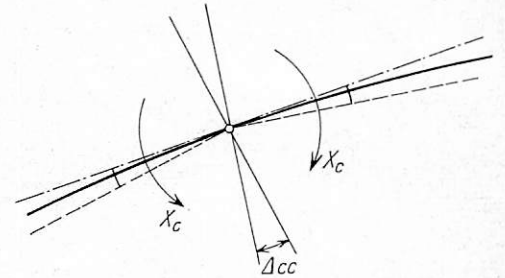


Abb. 5. Verschiebungszustand  $\Delta_{cc} = X_c \delta_{cc}$ ,  
 $X_a \delta_{ca} = 0$ ,  $X_b \delta_{cb} = 0$ .

Die Anwendung des Gesetzes der virtuellen Verschiebungen auf den Belastungszustand  $P_m$  in m und den Verschiebungszustand  $X_r = +1$  liefert unmittelbar:

$$X_r \cdot \delta_{rr} + P_m \cdot \delta_{mr} = 0$$

$$X_r = - P_m \cdot \frac{\delta_{mr}}{\delta_{rr}} \quad \dots \quad (13)$$

Wesentlich ist, daß bei der Verdrehung der Angriffsstelle von  $X_r$  im Drehsinn von  $X_r$  von den sonst noch vorhandenen statisch unbestimmten Größen (z. B. Normal- und Querkraft, lotrechte und wagerechte Auflagerreaktion) keine Arbeit geleistet wird.

Diese Bedingung wird mit Anwendung der Beggsschen Verformungslehre und bei nicht zu steifen Modellen hinreichend erfüllt. Die Einflußlinie jeder statisch unbestimmten Größe des n-fach statisch unbestimmten Tragwerks wird dabei als Biegelinie des n-1-fach statisch unbestimmten Systems erzeugt.

II.

Eine Vereinfachung des Modellverfahrens läßt sich dadurch erzielen, daß man in den zu untersuchenden Querschnitten unmittelbar die Einflußlinien der Kernpunktsmomente  $M_{ko}$  und  $M_{ku}$  auf mechanischem Wege bestimmt. Dazu ist das Modell des beliebigfach statisch unbestimmten Systems zur Formänderung im Sinne der gesuchten Einflußlinien zu zwingen.

Das Kernpunktsmomentenverfahren soll an dem Beispiel des elastischen Bogenträgers mit eingespannten Enden gezeigt werden. Eine im Punkt m angreifende Last  $P_m$  rufe die Auflagerreaktionen  $R_a$  und  $R_b$  hervor (Abb. 6). In dem Querschnitt (a) links vom Punkt m wirkt dann die innere Kraft  $R = R_a$ , der die Kernpunktsmomente  $M_{ko} = R_a \cdot e_o'$  und  $M_{ku} = R_a \cdot e_u'$  entsprechen. Durch Anordnung eines Gelenks im Kernpunkt  $K_o$  bzw.  $K_u$  wird das dreifach statisch unbestimmte Hauptsystem auf ein zweifach statisch unbestimmtes Grundsystem zurückgeführt, wobei in  $K_o$  bzw.  $K_u$  die vor dem Durchschneiden des Querschnitts wirksamen Kernpunktsmomente  $M_{ko}$  bzw.  $M_{ku}$  als äußere Kräftepaare

einzuführen sind, die die Schnittflächen in die ursprüngliche Lage zurückdrehen.

Wird hiernach das Modell im Querschnitt c völlig durchgeschnitten, im Kernpunkt  $K_o$  eine Drehwinkelverformungslehre eingesetzt und eine gegenseitige Verdrehung  $\Delta_{oo}$  der Schnittflächen um den Kernpunkt  $K_o$  erzielt, die dadurch bedingte Verschiebung,  $\Delta_{mo}$  des Angriffspunktes m in einer äußeren Kraft  $P_m$  in Richtung von  $P_m$  gemessen (z. B. im Mikroskop abgelesen), so ergibt sich das Kernpunktsmoment  $M_{ko}$  aus der Gleichung

$$M_{ko} = - P_m \frac{\Delta_{mo}}{\Delta_{oo}} \quad \dots \quad (14)$$

In gleicher Weise liefert eine gegenseitige Verdrehung  $\Delta_{uu}$

der Schnittflächen um den Gelenkpunkt  $K_u$  das Kernpunktsmoment  $M_{ku}$  aus

$$M_{ku} = - P_m \cdot \frac{\Delta_{mu}}{\Delta_{uu}} \quad \dots \quad (15)$$

Um die Einflußlinien für  $M_{ko}$  und  $M_{ku}$  zu erhalten, sind die

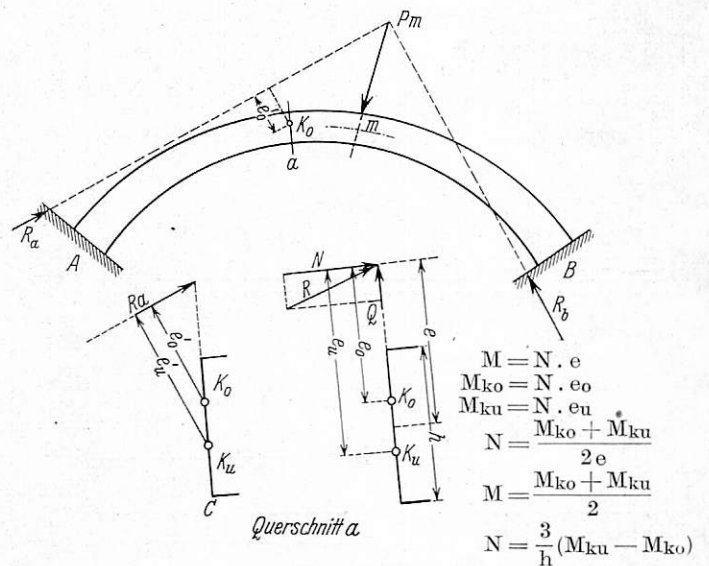


Abb. 6.

$$M = N \cdot e$$

$$M_{ko} = N \cdot e_o$$

$$M_{ku} = N \cdot e_u$$

$$N = \frac{M_{ko} + M_{ku}}{2e}$$

$$M = \frac{M_{ko} + M_{ku}}{2}$$

$$N = \frac{3}{h} (M_{ku} - M_{ko})$$

Verschiebungen  $\Delta_{mo}$  bzw.  $\Delta_{mu}$  an mehreren Stellen zu messen und damit die Einflußordinaten  $\frac{\Delta_{mo}}{\Delta_{oo}}$  bzw.  $\frac{\Delta_{mu}}{\Delta_{uu}}$  für eine wandernde Last  $P = 1$  zu berechnen.

Mit den für eine bekannte Laststellung errechneten Kernpunktsmomenten ergeben sich die Grenzwerte der Randspannungen aus

$$\sigma_o = \frac{M_{ku}}{W}, \quad \sigma_u = \frac{M_{ko}}{W} \quad \dots \quad (16)$$

Bei rechteckigen Querschnitten folgt das **Mittelmoment M** aus

$$M = \frac{M_{k_o} + M_{k_u}}{2} \quad \dots \quad 17)$$

die Normalkraft **N** aus

$$N = \frac{3}{h} (M_{k_u} - M_{k_o}) \quad \dots \quad 18)$$

Mit diesen Beziehungen lassen sich die Einflußlinien des

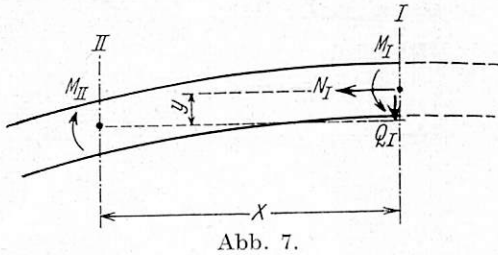


Abb. 7.

ergibt sich schließlich die Querkraft **Q<sub>I</sub>** aus

$$Q_I = \frac{1}{x} (N_I \cdot y + M_I - M_{II}) \quad \dots \quad 19)$$

oder

$$Q_I = \frac{1}{x} \left( \frac{M_{Iku} - M_{Iko}}{h} \cdot 3y + \frac{M_{Iku} + M_{Iko}}{2} - \frac{M_{IIku} + M_{IIko}}{2} \right) \quad \dots \quad 19a)$$

Man kann also die Einflußlinie für die Querkraft **Q<sub>I</sub>** unmittelbar aus den Einflußlinien der Kreuzpunktmomente **M<sub>Iko</sub>, M<sub>Iku</sub>, M<sub>IIko</sub>, M<sub>IIku</sub>** herleiten.

Zur praktischen Anwendung des Kernpunktmomentenverfahrens genügt eine Verformungslehre, die sehr kleine, genau bekannte gegenseitige Verdrehungen der Querschnittflächen um ein Gelenk ermöglicht. Die Parallelverschiebungen der Schnittflächen in Richtung der Normalkraft und der Querkraft zur Bestimmung der Einflußlinien für diese Kräfte fallen weg. Die Verformungslehre kann dadurch bedeutend vereinfacht und verbilligt werden.

Die Drehwinkelverformungslehre (Abb. 8 und 9) besteht aus zwei Riegeln, die um ein Mittelgelenk mit Zapfen oder Schneide drehbar und zwischen Platten geführt sind, einer Einstellvorrichtung und einer Ablesevorrichtung. In einfachster Ausführung mit Mikrometerschraube ( $\frac{1}{100}$  mm Ablesegenauigkeit) an 200 mm langem Hebelarm gestattet die Drehwinkelverformungslehre das Bogenmaß mit  $\frac{1}{20.000}$  abzulesen.

Die Riegel werden mit Klemmplatten und Klemmschrauben an der Stelle des zu untersuchenden Querschnitts mit den Enden des dort durchgeschnittenen Modells fest verbunden, wobei die Lage des Drehpunkts durch Zentrierstift gegenüber dem Modell genau festzulegen und weiterhin darauf zu achten ist, daß keinerlei Vorspannungen im Modell auftreten. Modell und Verformungslehre sind wie bei dem Begg'schen Gerät auf Stahlkugeln zwischen Glasplatten zu lagern, so daß beide sich reibungslos verschieben oder verdrehen können.

Die Modelle werden zweckmäßig aus Zelluloid hergestellt und sind eine Nachbildung des wirklichen Trägersystems in kleinerem Maßstab. Sie haben gewöhnlich unveränderliche Dicke und können leicht ausgeschnitten werden. Das Aufleimen von Scheiben ermöglicht auch, die Modelldicke zu ändern und den tatsächlichen Verhältnissen anzupassen. Zum Zusammenkleben von Zelluloid wird Aceton verwendet. Da das zur Ermittlung der statisch unbestimmten Größen benützte Verhältnis der erzwungenen und gemessenen Verschiebungen von dem Elastizitätsmodul des Modells wie auch des Bauwerks unabhängig ist, kann dieser außer acht gelassen werden.

Nachdem die Einflußlinien für die Kernpunktmomente oder Mittelmomente, Normalkräfte und Querkräfte bestimmt und die Ergebnisse mit den drei Gleichgewichtsbedingungen nachgeprüft sind, ist der weitere Gang der Festigkeitsrechnung der gleiche wie beim rein rechnerischen Verfahren. Die Einflüsse von Temperaturänderungen, Schwinden usw. sind wie bisher auf analytischem Wege mit Näherungsverfahren zu erfassen.

Bei der praktischen Anwendung der analytischen Theorie der Ingenieurkonstruktionen, beispielsweise zur Berechnung von Bogen, Rahmen und gegliederten Tragwerken mit steifen Knotenpunkten, werden vereinfachende Annahmen gemacht, um die Rechenarbeit zu vermindern. Die Rechnungsergebnisse stimmen daher nur näherungsweise mit der Wirklichkeit überein. Das Modellverfahren bietet in solchen Fällen die Möglichkeit einer raschen Nachprüfung der Rechnungsergebnisse. Die am Modell hervorgerufenen Verformungszustände geben die Auswirkungen der inneren Kräfte (Normal-

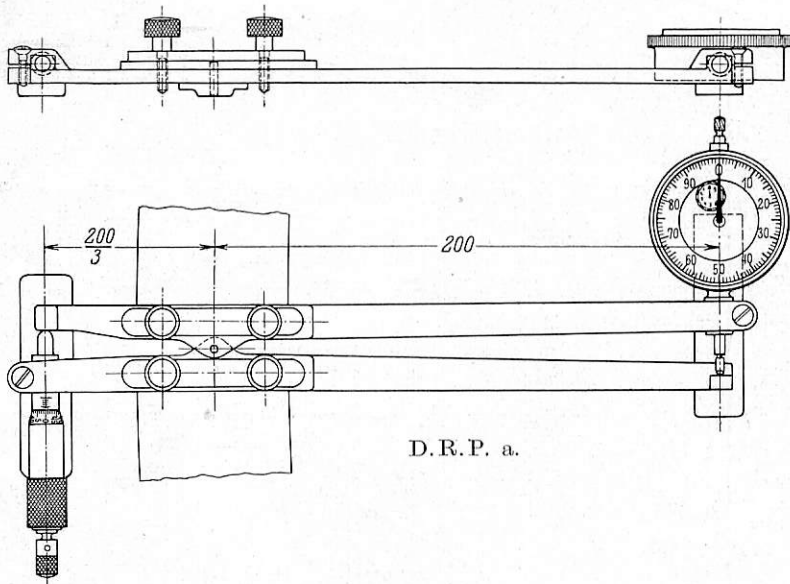


Abb. 8.

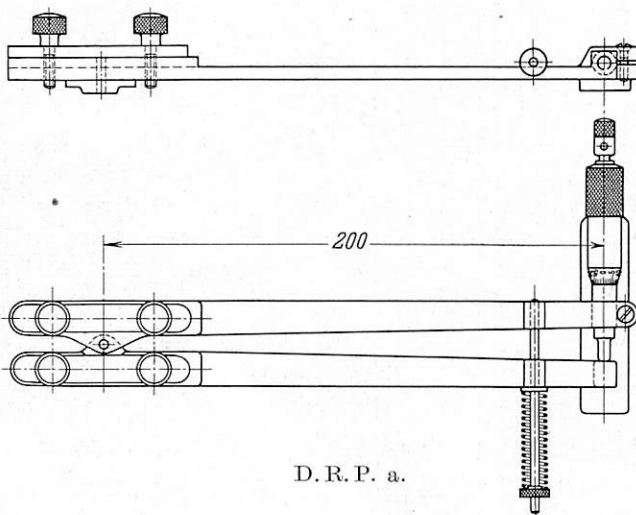


Abb. 9.

Mittelmomentes **M** aus den auf mechanischem Wege ermittelten Einflußlinien der Kernpunktmomente **M<sub>k<sub>o</sub></sub>** und **M<sub>k<sub>u</sub></sub>** ableiten.

Mit den Momenten **M<sub>I</sub>** und **M<sub>II</sub>** zweier benachbarter Querschnitte **I** und **II** (Abb. 7) und der Normalkraft **N<sub>I</sub>**

kräfte, Querkräfte und Momente), die Einflüsse der Achsform, der Veränderlichkeit des Trägheitsmoments, der Einspannung, der steifen Knotenpunkte usw. genau wieder. Sehr genaue Messungen vorausgesetzt dürfte also die im Modellverfahren auf mechanischem Wege erhaltene Lösung der Wirklichkeit näher kommen als die mathematische Lösung mit vereinfachenden Annahmen. Das Modellverfahren ist unentbehrlich, wo es sich um die Lösung von sehr verwickelten Aufgaben

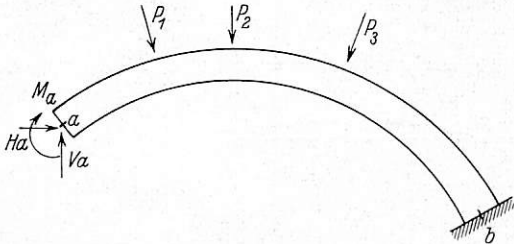


Abb. 10.

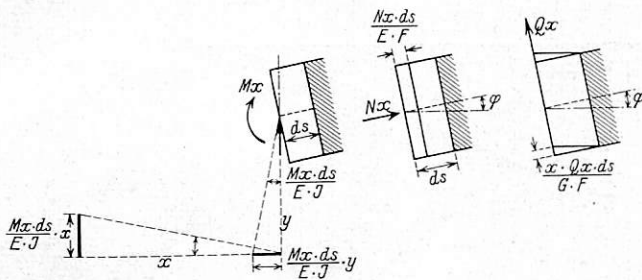


Abb. 11.

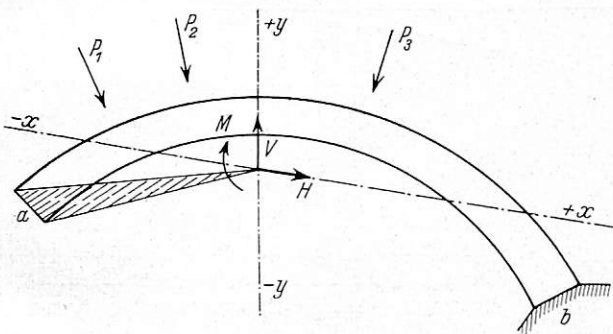


Abb. 12.

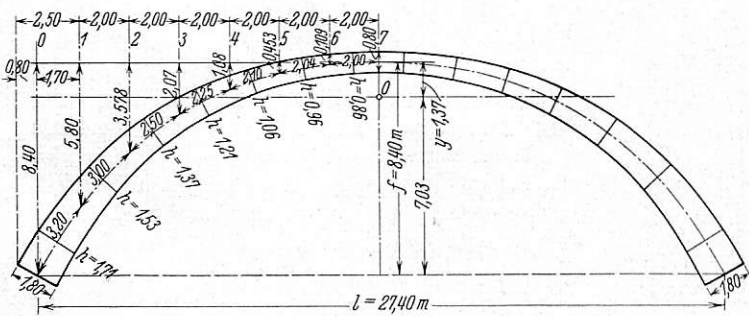


Abb. 13.

handelt und die klassischen Berechnungsmethoden nicht ausreichen oder unter so weitgehenden vereinfachenden Annahmen durchgeführt werden müssen, daß die Ergebnisse nicht mehr als vertrauenswürdig erscheinen. Die Modellverfahren erleichtern den Einblick in die statische Wirkungsweise der Systeme und gestatten eine praktisch hinreichend genaue und zuverlässige Spannungsvermittlung.

Aus alledem geht hervor, daß sich für den entwerfenden Ingenieur die Festlegung auf eine bestimmte Methode nicht empfiehlt, daß vielmehr das jeweils geeignete Verfahren nach dem Trägersystem, nach der Belastungsart und nach der

Anzahl der zu untersuchenden Belastungsfälle unter Ausnutzung aller für die Ermittlung zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zu wählen ist.

### III.

Zu einem Vergleich des mechanischen und des rein rechnerischen Verfahrens soll noch die Berechnung des eingespannten Bogens aus den Formänderungen auf geometrischem Wege hergeleitet werden.

Bei dem beliebig belasteten, beiderseitig eingespannten Bogen mit unnachgiebigen Widerlagern denken wir uns das linke Widerlager entfernt und durch die Kämpferreaktion  $H_a$ ,  $V_a$  und  $M_a$  ersetzt (Abb. 10). Die durch die Formänderungen eines einzelnen Bogenelementes unter dem Einfluß der von der Belastung hervorgerufenen inneren Kraft  $R_x$  bzw. deren Komponenten  $N_x$ ,  $Q_x$  und  $M_x$  (Abb. 11) bedingten scheinbaren Verschiebungen des freien Endes des einseitig eingespannten Bogens in Richtung  $H_a$ ,  $V_a$  und  $M_a$  setzen sich zusammen aus einer Verschiebung

$$-\frac{N_x \cdot ds \cdot \cos \varphi}{E F}$$

in Richtung  $H_a$  infolge der Normalkraft  $N_x$ , einer Verschiebung

$$+\frac{N_x \cdot ds \cdot \sin \varphi}{E F}$$

in Richtung  $V_a$  infolge der Normalkraft  $N_x$ , einer Verschiebung

$$+\frac{Q_x \cdot ds \cdot \sin \varphi}{\frac{1}{\alpha} \cdot G \cdot F}$$

in Richtung  $H_a$  infolge der Querkraft  $Q_x$ , einer Verschiebung

$$+\frac{Q_x \cdot ds \cdot \cos \varphi}{\frac{1}{\alpha} \cdot G \cdot F}$$

in Richtung  $V_a$  infolge der Querkraft  $Q_x$ .

Das Biegemoment  $M_x$  erzeugt, wenn mit Rücksicht auf den Krümmungshalbmesser der Drehwinkel des Querschnitts

$$\delta \tau = \frac{M_x \cdot ds}{E J} \text{ gesetzt werden darf,}$$

eine Verschiebung in Richtung  $H_a$  . . . =  $-\frac{M_x \cdot ds}{E J} \cdot y$

„ „ „ „ „  $V_a$  . . . =  $+\frac{M_x \cdot ds}{E J} \cdot x$

eine Verdrehung des Endquerschnitts in Richtung  $M_a$  =  $\frac{M_x \cdot ds}{E J}$ .

Da die Gesamtverschiebungen des Punktes a in Richtung  $H_a$  und  $V_a$  und die Verdrehung des Endquerschnitts im Drehsinne von  $M_a$  bei Annahme starrer Widerlager gleich Null sein müssen, so erhält man die 3 Elastizitätsgleichungen:

$$\int \frac{N_x \cdot ds \cdot \cos \varphi}{E F} - \int \frac{Q_x \cdot ds \cdot \sin \varphi}{\frac{1}{\alpha} \cdot G \cdot F} - \int \frac{M_x \cdot ds}{E J} \cdot y = 0,$$

$$\int \frac{N_x \cdot ds \cdot \sin \varphi}{E F} - \int \frac{Q_x \cdot ds \cdot \cos \varphi}{\frac{1}{\alpha} \cdot G \cdot F} + \int \frac{M_x \cdot ds}{E J} \cdot x = 0,$$

$$\int \frac{M_x \cdot ds}{E J} = 0.$$

Zur Ermittlung der statisch unbestimmten Größen bezieht man nach Müller-Breslau den Bogen auf ein Koordinatensystem, das den Bedingungen

$$\int \frac{ds}{E J} \cdot x = 0, \int \frac{ds}{E J} \cdot y = 0 \text{ und } \int \frac{ds}{E J} \cdot x \cdot y = 0$$

genügt und läßt in dem mit dem Kämpferquerschnitt starr verbunden gedachten Koordinatenursprung 0 (elastischer Schwerpunkt) die unbekanntenen Größen H, V und M angreifen (Abb. 12, H und V in den Richtungen der zwei konjugierten Achsen der Elastizitätseellipse). Dann ist

$$\begin{aligned} M_x &= M_0 + M + V \cdot x - H \cdot y \\ N_x &= N_0 + V \cdot \sin \varphi + H \cdot \cos \varphi \\ Q_x &= Q_0 + V \cdot \cos \varphi - H \cdot \sin \varphi, \end{aligned}$$

worin  $M_0$ ,  $N_0$  und  $Q_0$  die von der Belastung herrührenden Momente, Normalkräfte und Querkräfte des Freitragers bedeuten.

$$\begin{aligned} H &= + \frac{\int \frac{M_0 \cdot ds}{J} \cdot y}{\int \frac{ds}{J} \cdot y^2 + \int \frac{ds}{F}}, & V &= - \frac{\int \frac{M_0 \cdot ds}{J} \cdot x}{\int \frac{ds}{J} \cdot x^2}, \\ M &= - \frac{\int \frac{M_0 \cdot ds}{J}}{\int \frac{ds}{J}}. \end{aligned}$$

In dem praktischen Fall des in Abb. 13 dargestellten Ge-

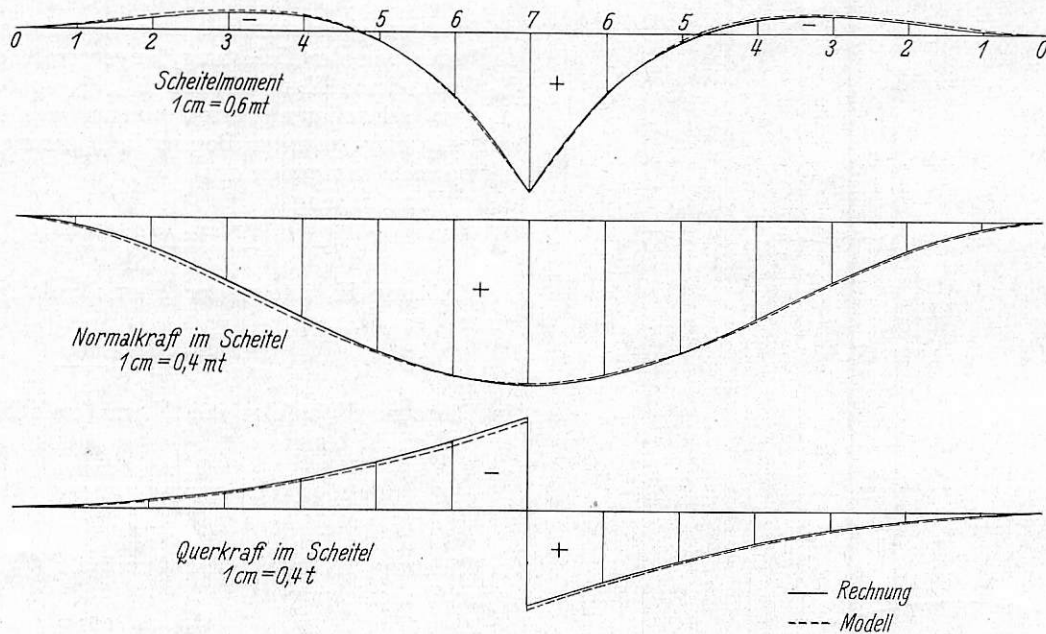


Abb. 14.

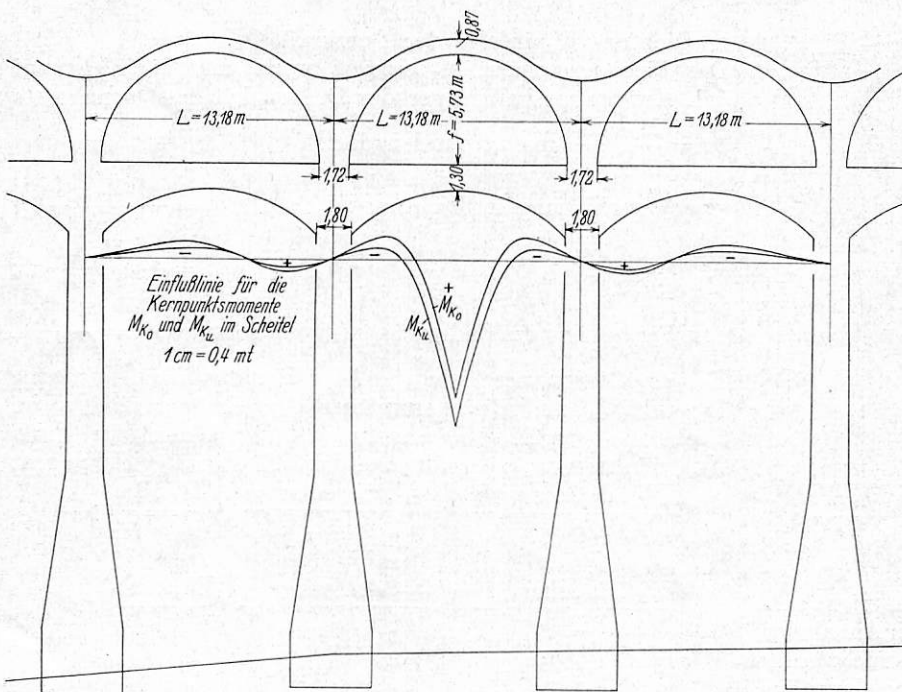


Abb. 15.

wölbes einer im Jahr 1927 ausgeführten Eisenbahnbrücke, das auf Grund der Elastizitätstheorie in Anlehnung an das von Prof. Dr. Ing. Mörsch in der Schweizerischen Bauzeitung 1906, S. 83 ff. veröffentlichte Verfahren berechnet worden ist, sind die Rechnungsergebnisse mit dem mechanischen Verfahren an Modellen von 2 mm Dicke im Maßstab 1 : 50 nachgeprüft worden.

In Abb. 14 sind die Einflusslinien des Moments, der Normalkraft und der Querkraft im Scheitelquerschnitt, wie sie sich aus der statischen Berechnung und mit dem Modellverfahren ergaben, gegenübergestellt. Die Abweichungen sind sehr klein.

Auf mechanischem Wege hat man für jede Einflußordinate nacheinander 3 bis 4 Formänderungen wiederholt und aus den Ablesungen am Mikroskop das Mittel gebildet. Aus dem Verlauf der Kurven erkennt man leicht, welche Punkte einer Nachprüfung oder Verbesserung bedürfen.

Anlässlich der Verstärkung des Endviaduktus bei Bietigheim (Abb. 15) sind die Einflusslinien für die Kernpunktmente  $M_{K0}$  und  $M_{Ku}$  im Scheitelquerschnitt nach dem Modellverfahren ermittelt worden.

Bei den Normal- und Querkräften ist der Modellmaßstab ohne Bedeutung. Anders liegen die Verhältnisse bei den Momenten. Je größer der Maßstab, um so größer die Ver-

Wird weiterhin näherungsweise

$$\begin{aligned} N_x \cdot \cos \varphi &= 0 \\ N_x \cdot \sin \varphi &= H \end{aligned}$$

gesetzt und der Einfluß der Querkräfte vernachlässigt, so liefern die 3 Elastizitätsgleichungen

schiebungen, um so kleiner der Multiplikator  $n$ . Die Drehwinkelverformungslehre gestattet, die erzwungenen Verdrehungen der Schnittflächen den verschiedensten Verhältnissen anzupassen. Die Drehwinkelverformungslehre mit Zapfengelenk ist weiterhin den Lehren, bei denen die Riegel mit

Spannfedern zusammengehalten werden, überlegen. Bei großen und steifen Modellen kann es vorkommen, daß die Federkraft nicht ausreicht, um die Verdrehung der Schnittflächen um den festgelegten Drehpunkt zu gewährleisten und jede Verschiebung in anderer Richtung vollständig auszuschließen.

### Zur Berechnung der Tragfähigkeit eiserner Eisenbahnbrücken.

Von Ing. Dr. techn. Josef Schreier, Oberbaurat der Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen.

(Hierzu Tafel 1.)

Bei der Beurteilung der Verkehrszulässigkeit von Lokomotiven ist stets festzustellen, ob die Brücken auf den in Betracht kommenden Linien unter den zu überführenden Lastenzügen nicht übermäßig beansprucht werden.

Um dies bei der überwiegenden Mehrheit der in Frage kommenden Brückentragwerke, das sind frei aufliegende Balkenträger, rasch entscheiden zu können, empfiehlt Ministerialrat Ing. F. Roth\*) für die am ungünstigsten beanspruchten Brückenteile jene maßgebenden, die Tragfähigkeit kennzeichnenden Momente zu ermitteln, welche deren zulässige Inanspruchnahme zu bewirken imstande sind. Diese Werte werden in einem Achsensystem so eingezeichnet, daß die Trägerstützweiten bzw. Belastungslängen als Abszissen und die maßgebenden Biegungs- bzw. Stützenmomente als Ordinaten erscheinen. Die Art der Einringelung der so erhaltenen Punkte kennzeichnet das Brückenbauglied, während dessen Bezifferung den Ort (Streckenkilometer) der Brücke angibt. Diese Eintragungen werden, für Biegungs- und Stützenmomente gesondert, in je einem Achsensystem I und II durchgeführt.

Ferner wird für den zu überführenden Lastenzug auf Pauspapier zur veränderlichen Stützweite  $l$  als Abszisse die Linie der größten Biegemomente in einem Achsensystem  $I'$  eingezeichnet, desgleichen in einem anderen  $II'$  zu den veränderlichen Belastungslängen  $l$  die Linie der größten Stützenmomente, das sind die Momente der Lasten bezüglich des lastseitigen Auflagers, eingetragenen.

Legt man das Achsenkreuz von I und  $I'$ , desgl. von II und  $II'$  übereinander, so zeigt das Verbleiben der bezifferten Punkte oberhalb unterhalb der Momentenlinie an, daß die unter dem behandelten Lastenzuge auftretende größte Inanspruchnahme den größten zulässigen Wert, welcher die Tragfähigkeit der Brücke bestimmt, nicht erreicht überschreitet.

Dieses vorgeschlagene Verfahren setzt voraus, daß die Tragfähigkeit sämtlicher Brücken der zu untersuchenden Linie ein für allemal bestimmt ist.

Die Tragfähigkeit einer Brücke erscheint als Funktion der Brückenabmessungen und des Brückeneigengewichts, allenfalls auch gewisser Zusatzbelastungen und Einschränkungen. Da die unmittelbare Berechnung der Tragfähigkeit ziemlich zeitraubend ist, sei im nachfolgenden ein Verfahren angegeben, das es ermöglicht, unter Zugrundelegung einer, für eine beliebige Rechnungslast bereits durchgeführten Festigkeitsberechnung der Brücke die Tragfähigkeit mittelbar zu bestimmen. Es genügt dann meistens, gewisse Gruppen der vorliegenden Werte der Inanspruchnahme und das Rechnungsmoment zu einer Proportion zu verwenden oder noch einfacher, diese Größe in einem Nomogramm bzw. einem besonders hergestellten Rechenschieber einzustellen, um die gesuchte Tragfähigkeit zu finden.

Als Nachweis für dieses Verfahren ist zunächst die Untersuchung erforderlich, die Abhängigkeit der Inanspruchnahme von der Veränderung der Belastung festzustellen.

Im allgemeinen treten zugleich mit der bleibenden Last und der Verkehrslast auch Wind- und Zusatzlasten auf. Die vorkommenden Inanspruchnahmen seien — ohne auf deren Art\*) einzuweichen näher einzugehen — laut nachstehender Zusammenstellung bezeichnet.

#### Zusammenstellung I.

Bezeichnung	Inanspruchnahme infolge
$s_g$	bleibender Last (allenfalls einschließlich Gehweglast bzw. Wärmespannung)
$s_v$	lotrechter Einwirkung der Verkehrslast
$s_f$	waagerechter Einwirkung der Fliehkraft
$s_p$	$= s_v + s_f$
$s_s$	Seitenschwankungen (-Pressungen) nach den Vorschriften der Österreichischen Bundesbahnen
$s_S$	Seitenschwankungen nach den Vorschriften der Deutschen Reichsbahn
$s_w$	lotrechter wie waagerechter Gesamteinwirkung des Winddrucks
$s_b$	Bremswirkung
$s_\sigma$	für $s_p$ und $s_s$ allenfalls zusätzlicher örtlicher Einwirkung durch Verkehrslast, Fliehkraft und Seitenschwankungen

Die vorgenannten Inanspruchnahmen beziehen sich auf die Ergebnisse einer als vorliegend angenommenen Festigkeitsberechnung, der eine bestimmte „Rechnungslast“ zugrundegelegt erscheint. Dieser entspricht, je nach dem Belastungsfall, bei Haupt- wie Längsträgern für die Stützweite  $l$  ein größtes Biegemoment  $M$  bzw.  $St$  und für die Belastungslänge  $l_x$  ein  $St_x$ , ferner ein Gewicht  $G$  der Lokomotiven samt Tendern (verteilt mit  $p$  auf ihre Gesamtlänge  $L$ ), eine angeschlossene Last vom Metergewicht  $q$ , sowie eine auf  $l$  entfallende Zuglast  $Z$ .

Bei Querträgern bedeutet  $Q$  dessen Belastung infolge Verkehrslast,  $M$  ein „Hilfsmoment“,  $Z$  die Zuglast der ganzen Brücke, während  $G$ ,  $L$ ,  $p$ , und  $q$ , wie zuvor gelten.

Von der „Rechnungslast“ wird auf eine „Umrechnungslast“ geschlossen, für welche auch sämtliche vorgenannten Bezeichnungen, jedoch durch Apostroph unterschieden, gewählt wurden.

Der Untersuchung der Spannungsänderung irgend eines Brückengliedes wird der allgemeine Fall einer Brücke mit beliebig gelegenen Bogengleisen zugrundegelegt.

Hierbei kommen in den Hauptfällen entweder die Biegungs- oder die Stützenmomente, endlich beide gleichzeitig in Betracht.

Der erstgenannte Fall umfaßt Haupt- wie Längsträger hinsichtlich der Gurten und deren Anschlüsse, sowie sämtliche Teile des Querträgers, der zweitgenannte die Haupt- wie Längsträger hinsichtlich ihrer Füllungsstäbe samt Anschlüssen, bei Blechträgern die Niet- (Schweißnaht-) und Stegblech-

\*) Über die Nachrechnung von Brückentragwerken. „Org. Fortschr. Eisenbahnwes.“ 1927, Heft 22/23, S. 449.

\*) Im besonderen tritt an Stelle der Bezeichnungen  $s$  jene  $\sigma$  für Zug-, Druck- (Knick-) und Biegebungsbeanspruchung, ferner  $\tau$  für Schubspannungen und  $\lambda$  für Nietlochleibungsdruck.

beanspruchungen, endlich der letzte Fall die Stegblechstoßnietungen von Blechträgern.

Im folgenden sind sämtliche möglichen Belastungen als auftretend angenommen worden. Im Anwendungsfalle wird meistens durch Ausscheiden (Nullsetzen) von einigen eine Vereinfachung eintreten. In einer Schlußzusammenstellung gebrachte Beispiele zeigen die Benützung der dargelegten Formeln in den verschiedenen Fällen.

**A. Spannungen, abhängig vom Biegemoment.**

**I. Haupt- und Längsträger.**

Ersetzt man\*) die Verkehrslast der Brücke durch eine gleichförmig verteilte Belastung  $p$ , die je nach der Fahrgeschwindigkeit ( $v$ ,  $v/2$  oder  $0$ ) entlang einer in der bezüglichen Windverbandebene ermittelten Bogenlinie einwirkend gedacht wird, so entspricht dem Biegemomente  $M_x$  jedes Querschnitts (bzw. Momentenpunkts), mit der Abszisse  $x$  ein bestimmter Momentenfaktor  $k$ , womit sich  $M_x$  aus dem Größtmomente  $M$  (tm je Gleis) ergibt als  $M_x = kM$ . Tritt an Stelle der Rechnungslast  $p$  eine Umrechnungslast  $p' = \epsilon p$ , so wird  $M$ , jedes  $M_x$  wie auch die hiervon abhängige Inanspruchnahme  $s_v$  den  $\epsilon$ -fachen Wert annehmen. Auch die waagerechten Einflüsse der Fliehkräfte desgleichen der Seitenschwankungen mit den bezüglichen Momenten  $M_f$  und  $M_s$  sowie die Inanspruchnahmen  $s_f$  und  $s_s^{**}$  werden hierdurch  $\epsilon$ -fach, desgl. die von der Bremslast  $Z$  hervorgerufene Inanspruchnahme  $s_b$ . Dabei wird bezüglich  $M_s$  angenommen, daß bei gleichbleibenden Achsabständen die einzelnen Achsdrücke  $P_1, P_2 \dots$  der Lokomotiven für die Umrechnungslast sich  $\epsilon$ -fach ändern, womit sich die umgerechneten Inanspruchnahmen für Seitenschwankungen und sämtliche örtliche Inanspruchnahmen mit  $s_s' = \epsilon s_s$  bzw.  $s_{\delta}' = \epsilon s_{\delta}$  ergeben. Allfällig vorkommenden Wagenlasten vom Metergewicht  $q$  entspreche zunächst  $q' = \epsilon q$  der Umrechnungslast, in welchem Falle, daß

1. keine Wagenlasten zu berücksichtigen oder für die angeschlossenen Wagen keine näheren Angaben

vorliegen, sich die Gesamtinanspruchnahme für die Umrechnungslast ergibt:

$$s' = s_g + s_p' + s_s' + s_b' + s_{\delta}' + s_w = s_g + s_w + \epsilon (s_p + s_s + s_b + s_{\delta}).$$

Da  $\epsilon = \frac{M'}{M}$ , ist

$$1) \dots \dots \dots \frac{s' - s_g - s_w}{s_p + s_s + s_b + s_{\delta}} = \frac{M'}{M}.$$

Erreicht  $s'$  den Wert der zulässigen Inanspruchnahme  $s_{zul}$ , so wird das zugehörige  $M' = M_T$  die Tragfähigkeit kennzeichnen. Bei Einführung nachgenannter Hilfsgrößen und Berücksichtigung

*a) der österreichischen Vorschriften*

wird

$$2) \dots \dots \dots \Gamma = s_g + s_w \text{ und } \Sigma = s_p + s_s + s_b + s_{\delta};$$

bei Beachtung

\*) Man vergleiche: Kommerell und Schulz: „Einflüsse der Fliehkräfte auf Eisenbahnbrücken“. Berlin 1925, Verlag von W. Ernst & Sohn.

\*\*) Nach den Vorschriften für die Ö.B.B. ist  $s_s$  bei veränderlicher Belastung veränderlich, während nach jenen der D.R.B. eine bestimmte Seitenstoßkraft, demnach ein unveränderliches  $s_g$  hervorruft. Gemäß den erstgenannten Vorschriften kann für Brücken, die vor Inkrafttreten der Verordnung von 1904 erbaut sind, entweder der Einfluß der Seitenschwankungen oder jener des Winddrucks berücksichtigt werden, wobei der größere der beiden maßgebend ist.

*b) der Vorschriften der DRB.*

$$2') \dots \dots \dots \Gamma = s_g + s_w + s_S \text{ und } \Sigma = s_p + s_b + s_{\delta},$$

wobei in  $s_{\delta}$  der Gl. 2') die Seitenstöße nicht einbezogen sind. Man erhält in beiden Fällen mit

$$3) \dots \dots \dots \psi = \frac{s_{zul} - \Gamma}{\Sigma}$$

$$4) \dots \dots \dots M_T = \psi M$$

als Tragfähigkeit.

Erscheint für die Umrechnungslast

2. die Größe  $q'$  der angeschlossenen Wagenlasten festgelegt,

so ist zu einem gegebenen  $G$  jenes Gewicht  $G'$  der Lokomotiven und Tender von einer bestimmten Gesamtlänge  $L'$  zu ermitteln, welches der Tragfähigkeit entspricht.

Der Belastung  $p' = \frac{G'}{L'}$  der Strecke  $L'$  wird die Wagenlast vom Metergewicht  $q'$  gemäß den österreichischen Vorschriften einseitig, nach den reichsdeutschen beiderseitig angeschlossen.

*a) Bei einseitig angeschlossenen Wagen (Abb. 1)*

wird die Belastung auf einen Grundfall (Abb. 2) zurückgeführt mit einer Belastung  $p_0$  von der Länge  $l$  und angeschlossener

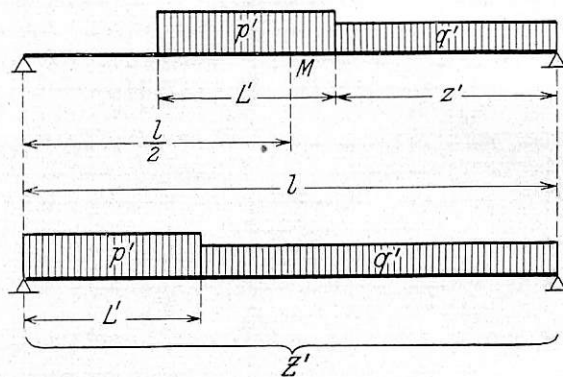


Abb. 1.

Last von  $q_0 = 1$  je Meter von der Länge  $z_0$  für eine Stützweite  $l_0$ . Zwecks Herstellung eines Flächennomogramms (Abb. 1, Taf. 1) wurden zu Stützweiten von  $l_0 = 1$  bis 5 für  $p_0 = 1$  bis 2,8 jeweils Werte des größten Biegemoments  $M_0$  und die zugehörigen Werte der größten Bremslast  $Z_0$  ausgerechnet\*), zu welchen als Koordinaten sich eine Linienschar aller  $l_0$  ergibt. Wirken auf einen frei aufliegenden Träger von der Stützweite  $l$  die Streckenlasten  $p'$  und  $q'$  auf die Längen  $L'$  und  $z'$  bei ungünstigster Stellung ein, so entsteht ein  $M'$  und (ungünstig kombiniert) für die Belastung des ganzen Trägers laut

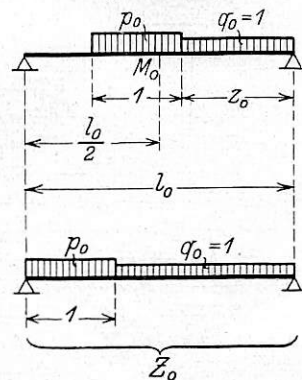


Abb. 2.

\*) Hierzu ergeben sich, je nach dem Werte  $p_0$ , wenn  $z_0 < l_0/2$ ,

$$z_0 = (l_0 - 1) \frac{p_0}{2 p_0 - 1}$$

und das zugehörige

$$M_{max} = M_0 = \frac{p_0}{8} \{ l_0 [4 (1 + z_0) - l_0] - 4 z_0 (1 + z_0) - 2 \}$$

oder, wenn  $z_0 \geq l_0/2$ ,

$$M_0 = \frac{1}{8} [2 p_0 (p_0 - 1) + l_0^2].$$



Abb. 1 ein  $Z'$ . Werden hierauf die Verkehrslasten  $q'$ -fach verkleinert, so ergibt sich  $M_1 = \frac{M'}{q'}$  und  $Z_1 = \frac{Z'}{q'}$ ; werden weiter alle Längen  $1/L'$ -fach genommen, so wird mit  $l_0 = 1/L'$ ,  $L_0 = L'/L' = 1$  und  $z_0 = z'/L'$  der Grundfall erreicht, zu welchem

$$M_0 = \frac{M_1}{L'^2} = \frac{M'}{q' L'^2} \quad \text{und} \quad Z_0 = \frac{Z_1}{L'} = \frac{Z'}{q' L'}$$

gehört. Da also

5) . . . . .  $M' = q' L'^2 M_0$

und

6) . . . . .  $Z' = q' L' Z_0$ ,

wird

7) . . . . .  $s_p' = \frac{M'}{M} s_p = \frac{q' L'^2 M_0}{M} s_p$

und

8) . . . . .  $s_b' = \frac{Z'}{Z} s_b = \frac{q' L' Z_0}{Z} s_b$ .

Da angenähert

9) . . . . .  $\frac{M_s'}{M_s} = \frac{G'}{G} = \frac{p' L'}{G} = \frac{s_s'}{s_s}$

und

10) . . . . .  $\frac{M_{\delta}'}{M_{\delta}} = \frac{p'}{p} = \frac{G' L}{L' G} = \frac{s_{\delta}'}{s_{\delta}}$ ,

ferner

$$Z' = p' L' + (1 - L') q',$$

also mit Gl. 6)

$$G' = p' L' = Z' - (1 - L') q' = q' [L' (Z_0 + 1) - 1],$$

ist wegen Gl. 9)

11) . . . . .  $s_s' = \frac{p' L'}{G} s_s = \frac{q'}{G} [L' (Z_0 + 1) - 1] s_s$ ,

desgl. wenn

12) . . . . .  $c = \frac{L}{L'} s_{\delta}$ ,

13) . . . . .  $s_{\delta}' = \frac{c q'}{G} [L' (Z_0 + 1) - 1]$ ,

womit sich laut Gl. 7), 8), 11) und 13) die Gesamtinanspruchnahme ergibt

14) . . . . .  $s' = s_g + s_p' + s_b' + s_s' + s_{\delta}' + s_w =$   
 $= s_g + \frac{q' L'^2 M_0}{M} s_p + \frac{q' L' Z_0}{Z} s_b + \frac{q'}{G} [L' (Z_0 + 1) - 1] (s_s + c) + s_w$ .

Wird  $s'$  zu  $s_{zul}$ , so wird  $M' = M_T$  und entsprechen die zugehörigen Werte von  $M_0$  und  $Z_0$  der gesuchten Tragfähigkeit, die daraus berechnet werden kann. Es ist dann

$$s_{zul} = s_g + \frac{q' L'^2 s_p}{M} M_0 + q' L' Z_0 \left( \frac{s_b}{Z} + \frac{s_s + c}{G} \right) - \frac{q'}{G} (1 - L') (s_s + c) + s_w$$

oder

15) . . . . .  $\left[ \frac{s_{zul} - s_g - s_w}{q'} + \frac{1 - L'}{G} (s_s + c) \right] \frac{M}{L'^2 s_p} =$   
 $= M_0 + \left[ \frac{s_b}{Z} + \frac{s_s + c}{G} \right] \frac{M}{L' s_p} Z_0$  \*).

Setzt man

$$16) \dots \left\{ \begin{array}{l} \mu = \frac{M}{L' s_p}, \quad \nu = \frac{s_s + c}{G} = \frac{s_s + \frac{L}{L'} s_{\delta}}{G} \\ X = \left[ \frac{s_{zul} - s_g - s_w}{q'} + (1 - L') \nu \right] \frac{\mu}{L'} \\ \text{und} \\ \Phi = \mu \left( \frac{s_b}{Z} + \nu \right), \end{array} \right.$$

\*) Bei Entfall von Bremskräften, Seitenstößen und örtlichen Lasten stimmt diese Gleichung wegen Gl. 5) mit Gl. 1) überein und ist demnach dieser Fall wie A I 1 zu behandeln:

so wird

17) . . . . .  $X = M_0 + Z_0 \Phi$ .

In Abb. 1, Taf. 1 ist neben der zu den Koordinaten  $M_0$  und  $Z_0$  gezeichneten Linienschar aller  $l_0$  ein Strahlenbüschel dargestellt, dessen Geraden mit der Y-Achse den Winkel  $\varrho$  einschließen und die Wertbezeichnung  $\Phi = \text{tg } \varrho$  aufweisen. Auf der X-Achse ist eine Teilung der Längen  $X$  aufgetragen.

Den laut Gl. 16) berechneten Werten  $X$  und  $\Phi$  entspricht ein Teilungspunkt A der X-Achse und ein Richtstrahl  $\Phi$ , zu dem durch A eine Parallele gelegt wird, welche die mit  $l_0 = 1/L'$  bezeichnete Scharlinie in B schneidet. Die durch B gezogene Lotrechte trifft die X-Achse in B'. Die Koordinaten  $O B' = M_0$  und  $B' B = Z_0$  erfüllen bereits die Gl. 17), denn  $B'A = B'B \text{ tg } \varrho = Z_0 \Phi$ , womit  $O A = O B' + B'A$  oder  $X = M_0 + Z_0 \Phi$ .

Die Abszisse des Schnittpunktes B gibt also das gesuchte  $M_0$  an, womit die Tragfähigkeit bestimmt ist durch

18) . . . . .  $M_T = q' L'^2 M_0$ .

b) Bei beiderseits angeschlossenen Wagen

von bestimmtem Metergewicht  $q'$  der Umrechnungslast wird eine  $L'$  lange Ersatzlast von Lokomotiven und Tendern von  $p'$  Metergewicht (Abb. 3) das größte Biegemoment ergeben

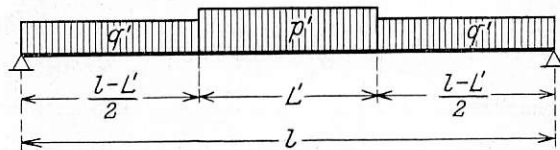


Abb. 3.

19) . . . . .  $M' = \frac{p' l^2}{8} - (p' - q') \frac{(1 - L')^2}{8}$

und die größte Bremslast\*)

20) . . . . .  $Z' = p' L' + \frac{q'}{2} (1 - L')$ .

Aus Gl. 19) ist

21) . . . . .  $p' L' = \frac{8 M' - q' (1 - L')^2}{2(1 - L')} = G'$ ,

was in Gl. 20) eingesetzt, ergibt

22) . . . . .  $Z' = \frac{8 M' - q' (1 - L')^2}{2(1 - L')} + (1 - L') \frac{q'}{2}$ .

Die Summe  $s'$  aller Inanspruchnahmen bestimmt sich mit den Gl. 19) bis 22) und 10) zu

$$s' = s_g + \frac{M'}{M} s_p + \frac{Z'}{Z} s_b + \frac{G' L}{G L'} s_{\delta} + s_s + s_w =$$

$$= s_g + \frac{M'}{M} s_p + \frac{8 M' - q' (1 - L')^2}{2(1 - L')} \left( \frac{s_b}{Z} + \frac{L s_{\delta}}{L' G} \right) + (1 - L') \frac{q'}{2 Z} s_b + s_s + s_w$$

Setzt man

23) . . . . .  $c = \left( \frac{s_b}{Z} + \frac{L s_{\delta}}{L' G} \right) \frac{1}{2(1 - L')}$ ,

so ist

$$s' = s_g + \frac{M'}{M} (s_p + 8 c M) - c q' (1 - L')^2 + (1 - L') \frac{q'}{2 Z} s_b + s_s + s_w$$

Mit den Bezeichnungen

24) . . . . .  $C_g = q' (1 - L') \left[ \frac{s_b}{2 Z} - c (1 - L') \right]$  und  $C_p = 8 c M$

ist

$$s' - s_g - s_s - s_w - C_g = \frac{M'}{M} (s_p + C_p)$$

\*) Nach den Vorschriften der D.R.B. kommt jede zweite Wagenachse für die Bremsung in Betracht, daher wird für  $Z'$  anstatt  $q'$  nur  $q'/2$  in Rechnung gesetzt.

Im Falle, daß  $s' = s_{zul}$ , wird  $M' = M_T$  und ergibt sich die Tragfähigkeit laut Gl. 3) und 4) diesmal mit den Hilfsgrößen

$$25^*) \dots \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} I' = s_g + s_s + s_w + C_g \\ \text{und} \\ \Sigma = s_p + C_p. \end{array} \right.$$

**II. Querträger\*\*).**

Weisen dessen beide Nachbarfelder (Abb. 4) die Feldweiten  $a'$  und  $a''$  auf, so ist die Einflußlinie der Querträgerlast

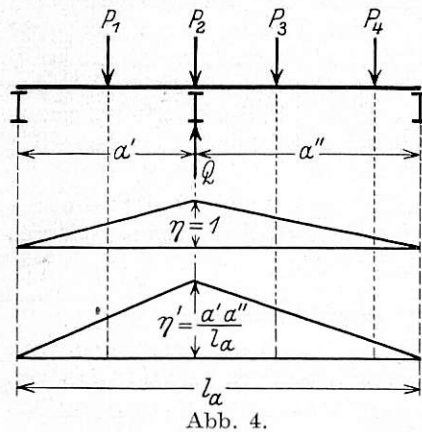


Abb. 4.

ein Dreieck mit der Grundlinie  $l_a = a' + a''$  und der Höhe  $\eta = 1$ . Bei einem gedachten Träger der gleichen Stützweite  $l_a$  ergibt sich die Einflußlinie des Biegemoments für einen Querschnitt im Abstand  $x = a'$  von seinem linken Auflager als Dreieck mit gleicher Grundlinie  $l_a$  und der Höhe  $\eta'$  im Teilpunkt  $x = a'$ , d. i. das Biegemoment infolge einer

dort stehenden Last  $1 \dots \eta' = 1 \frac{a' a''}{l_a}$ .

In gleichem Verhältnis  $\frac{\eta'}{\eta} = \frac{a' a''}{a' + a''}$  stehen demnach bei beliebiger Belastung der beiden Felder die Querträgerbelastung  $Q$  zu dem „Hilfsmoment“  $M$  genannten Moment des gedachten Trägers. Es ist also  $M = \frac{a' a''}{a' + a''} Q$ , was sich

meistens wegen  $a' = a'' = a$  zu  $M = \frac{a}{2} Q$  vereinfacht. Kommen auf der Brücke für die Berechnung

**1. keine Wagenlasten**

in Betracht, oder denkt man sich diese im gleichen Verhältnis wie die Lokomotiv- und die Tenderachsen veränderlich, so ist, wie unter A I 1,

$$26) \dots \dots \dots \frac{s_p'}{s_p} = \frac{s_s'}{s_s} = \frac{s_b'}{s_b} = \frac{M'}{M} = \frac{p'}{p}.$$

Hiermit wird bei Erreichung des zulässigen Wertes von  $s_{zul}$  die Gesamtanspruchnahme unter Berücksichtigung

*a) der österreichischen Vorschriften*

$$s_{zul} = s_g + s_p' + s_s' + s_b' + s_w = s_g + s_w + \frac{M_T}{M} (s_p + s_s + s_b).$$

Setzt man

$$27) \dots \dots \dots I' = s_g + s_w \quad \text{und} \quad \Sigma = s_p + s_s + s_b,$$

so ist die Tragfähigkeit in Form eines Hilfsmomentes  $M_T$  für obgenannte Stützweite  $a' + a''$  gleichfalls durch die Gl. 3) und 4) gegeben.

*b) Nach den Vorschriften der DRB.*

kommt  $s_s$  in Betracht. Dieses ist in den Gl. 27) unter Nullsetzen von  $s_s$  wie  $s_g$  zu behandeln. Es folgt hiermit für die Gl. 3) und 4)

$$27') \dots \dots \dots I' = s_g + s_w + s_s \quad \text{und} \quad \Sigma = s_p + s_b.$$

\*) Bei Entfall der Bremskräfte und der örtlichen Lasten wird mit  $s_b = s_s = 0$  auch  $C_g = C_p = 0$ , daher stimmt dann Gl. 25) mit Gl. 2') überein. Dieser Fall ist demnach wie A I 1 zu behandeln.

\*\*) Da die Ständer steif ausgekreuzter Parallelfachwerke mit Anteilen der Querträgerlast beansprucht werden, gelten die den Querträger betreffenden Ausführungen auch für diese Ständer, insoweit lotrechte Kräfte in Betracht kommen.

Sind

**2. Wagenlasten von bestimmtem Metergewicht**

$q$  bzw.  $q'$  zu berücksichtigen, so wird das Verhältnis  $\frac{Z'}{Z}$  der ganzen Brückenbelastung für Umrechnungs- und Rechnungslast nicht mehr gleich  $\frac{M'}{M}$  sein, sondern ergibt sich zur Berechnung von  $s_b$  mit  $p = G/L$  nunmehr  $p' = \frac{M'}{M} p = \frac{M'}{M} \frac{G}{L}$ , daher

$$28) \dots \dots \dots Z' = p' L' + q' (l - L') = \frac{M' L'}{M L} G + q' (l - L').$$

Daraus folgt bei Zugrundelegung

*a) der österreichischen Vorschriften*

die Gesamtanspruchnahme mit Gl. 26) und 28)

$$s' = s_g + s_p' + s_s' + s_b' + s_w = s_g + \frac{M'}{M} (s_p + s_s) + \frac{Z'}{Z} s_b + s_w = s_g + \frac{M'}{M} \left( s_p + s_s + \frac{L'}{L} G \frac{s_b}{Z} \right) + q' (l - L') \frac{s_b}{Z} + s_w$$

oder, wenn  $s' = s_{zul}$  und  $M' = M_T$ ,

$$s_{zul} - s_g - s_w - q' (l - L') \frac{s_b}{Z} = \frac{M_T}{M} \left( s_p + s_s + \frac{L'}{L} G \frac{s_b}{Z} \right).$$

Mit den Hilfsgrößen

$$29) \dots \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} c = \frac{s_b}{Z}, \quad C_g = c q' (l - L'), \quad C_p = c G \frac{L'}{L}, \\ I' = s_g + s_w + C_g \quad \text{und} \quad \Sigma = s_p + s_s + C_p \end{array} \right.$$

ergibt sich, ähnlich wie bei A I 1, die Tragfähigkeit in der Form von Gl. 3) und 4), wobei  $M_T$  und  $M$  Hilfsmomente für einen frei aufliegenden Balkenträger von der Stützweite  $a' + a''$  (Abb. 4) darstellen.

Letztere würde als Abszisse und  $M_T$  als Ordinate im eingangs besprochenen Achsenkreuz I einzutragen sein.

*b) Bei Zugrundelegung der Vorschriften für die DRB.*

entfällt obiges  $s_s$  und  $s_s'$ , wogegen  $s_s$  erscheint und gilt anstatt Gl. 29)

$$29') \dots \dots \dots \left\{ \begin{array}{l} c = \frac{s_b}{Z}, \quad C_g = \frac{c q'}{2} (l - L'), \quad C_p = c G \frac{L'}{L}, \\ I' = s_g + s_w + s_s + C_g, \quad \Sigma = s_p + C_p. \end{array} \right.$$

was in Gl. 3) und 4) einzusetzen ist.

**B. Spannungen, abhängig vom Stützenmoment**

und zwar

**I. von einem Stützenmoment.**

Ist für einen Querschnitt im Abstand  $l_x$  vom rechten Auflagerpunkt (Abb. 5) das Stützenmoment  $St_x$  zu ermitteln,

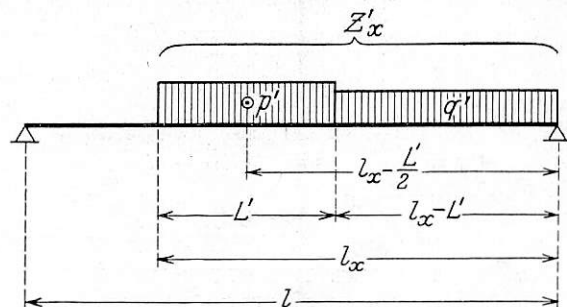


Abb. 5.

so hat man das resultierende statische Moment aller Verkehrslasten innerhalb der Belastungsstrecke  $l_x$  bezüglich des rechten Auflagerpunktes und zwar je Gleis zu berechnen.

Das Stützenmoment für den Querschnitt  $l_x=1$  sei dagegen hier kurz mit  $St$  bezeichnet. Bei einer Brücke mit beliebig gelegenen Bogengleisen ergibt sich, wie unter A I, eine längs einer Bogenlinie angeordnet gedachte, gleichförmige Ersatzlast  $p$ . Diese erstreckt sich über  $l_x$  und ruft sonst im untersuchten Trägerquerschnitt bei geradem Gleis die Querkraft  $R_x = \frac{St_x}{1}$  je Gleis, bei gekrümmtem aber die Querkraft  $k'R_x = \frac{k'St_x}{1}$  hervor, wobei je nach der Lage des Bogengleises für ein bestimmtes  $x$  ein bestimmtes  $k'$  resultiert\*).

Für die Umrechnungslast  $\varepsilon p$  gilt  $St'_x = \varepsilon St_x$ , daher wird sich sowohl die Querkraft, als auch die hiervon abhängige Inanspruchnahme im Verhältnis  $\frac{St'}{St}$  verändern, also

$$30) \dots \dots \dots s_p' = \frac{St'_x}{St_x} s_p.$$

Wenn auch bei Belastung der ganzen Brücke für  $St$  ein anderer Wert  $p$  als jener für  $St_x$  mit der Belastungslänge  $l_x$  gilt, so kann im Falle, daß innerhalb 1

1. keine Wagenlasten maßgebend

sind, mit hinreichender Annäherung angenommen werden, daß für die Umrechnungslast  $\frac{St'}{St} = \frac{St'_x}{St_x}$  zutrifft, womit laut Gl. 30)

$$31) \dots \dots \dots s_p' = \frac{St'}{St} s_p.$$

So gilt auch für die Inanspruchnahme infolge Bremskraft (wofern eine solche in Betracht kommt)

$$32) \dots \dots \dots \frac{s_b'}{s_b} = \frac{Z'}{Z} = \frac{St'}{St},$$

demnach laut Gl. 31) und 32) die Gesamtinanspruchnahme der Umrechnungslast

$$s = s_g + \frac{St'}{St} (s_p + s_b) + s_w.$$

Durch eine bestimmte Größe  $St' = St_T$  des Stützenmomentes, wobei gerade  $s'$  zu  $s_{zul}$  wird, erscheint die Tragfähigkeit gekennzeichnet. Demnach ist

$$33) \dots \dots \dots s_{zul} - s_g - s_w = \frac{St_T}{St} (s_p + s_b)$$

und ist mit

$$34) \dots \dots \dots \Gamma = s_g + s_w \quad \text{und} \quad \Sigma = s_p + s_b$$

sowie

$$35) \dots \dots \dots \psi = \frac{s_{zul} - \Gamma}{\Sigma},$$

$$36) \dots \dots \dots \frac{St_T}{St} = \psi \frac{St}{St},$$

die gesuchte Tragfähigkeit\*\*).

Sind für die Umrechnungslast

2a. bezüglich der Belastungslängen  $l_x$  wie  $l$  angeschlossene Wagen von gegebenem Metergewicht  $q'$  vorgesehen, wobei von der Rechnungslast nebst den Inanspruchnahmen sowohl  $St_x$  als  $Z_x$  bekannt sind, so ergibt sich für die Belastungsstrecke  $l_x$  (Abb. 5) der Umrechnungslast mit

$$37) \dots \dots \dots \begin{cases} u_x = l_x - \frac{L'}{2} \\ z_x = l_x - \frac{L'}{2} \\ u = 1 - \frac{L'}{2} \\ z = 1 - \frac{L'}{2} \end{cases}$$

$$38) \dots \dots \dots St'_x = G' u_x + \frac{q'}{2} z_x^2$$

und für jene 1

$$39) \dots \dots \dots St' = G' u + \frac{q'}{2} z^2.$$

Die Bremslast beträgt

$$40) \dots \dots \dots Z'_x = G' + c q' Z_x, *)$$

daher die Gesamtinanspruchnahme für die Umrechnungslast

$$41) \dots \dots \dots s' = s_g + s_p' + s_b' + s_w = s_g + \frac{St'_x}{St_x} s_p + \frac{Z'_x}{Z_x} s_b + s_w.$$

Aus Gl. 38) und 39), desgl. aus 40) und 39)  $G'$  eliminierend, wird  $St'_x$  und  $Z'_x$  in Gl. 41) unter Verwendung der Konstanten

$$42) \dots \dots \dots \alpha = \frac{s_p}{St_x} \quad \text{und} \quad \beta = \frac{s_b}{Z_x}.$$

und

$$43) \dots \dots \dots C = \frac{u}{\alpha u_x + \beta}$$

eingeführt, worauf mit  $s' = s_{zul}$  und  $St' = St_T$  sich die Tragfähigkeit bestimmt als

$$44) \dots \dots \dots St_T = C \left[ s_{zul} - s_g - s_w - q' z_x \left( \frac{\alpha z_x}{2} + c \beta \right) \right] + \frac{q' z^2}{2}.$$

Bei Entfallen der Berücksichtigung der Bremskraft ist  $\beta = 0$  zu setzen.

Sind für die Umrechnungslast

2b. bezüglich der Stützweite Wagen vom Metergewicht  $q'$  angeschlossen angenommen, dagegen für die Belastungslänge  $l_x$  keine Wagenlast,

(Abb. 6) so gilt für das Umrechnungsstützenmoment der ersteren

$$45) \dots \dots \dots St' = p' L' \left( 1 - \frac{L'}{2} \right) + \frac{q'}{2} (1 - L')^2,$$

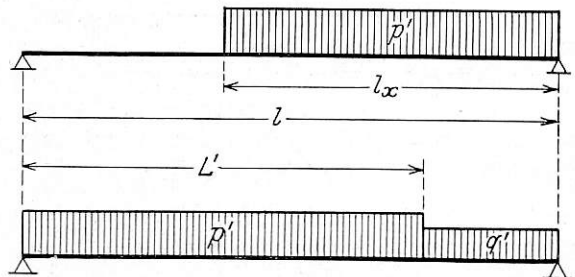


Abb. 6.

dagegen für jenes der letzteren

$$St_x = \frac{p' l_x^2}{2},$$

und für die zugehörige Bremslast  $Z'_x = p' l_x$ .

Daher ist die Gesamtinanspruchnahme

$$s' = s_g + \frac{St'_x}{St_x} s_p + \frac{Z'_x}{Z_x} s_b + s_w = s_g + \frac{p' l_x^2}{2 St_x} s_p + \frac{p' l_x}{Z_x} s_b + s_w,$$

woraus

$$p' = \frac{s' - s_g - s_w}{l_x \left( \frac{l_x}{2 St_x} s_p + \frac{s_b}{Z_x} \right)}.$$

Dies in Gl. 45) eingesetzt, ergibt unter Einführung von  $s' = s_{zul}$ , sowie  $St' = St_T$  und

$$46) \dots \dots \dots C_1 = (s_{zul} - s_g - s_w) \left( 1 - \frac{L'}{2} \right) L' \quad \text{und} \quad C_2 = l_x \left( \frac{l_x}{2 St_x} s_p + \frac{s_b}{Z_x} \right),$$

die Tragfähigkeit

$$47) \dots \dots \dots St_T = \frac{C_1}{C_2} + \frac{q}{2} (1 - L')^2.$$

\*) Es gilt 40\*)  $\dots c = 1$ , bzw.  $c = 0,5$ , je nachdem die Vorschriften der Ö.B.B. oder der D.R.B. zugrundegelegt werden.

\*) Siehe Anm. unter A I.

\*\*\*) Für Wind- und Bremsverbandstreben und deren Anschlüsse ergibt sich ähnlich mit  $\Gamma = s_w$  und  $\Sigma = s_p + s_b$  obige Gl. 35) und 36).

**II. Spannungen, abhängig von zwei Stützenmomenten.**

Wechselstäbe als Füllungsstäbe von Fachwerken sind nach den Vorschriften der D. R. B., insofern nicht die Knickspannung maßgebend ist, für eine Inanspruchnahme zu bemessen, die zugleich von beiden unter bleibender Last und Verkehrslast entstehenden Extremstabskräften, das ist max S und min S, somit von zwei Stützenmomenten abhängen.

Sind die Stabkräfte infolge ständiger Last  $S_g$  und infolge Verkehrslast der einen, bzw. der anderen Laststellung, max  $S_p$  und min  $S_p$ , so gilt allgemein für Wechselstäbe

$$48) \dots \sigma = \frac{1}{F} (\mu_1 \max S + \mu_2 \min S).$$

Je nachdem  $S_g$  das Vorzeichen von max  $S_p$  oder von min  $S_p$  aufweist, ist

$$48a) \dots \sigma = \frac{1}{F} [\mu_1 (S_g + \max S_p) + \mu_2 (\min S_p - S_g)],$$

bzw.

$$48b) \dots \sigma = \frac{1}{F} [\mu_1 (-S_g + \max S_p) + \mu_2 (\min S_p + S_g)].$$

Zu max  $S_p$  gehört  $St_1$  und  $St_1'$ , zu min  $S_p$  jedoch  $St_2$  und  $St_2'$  der Rechnungs- bzw. Umrechnungslast, so daß bei Erreichung der zulässigen Inanspruchnahme mit  $\gamma = |\mu_1 - \mu_2|$  die Gleichung besteht

$$49) \dots \sigma_{zul} F = \gamma S_g + \mu_1 \frac{St_1'}{St_1} \max S_p + \mu_2 \frac{St_2'}{St_2} \min S_p.$$

Hierbei treten laut nachstehender Zusammenstellung II je nach den in Spalte 3 bis 5 angegebenen Belastungsfällen (Abb. 7a bis d) die in Spalte 6 und 7 berechneten Stützenmomente auf. Die vorkommenden Beiwerte sind:

$$50) \dots \begin{cases} a_1 = x_1 - \frac{L'}{2}, & \beta_1 = \frac{q'}{2} (x_1 - L')^2, \\ a_2 = x_2 - \frac{L'}{2}, & \beta_2 = \frac{q'}{2} (x_2 - L')^2, \\ a = 1 - \frac{L'}{2} \text{ und } \beta = \frac{q'}{2} (1 - L')^2 \end{cases}$$

und

$$51) \dots c_1 = \mu_1 \frac{\max S_p}{St_1}, \quad c_2 = \mu_2 \frac{\min S_p}{St_2}.$$

Diese nebst den Gleichungen der Spalte 6 und 7 in Gl. 49) eingesetzt, bestimmen G' welcher Wert schließlich in Spalte 8 eingeführt, das Tragstützenmoment  $St_T$  ergibt.

Im Falle, daß  $|\max S / \min S| > 1$ , ist  $\mu_1 = 1, \mu_2 = 0,3$ , daher  $\gamma = |\mu_1 - \mu_2| = 0,7$  zu setzen und erscheint

$$53) \dots F = F_n$$

durch den nutzbaren Querschnitt gegeben.

Im Falle, daß  $|\max S / \min S| < 1$  ist  $\mu_1 = 0,3, \mu_2 = 1$ , demnach  $\gamma = |\mu_1 - \mu_2| = 0,7$  zu wählen, wobei  $F = F_m$  nachstehenden

Vergleichswert mit  $F_v$  als Vollquerschnitt und  $F_n$ , wie oben, bedeutet:

$$54) \dots F_m = F_v - (F_v - F_n) \frac{\max S}{\min S}.$$

Dieser kann in Anbetracht seiner geringen Veränderlichkeit bei variabler Belastung als konstant eingeführt werden.

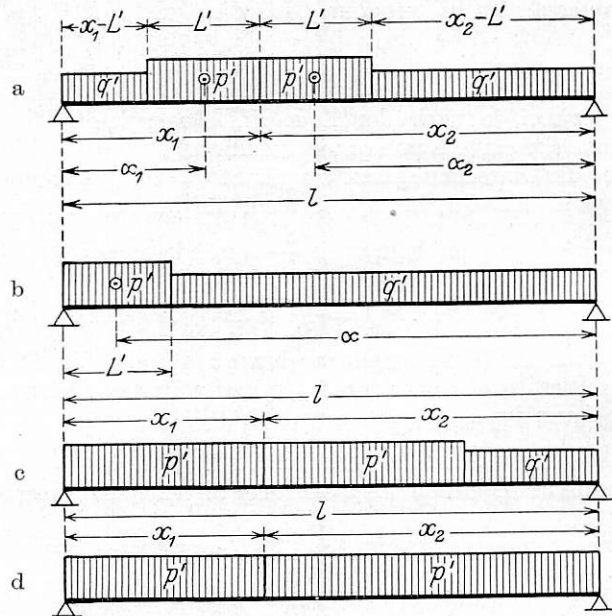


Abb. 7.

**C. Spannungen, abhängig vom Biegungs- wie Stützenmoment.**

Solche kommen bei den Nieten bzw. Schweißnähten der Stegblechstöße von Blechträgern vor. Im folgenden seien die eingangs angegebenen allgemeinen Bezeichnungen der Inanspruchnahmen beibehalten, aber durch Hinzufügen der Zeiger x und y als X- bzw. Y-Komponenten gekennzeichnet. Die Inanspruchnahmen in Gruppen zusammenfassend, erhält man

$$55) \dots \begin{aligned} I_x &= s_{gx} + s_{wx}, & \Sigma x &= s_{px} + s_{bx}, \\ I_y &= s_{gy} + s_{wy}, & \Sigma y &= s_{py}. \end{aligned}$$

Nimmt man unter den gleichen Voraussetzungen, wie unter A I 1 und B I 1 an, daß

$$\frac{M'}{M} = \frac{St'}{St} = \frac{Z'}{Z} = \epsilon,$$

so wird für die Umrechnungslast

$$s'_{px} = \frac{M'}{M} s_{px} = \epsilon s_{px}, \quad s'_{py} = \frac{St'}{St} s_{py} = \epsilon s_{py}$$

**Zusammenstellung II.**

1 Be- lastungs- fall	2 Abb.	3 Folgende Belastung erstreckt sich über			6 Stützenmoment		8 Tragstützenmoment (zu Spalte 5) $St_T =$
		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	1	zu Spalte 3 $St_1' =$	zu Spalte 4 $St_2' =$	
BII1	7a und b	p' und q'	p' und q'	p' und q'	$G' a_1 + \beta_1$	$G' a_2 + \beta_2$	$G' a + \beta = \frac{\sigma_{zul} F - \gamma S_g - \beta_1 c_1 - \beta_2 c_2}{a_1 c_1 + a_2 c_2} a + \beta \dots (52a)$
BII2	7b und c	p'	p' und q'	p' und q'	$\frac{p' x_1^2}{2}$	$G' a_2 + \beta_2$	$G' a + \beta = \frac{\sigma_{zul} F - \gamma S_g - \beta_2 c_2}{\frac{x_1^2}{2 L'} c_1 + a_2 c_2} a + \beta \dots (52b)$
BII3	7b und d	p'	p'	p' und q'	$\frac{p' x_1^2}{2}$	$\frac{p' x_2^2}{2}$	$G' a + \beta = \frac{2 L' (\sigma_{zul} F - \gamma S_g)}{c_1 x_1^2 + c_2 x_2^2} a + \beta \dots (52c)$
BII4	7d	p'	p'	p'	$\frac{p' x_1^2}{2}$	$\frac{p' x_2^2}{2}$	$\frac{p' l^2}{2} = \frac{\sigma_{zul} F - \gamma S_g}{c_1 x_1^2 + c_2 x_2^2} l^2 \dots (52d)$

und

$$s'_{bx} = \frac{Z'}{Z} s_{bx} = \varepsilon s_{bx},$$

demnach

$$\Sigma_x' = \varepsilon (s_{px} + s_{bx}) = \varepsilon \Sigma_x \quad \text{und} \quad \Sigma_y' = \varepsilon s_{py} = \varepsilon \Sigma_y.$$

Für die Umrechnungslast sind daher die Komponenten der Gesamtanspruchnahme

$$56) \dots s_x = I_x + \varepsilon \Sigma_x \quad \text{und} \quad s_y = I_y + \varepsilon \Sigma_y.$$

Trägt man auf der X-Achse die Strecken auf (Abb. 8):  $OA' = I_x$ ,  $A'A = I_y$  und  $A'B' = \Sigma_x$ , macht  $B'B = I_y + \Sigma_y$  und legt durch die zugehörigen Punkte A und B eine Gerade, die man in C zum Schnitt mit dem um O geschlagenen Kreisbogen vom Halbmesser  $r = s_{zul}$  bringt, so ist, wie leicht nachzuweisen

$$57) \dots M_T = \frac{A'C'}{\Sigma_x} M.$$

Im Anwendungsfalle zeigt sich es, daß der Linienzug OAC ziemlich gestreckt und der Abschnitt OA gegenüber OC klein

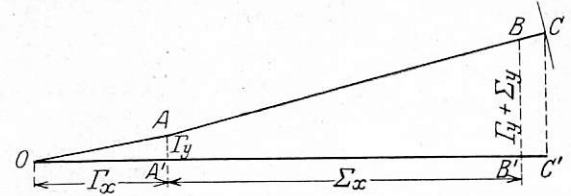


Abb. 8.

ist. Bei Entfallen von Bremskräften kann unter der Annahme, daß dieser Linienzug durch die Gerade O (A) B (C) (Abb. 9) ersetzt

Zusammenstellung III.

Inanspruchnahme auf	Baustoff	Gemäß Vorschrift der	Größte zulässige Inanspruchnahme in kg/cm <sup>2</sup> für die			$\Theta = \bar{s}_{zul} - s_{zul}$	Gesamttragfähigkeit allein zu ermitteln, wenn $s_w$ bzw. $s_w + s_s \geq \Theta$	Für die Haupt-		Für die Gesamt-	
			Belastung		Gesamtbelastung $\bar{s}_{zul}$			Belastung ist einzustellen in Tafel 1			
			Stützweite in m	$s_{zul}$				Abb. 2 $s_g$	Abb. 3 $s_g$	Abb. 2 $\Delta = s_{zul} - \bar{l}$	Abb. 3 $\bar{l}$
auf der Teilung											
Zug, Druck Knickung oder Biegung	Flußstahl	ÖBB <sup>1)</sup>	Nach 1904	0-10 10-20 20-40 über 40	$\sigma_{zul} = \begin{cases} 700 + 51 \\ 760 + 41 \\ 800 + 21 \\ 840 + 1 \\ \text{max } 1000 \end{cases}$	$\bar{\sigma}_{zul} = 1200$	500-51 440-41 400-21 360-1 min 200	$\sigma_w \geq \begin{cases} 500-51 \\ 440-41 \\ 400-21 \\ 360-1 \\ 200 \end{cases}$	a <sup>4)</sup>	Waagerechte I (Stzw.)	n <sup>6)</sup>
	Schweiß-eisen oder Flußstahl		Vor 1904	0-30 über 30	$\sigma_{zul} = \begin{cases} 950 \\ 920 + 1 \end{cases}$	$\bar{\sigma}_{zul} = 1250$	300 330-1	$\sigma_w \geq \begin{cases} 300 \\ 330-1 \end{cases}$	b <sup>4)</sup>		n <sup>6)</sup>
	Flußstahl Schweiß-eisen	DRB			$\sigma_{zul} = \begin{cases} 1500 \\ 1400 \end{cases}$	$\bar{\sigma}_{zul} = \begin{cases} 1700 \\ 1600 \end{cases}$	200 200	$\sigma_w + \sigma_s \geq 200$		III } <sup>7)</sup> IV } <sup>7)</sup>	I } <sup>8)</sup> II } <sup>8)</sup>
Absicherung	ausgenommen die Niete	ÖBB <sup>1)</sup>	Nach Vor		$\tau_{zul} = \begin{cases} 600 \\ 700 \end{cases}$	$\bar{\tau}_{zul} = \begin{cases} 700 \\ 800 \end{cases}$	100 100	$\tau_w \geq \begin{cases} 100 \\ 100 \end{cases}$	c d	n <sup>6)</sup>	
	Nietbeanspruchung		Nach Vor		$\tau_{zul}' = \begin{cases} 700 \\ 800 \end{cases}$	$\bar{\tau}_{zul}' = \begin{cases} 800 \\ 850 \end{cases}$	100 50	$\tau_w' \geq \begin{cases} 100 \\ 50 \end{cases}$	d e		
			Nach Vor		$\tau_{zul}'' = \begin{cases} 600 \\ 750 \end{cases}$	$\bar{\tau}_{zul}'' = \begin{cases} 800 \\ 850 \end{cases}$	200 100	$\tau_w'' \geq \begin{cases} 200 \\ 100 \end{cases}$	c f		
	allgemein		DRB			$\tau_{zul} = \begin{cases} 1200 \\ 1120 \end{cases}$	$\bar{\tau}_{zul} = \begin{cases} 1360 \\ 1280 \end{cases}$	160 160	$\tau_w + \tau_s \geq 160$		
Nietloch-Leibungsdruck	Flußstahl	ÖBB <sup>1)</sup>	Nach Vor		$\lambda_{zul} = \begin{cases} 1600 \\ 1750 \end{cases}$	$\bar{\lambda}_{zul} = \begin{cases} 1800 \\ 2000 \end{cases}$	250	$\lambda_w \geq 250$	g h	n <sup>6)</sup>	
	Schweiß-eisen oder Flußstahl										
	Flußstahl Schweiß-eisen	DRB			$\lambda_{zul} = \begin{cases} 4500 \\ 4200 \end{cases}$	$\bar{\lambda}_{zul} = \begin{cases} 5100 \\ 4800 \end{cases}$	600	$\lambda_w + \lambda_s \geq 600$		(III) } <sup>7)</sup> (IV) } <sup>7)</sup>	(I) } <sup>8)</sup> (II) } <sup>8)</sup>

1) Je nachdem die Brücke vor oder nach Inkrafttreten der Verordnung vom 28. 8. 1904 erbaut worden ist.  
 2) In nur einer Richtung.  
 3) In mehreren Richtungen (auch für Anschlußniete der Fahrbahnträger).  
 4) Hierzu  $s_p$  auf der Zungenteilung k,  $\left. \begin{matrix} M \text{ bzw. St auf der Teilung k.} \\ M_T \text{ „ St}_T \text{ „ „ „ n.} \end{matrix} \right\}$   
 5) „  $s_p$  „ „ „ „ i,  $\left. \begin{matrix} M \text{ bzw. St auf der Teilung k.} \\ M_T \text{ „ St}_T \text{ „ „ „ n.} \end{matrix} \right\}$   
 6) „  $\Sigma$  „ „ „ „ k,  $\left. \begin{matrix} M \text{ bzw. St auf der Teilung k.} \\ M_T \text{ „ St}_T \text{ „ „ „ n.} \end{matrix} \right\}$   
 7) „  $s_p$  „ „ „ Teilung  $\Sigma$ ,  $\left. \begin{matrix} M \text{ bzw. St sowie } M_T \text{ bzw. St}_T \text{ sämtlich auf der Teilung } \left\{ \begin{matrix} M \\ St \end{matrix} \right.$   
 8) „  $\Sigma$  „ „ „ „  $\Sigma$ ,  $\left. \begin{matrix} M \text{ bzw. St sowie } M_T \text{ bzw. St}_T \text{ sämtlich auf der Teilung } \left\{ \begin{matrix} M \\ St \end{matrix} \right.$

## Z u s a m m e n -

Bei- spiel Nr.	Inan- spruch- nahme ab- hängig vom	Tragwerksteil und Art der Inanspruch- nahme	Zugrunde- gelegte Vorschrift und Belastungs- fall	Stützweite l bzw. Belastungs- länge l <sub>x</sub> bzw. Querträger- abstände a in m	Wagenlast je m und Länge von Lok. samt Tendern in m	Gegebene Rechnungs- werte der Verk.-Last: Biegemom. M bzw. Stützenmom. St in tm. Brückenlast Z Gewicht G von Lok. samt Tendern u. Quer- trägerlast Q in t	Bei Änderung der Verkehrslast		s <sub>w</sub> + s <sub>s</sub> ≥ Θ bzw. s <sub>w</sub> ≥ Θ
							unver- änder- liche	veränder- liche	
1	Biegemoment	Hauptträger, Gurt- Inanspruch- nahme	ÖBB (Brücke vor 1904 erbaut) AI 1a	l = 21,34	q = q' = 0, bzw. q mit G sich verhält- nisgleich ändernd ange- nommen	M = 171,1 Z = 134	σ <sub>g</sub> = 18g σ <sub>w</sub> = 129	σ <sub>p</sub> = 655 σ <sub>ö1</sub> = 42 σ <sub>s</sub> = 38 σ <sub>ös</sub> = 33 σ <sub>b</sub> = 15	σ <sub>w</sub> = 129 < 300, daher ψ und $\bar{\psi}$ zu ermitteln
2		Hauptträger, Gurtplatten- stoß, Leibungs- druck der Nieten	ÖBB (Brücke nach 1904 erbaut) AI 2a	l = 26,00	q' = 3,67 L' = 15,0 L = 18,0	M = 488 Z = 111 G = 72	σ <sub>g</sub> = 145 σ <sub>w</sub> = 76	σ <sub>p</sub> = 594 σ <sub>s</sub> = 32 σ <sub>ö1</sub> = 25 σ <sub>ös</sub> = 23 σ <sub>ö</sub> = σ <sub>ö1</sub> + σ <sub>ös</sub> = = 25 + 23 = 48 σ <sub>b</sub> = 14	Θ = = 400 - 21 = = 400 - 2 · 26 = = 348, 348 > 76 = σ <sub>w</sub> , daher ψ und $\bar{\psi}$ zu ermitteln
3		Hauptträger, Gurt- Inanspruch- nahme	DRB (Flußstahl) AI 2b	l = 78,00	q' = 4,0 L' = 30 L = 24	M = 4342 Z = 380 G = 240	σ <sub>g</sub> = 570 σ <sub>s</sub> = 137 σ <sub>w</sub> = 207	σ <sub>p</sub> = 706 σ <sub>b</sub> = 34	σ <sub>w</sub> + σ <sub>s</sub> = = 207 + 137 = = 344 > 200, daher nur $\bar{\psi}$ zu ermitteln
4		Querträger, Stegblech- beanspruchung	ÖBB (Brücke vor 1904 erbaut) A II 1a	Querträger- abstände a = 2,80 Brückenstütz- weite l = 22,00	q = q' = 0, bzw. q mit G sich verhält- nisgleich ändernd an- genommen	Q = 37,14 Für die Hilfsstützweite 2a = 2 · 2,80 = 5,60 M = $\frac{a}{2}Q = \frac{2,80}{2} \cdot 37,14 = 52,00$	τ <sub>g</sub> = 65 τ <sub>w</sub> = 32	τ <sub>p</sub> = 584 τ <sub>s</sub> = 58 > τ <sub>w</sub>	ψ und $\bar{\psi}$ zu ermitteln
5		Querträger, Biegungs- beanspruchung	DRB (Flußstahl) A II 2b	Querträger- abstände a = 4,00 Brückenstütz- weite l = 40,00	q' = 5 L' = 27 L = 30	Q = 55, G = 240, Brückenlast Z = 280 Für die Hilfsstützweite 2a = 2 · 4,0 = 8,0 M = $\frac{a}{2}Q = \frac{4,0}{2} \cdot 55 = 110$	σ <sub>g</sub> = 46 σ <sub>s</sub> = 40 σ <sub>w</sub> = 62	σ <sub>p</sub> = 870 σ <sub>b</sub> = 380	σ <sub>w</sub> + σ <sub>s</sub> = 62 + + 40 = 102 < 200, daher ψ und $\bar{\psi}$ zu ermitteln
6	Stützenmoment	Gitterträger, Leibungsdruck eines Streben- anschlusses	DRB (Flußstahl) BI 2a	l = 72,00 l <sub>x</sub> = 64,00	q' = 6,0 L' = 40	St = 22400 Z <sub>x</sub> = 470	λ <sub>g</sub> = 1260 λ <sub>w</sub> = 123	λ <sub>p</sub> = 2540 λ <sub>b</sub> = 145	

stellung IV.

Hilfsgrößen	$\Gamma$ und $\Sigma$ bzw. $\bar{\Gamma}$ und $\bar{\Sigma}$ sowie Hilfsgrößen	$\psi$ und $\bar{\psi}$ Tragfähigkeit $M_T$ bzw. $St_T$ in tm je Gleis
<p>Anmerkung: Der gleiche Rechnungsgang, wie in diesem Beispiel 1, unter eben solchen Voraussetzungen für <math>q</math> und <math>q'</math> gilt bei gegebenem <math>St</math> für die Ermittlung des Tragstützenmomentes <math>St_T</math>, wenn bei einem Fachwerkträger die Stab- bzw. Anschlußnietbeanspr. eines Füllungsstabes oder bei einem Vollwandträger die Stegblech- bzw. Gurtstiftbeanspr. der Rechnungslast zugrunde gelegt werden, worauf aber schließlich <math>St_T = \psi St</math> anstatt <math>M_T = \psi M</math>.</p> <p><math>\sigma_s + \sigma_{ös} = 38 + 33 = 71 &lt; \sigma_w = 129</math>, daher Winddruck anstatt Seitenschwankungen maßgebend</p>	<p>Lt. Gl. 2)  <math>\Gamma = \sigma_g = 183</math>  <math>\Sigma = \sigma_p + \sigma_{ö1} = 655 + 42 = 697</math>  <math>\bar{\Gamma} = \sigma_g + \sigma_w = 183 + 129 = 31</math>  <math>\bar{\Sigma} = \sigma_p + \sigma_b + \sigma_{ö1} = 655 + 15 + 42 = 712</math></p>	<p>Lt. Gl. 3)  <math>\psi = \frac{\sigma_{zul} - \Gamma}{\Sigma} = \frac{950 - 183}{697} = 1,100,</math>  <math>\bar{\psi} = \frac{\bar{\sigma}_{zul} - \bar{\Gamma}}{\bar{\Sigma}} = \frac{1250 - 31}{712} = 1,317</math>  <math>\psi &lt; \bar{\psi}</math>, daher <math>\psi</math> maßgebend.                  Lt. Gl. 4)  <math>M_T = \psi M = 1,100 \cdot 171,1 = 188,2</math></p>
<p>Lt. Gl. 16)  <math>\mu = \frac{M}{L' \sigma_p} = \frac{488}{15 \cdot 594} = 0,0548,</math>  <math>\nu = \frac{\sigma_s + \frac{L}{L'} \sigma_{\delta}}{G} = \frac{32 + \frac{18 \cdot 48}{25}}{72} = 1,25.</math>  <math>X = \left[ \frac{\sigma_{zul} - \sigma_g - \sigma_w}{q'} + (1 - L') \nu \right] \frac{\mu}{L'} =</math>  <math>= \left[ \frac{1200 - 145 - 76}{3,67} + (26 - 15) \cdot 1,25 \right] \frac{0,0548}{15} = 1,025</math>  <math>\Phi = \mu \left( \frac{\sigma_b}{Z} + \nu \right) = 0,0548 \left( \frac{14}{111} + 1,25 \right) = 0,0754</math>                  Lt. Abb. 3) Taf. 1 mit <math>l_0 = \frac{1}{L'} = \frac{26}{15} = 1,73 \dots M_0 = 0,780</math></p>	<p>Lt. Gl. 2)  <math>\Gamma = \sigma_g = 145</math>  <math>\Sigma = \sigma_p = 594</math></p>	<p>Lt. Gl. 3) und 4)  <math>M_T = \psi M = \frac{\sigma_{zul} - \Gamma}{\Sigma} M = \frac{950 - 145}{594} \cdot 488 = 666.</math>                  Lt. Gl. 18)  <math>\bar{M}_T = L'^2 M_0 q' = 15^2 \cdot 0,780 \cdot 3,67 = 644</math>                  maßgebend.</p>
<p>Lt. Gl. 23) <math>c = \left( \frac{\sigma_b}{Z} + \frac{L \sigma_{\delta}}{L' G} \right) \frac{1}{21 - L'} =</math>  <math>= \left( \frac{34}{380} + 0 \right) \frac{1}{2,78 - 30} = 0,00071.</math>                  Lt. Gl. 24) <math>C_g = q' (1 - L') \left[ \frac{\sigma_b}{2Z} - c (1 - L') \right] =</math>  <math>= 4 (78 - 30) \left[ \frac{34}{2 \cdot 380} - 0,00071 (78 - 30) \right] = 2</math>  <math>C_p = 8 c M = 8 \cdot 0,00071 \cdot 4342 = 25</math></p>	<p>Lt. Gl. 25)  <math>\bar{\Gamma} = \sigma_g + \sigma_s + \sigma_w + C_g = 570 + 137 + 207 + 2 = 916</math>  <math>\bar{\Sigma} = \sigma_p + C_p = 706 + 25 = 731</math></p>	<p>Lt. Gl. 3) und 4)  <math>\bar{M}_T = \bar{\psi} M = \frac{\bar{\sigma}_{zul} - \bar{\Gamma}}{\bar{\Sigma}} M = \frac{1700 - 916}{731} \cdot 4342 = 4656</math></p>
<p>Lt. Gl. 29') <math>c = \frac{\sigma_b}{Z} = \frac{380}{280} = 1,356</math>  <math>C_g = \frac{c q'}{2} (1 - L') = 1,356 \cdot \frac{5}{2} (40 - 27) = 44</math>  <math>C_p = c G \frac{L'}{L} = 1,356 \cdot 240 \cdot \frac{27}{30} = 293</math></p>	<p>Lt. Gl. 27)  <math>\Gamma = \tau_g = 65</math>  <math>\Sigma = \tau_p = 584</math>  <math>\bar{\Gamma} = \tau_g = 65</math>  <math>\bar{\Sigma} = \tau_p + \tau_s = 584 + 58 = 642</math></p>	<p>Lt. Gl. 3)  <math>\psi = \frac{\tau_{zul} - \Gamma}{\Sigma} = \frac{700 - 65}{584} = 1,087,</math>  <math>\bar{\psi} = \frac{\bar{\tau}_{zul} - \bar{\Gamma}}{\bar{\Sigma}} = \frac{800 - 65}{642} = 1,145 &gt; \psi.</math>                  Lt. Gl. 4)  <math>M_T = \psi M = 1,087 \cdot 52,00 = 56,50</math></p>
<p>Lt. Gl. 29') <math>c = \frac{\sigma_b}{Z} = \frac{380}{280} = 1,356</math>  <math>C_g = \frac{c q'}{2} (1 - L') = 1,356 \cdot \frac{5}{2} (40 - 27) = 44</math>  <math>C_p = c G \frac{L'}{L} = 1,356 \cdot 240 \cdot \frac{27}{30} = 293</math></p>	<p>Lt. Gl. 29')  <math>\Gamma = \sigma_g = 46. \quad \Sigma = \sigma_p = 870</math>  <math>\bar{\Gamma} = \sigma_g + \sigma_s + \sigma_w + C_g = 46 + 40 + 62 + 44 = 192</math>  <math>\bar{\Sigma} = \sigma_p + C_p = 870 + 293 = 1163</math></p>	<p>Lt. Gl. 3)  <math>\psi = \frac{\sigma_{zul} - \Gamma}{\Sigma} = \frac{1500 - 46}{870} = 1,671,</math>  <math>\bar{\psi} = \frac{\bar{\sigma}_{zul} - \bar{\Gamma}}{\bar{\Sigma}} = \frac{1700 - 192}{1163} = 1,27.</math>                  Lt. Gl. 4)  <math>\bar{M}_T = \bar{\psi} M = 1,297 \cdot 110 = 142,7</math></p>
<p>Lt. Abb. 5) und Gl. 37)  <math>u = 1 - \frac{L'}{2} = 72 - \frac{40}{2} = 52, z = 1 - L' = 72 - 40 = 32</math>  <math>u_x = 1_x - \frac{L'}{2} = 64 - \frac{40}{2} = 44, z_x = 1_x - L' = 64 - 40 = 24.</math>                  Lt. Gl. 42) bzw. 40*)  <math>\alpha = \frac{\lambda_p}{St_x} = \frac{2540}{22400} = 0,1134,</math>  <math>\beta = \frac{\lambda_b}{Z_x} = \frac{145}{470} = 0,308, c = 0,5</math></p>	<p>Lt. Gl. 43)                  Für <math>St_T</math> mit <math>\beta = 0</math>  <math>C = \frac{\mu}{\alpha u_x} = \frac{52}{0,1134 \cdot 44} = 10,42.</math>                  Für <math>\bar{St}_T</math>  <math>\bar{C} = \frac{\mu}{\alpha u_x + \beta} = \frac{52}{0,1134 \cdot 44 + 0,308} = 9,82</math></p>	<p>Lt. Gl. 44)  <math>St_T = C \left[ \lambda_{zul} - \lambda_g - q' \frac{\alpha z_x^2}{2} \right] + \frac{q'}{2} z^2 =</math>  <math>= 10,42 \left[ 4500 - 1260 - 6 \cdot 0,1134 \frac{24^2}{2} \right] + \frac{6}{2} 32^2 = 34775.</math>                  Lt. Gl. 44)  <math>\bar{St}_T = \bar{C} \left[ \bar{\lambda}_{zul} - \lambda_g - \lambda_w - q' z_x \left( \frac{\alpha z_x}{2} + c \beta \right) \right] + \frac{q'}{2} z^2 =</math>  <math>= 9,82 \left[ 5100 - 1260 - 123 - 6 \cdot 24 \left( 0,1134 \frac{24}{2} + 0,5 \cdot 0,308 \right) \right] + 6 \frac{32^2}{2} = 37440 &gt; St_T</math></p>

wird, ein einfaches Näherungsverfahren angewendet werden, welches gestattet, auch ohne Einzelausweis von  $s_g$  und  $s_p$  rechnerisch zum Ziele zu gelangen. In Abb. 8 bedeutet  $OB = s$ , die Inanspruchnahme unter der Rechnungslast einschließlich der bleibenden Last und  $O(C) = s_{zul}$ , die zulässige Beanspruchung\*). Sind  $M_g$  und  $M$  die Momente infolge bleibender Last bzw. Rechnungslast

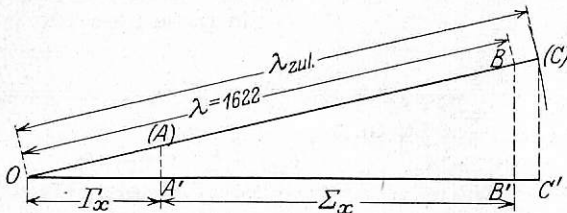


Abb. 9.

bezüglich Trägermitte und ist  $M_w$  das größte Moment infolge lotrechter Einwirkung des Winddrucks, so läßt es sich nachweisen, daß mit

$$58) \dots \mu = \frac{M_g + M_w}{M} \quad \text{und} \quad \nu = \frac{s_{zul}}{s}$$

$$59) \dots M_T = [\nu(\mu + 1) - \mu] M$$

als Tragfähigkeit annäherungsweise bestimmt ist.

### D. Die maßgebende Tragfähigkeit.

In den vorstehenden Untersuchungen wurden stets sämtliche Belastungen, das ist bleibende Last, Verkehrslast, Wind- und Zusatzlasten, also die Gesamtbelastung für die Tragfähigkeit, sie sei Gesamttragfähigkeit genannt, in Rechnung gestellt.

Zur Beurteilung der Wirkung der aus bleibender und Verkehrslast (gegebenenfalls einschließlich der Fliehkraft) bestehenden Hauptbelastung hinsichtlich der Tragfähigkeit, d. i. die Haupttragfähigkeit, ist in den obigen Ergebnissen  $s_s = s_w = s_g = 0$  zu setzen und allenfalls in  $s_3$  mit der Sonderbezeichnung  $s_{s1}$  der Beitrag von den Seitenschwankungen auszuschalten.

Bedeutet für die am häufigsten vorkommende Form der Tragfähigkeit  $\bar{M}_T = \psi M$  bzw.  $\bar{St}_T = \psi St$  die Haupttragfähigkeit und  $\bar{M}_T = \bar{\psi} M$  bzw.  $\bar{St}_T = \bar{\psi} St$  die Gesamttragfähigkeit, so ist letztere maßgebend, wenn  $\psi > \bar{\psi}$  ist. In den Fällen A I 1a und b, A II 1a und b wie B I 1 läßt schon die Vergleichung der Zähler genannter Ausdrücke dies erkennen, wenn bei Unterscheidung von  $s_{zul}$  und  $\bar{s}_{zul}$  bzw.  $l$  und  $\bar{l}$  sowie  $\Sigma$  und  $\bar{\Sigma}$  für die Haupt- und die Gesamtbelastung mit

$$60) \dots s_{zul} - \bar{s}_{zul} = \Theta^{**})$$

$$61) \dots \Theta \leq s_w \text{ bzw. } \Theta \leq s_w + s_s.$$

Hierbei wird vorausgesetzt, daß  $s_w$  ohne  $s_s$  bzw.  $s_w$  und  $s_s$  in Rechnung gestellt erscheint.

In den übrigen Fällen ist es nötig, wenn nicht geringe Größen von  $s_s$ ,  $s_3$ ,  $s_w$  und  $s_b$  die Haupttragfähigkeit als allein maßgebend erkennen lassen, beide Tragfähigkeiten bzw.  $\psi$  und  $\bar{\psi}$  zu ermitteln, um dann den kleineren Wert beizubehalten.

### E. Anwendungen und Beispiele.

Ist für einen Tragwerksteil — gewählt wird ein solcher, der durch eine verhältnismäßig hohe Inanspruchnahme gekennzeichnet ist — die Tragfähigkeit der Brücke zu ermitteln, so wird

\*) Diese sind entweder Leibungsdrücke  $\lambda$  oder Scherbeanspruchungen  $\tau$  von Nieten bzw. Schweißnahtbeanspruchungen  $\varrho$ .

\*\*) Hierzu eine Zusammenstellung III für  $\Theta$  unter Zugrundelegung der bezüglichen Vorschriften.

aus der vorliegenden Festigkeitsberechnung derselben — je nachdem das Biegemoment oder die Querkraft für das behandelte Brückenglied maßgebend ist — das größte, für die Brücke überhaupt gültige Bieigungs- bzw. Stützenmoment je Gleis festgestellt und werden auch daraus die für das Glied gefundenen gegebenen Inanspruchnahmen (man vergl. die besonderen Bezeichnungen der Zusammenstellung I) entnommen.

Für die in der überwiegenden Mehrheit der Fälle maßgebende Haupttragfähigkeit läßt sich zur Vereinfachung der Untersuchung ein nachstehend angegebener Nomogramm-Rechenschieber\*) (Abb. 2, Taf. 1) bzw. ein Nomogramm (Abb. 3, Taf. 1)\*\*) verwenden. In dem im oberen Teile desselben angeordneten Liniennetz entspricht laut Zusammenstellung III jeder Art, der Inanspruchnahme, z. B. in Abb. 2, eine besondere Waagerechte a bis h, auf welcher der Teilungspunkt\*\*\*)  $s_g$  mit dem Läuferstrich bedeckt wird. Unter diesen wird der Strich\*\*\*)  $s_p$  der Zungenteilung k bzw. i geschoben und liegt dann bereits dem Zungenteilstrich\*\*\*) M (bzw. St), der Teilung k, — d. i. die Maßzahl des Bieigungs- bzw. Stützenmomentes der Rechnungslast — der mit der Maßzahl der **Tragfähigkeit** bezeichnete Teilstrich\*\*\*)  $M_T$  (bzw.  $St_T$ ) auf der Skala n gegenüber †).

In Ermangelung eines solchen Rechenschiebers kann das auf diesem sonst darzustellende Nomogramm, z. B. Abb. 3, für sich mittels eines Papierstreifens verwendet werden, den man an die im Abbildungsvermerke genannte Waagerechte anlegt und beim Punkt  $s_g$  bzw. dem Schnittpunkt mit einer beliebigen Y-Achse mit Marken ( $s_g$ ) und (Y) versieht. Nun legt man diesen Streifen an die Teilung  $\Sigma$ , so zwar, daß (Y) in die Y-Achse fällt, worauf beim Teilpunkt  $s_p$  die ( $s_p$ )-Marke verzeichnet wird. Schließlich bringt man den Streifen an die Teilung M bzw. St derart, daß ( $s_p$ ) an den Teilstrich M bzw. St zu liegen kommt, worauf bereits bei der Marke ( $s_g$ ) die Tragfähigkeit  $M_T$  bzw.  $St_T$  abgelesen

werden kann. Liegt ( $s_p$ )  $\frac{\text{links}}{\text{rechts}}$  von ( $s_g$ ), so ist die Tragfähigkeit  $\frac{\text{größer}}{\text{kleiner}}$  als das Rechnungsmoment.

Auch ohne Nomogramm kann die Ermittlung der Haupttragfähigkeit durchgeführt werden, wenn man eigens die Differenz  $\Delta = s_{zul} - l$  bildet und hiermit  $M_T = \frac{\Delta}{\Sigma} M$  bzw.  $St_T = \frac{\Delta}{\Sigma} St$  berechnet. (Man vergl. Zusammenstellung IV.) Letztere einfache Regel gilt desgleichen meistens für die Bestimmung der Gesamttragfähigkeit, die demnach auch mittels Rechenschiebers bzw. des Nomogramm-Rechenschiebers††) behandelt werden kann. Aber auch für die Ausnahmefälle A I 2a, B I 2, B II sowie C gelten nach dem Vorgebrachten einfache Beziehungen; deren Anwendung, wie jene der vorgenannten Regel, aus den in Zusammenstellung IV dargelegten Rechnungsbeispielen zu entnehmen ist.

Wien, im April 1932.

\*) Dieser unter Zugrundelegung der Vorschriften für die Ö.B.B. hergestellte Rechenschieber läßt sich noch durch eine Reihe von häufig zu verwendenden Teilungen für Berechnungen von Eisenbahnbrücken ergänzen, worüber noch ein anderer Aufsatz handeln soll.

\*\*) Hergestellt unter Zugrundelegung der Vorschrift der D.R.B. für die zulässigen Inanspruchnahmen nachzurechnender Flußstahl(Schweißeisen-)brücken (Zusammenstellung III).

\*\*\*) Mit der betreffenden Maßzahl beschrieben oder beschrieben gedacht (allenfalls zwischengeschaltet).

†) Einstweilig ohne Berücksichtigung des Stellenwertes. Liegt ausnahmsweise der Zungenteilstrich M (St) außerhalb des Bereiches der festen Teilung, so ist die eine mit einem Pfeil versehene Zungenmarke mit dem Läuferstrich zu decken, die andere gleichartige Zungenmarke in den Läuferstrich einzuschieben und hierauf, wie im gewöhnlichen Falle, gegenüber der Zungenzahl M (St) die Tragfähigkeit  $M_T$  ( $St_T$ ) abzulesen.

††) Läuferstrich auf Punkt  $\Delta$  der Teilung n gebracht, in diesen den Punkt  $\Sigma$  der Zungenteilung k geschoben und gegenüber dem Punkt M bzw. St der Zungenteilung k den Wert  $M_T$  bzw.  $St_T$  der Teilung n abgelesen.



## Kraftbetriebene Kleinfahrzeuge des Bahnerhaltungsdienstes bei den Österreichischen Bundesbahnen.

Von Ingenieur Fritz Hromatka, Hofrat a. D., Wien.

### Einführung.

In dieser Zeitschrift\*) wurde bereits über die Erfahrungen mit kraftbetriebenen Bahnerhaltungs-Kleinfahrzeugen bei den Österreichischen Bundesbahnen berichtet, die erstmalig 1926 in größerer Zahl eingestellt wurden. Im nachfolgenden sollen die in der Zwischenzeit durchgeführten Verbesserungen, die Vergrößerung des Anwendungsgebietes und die Ergebnisse des Betriebes mitgeteilt werden.

Vorweg sei das Ergebnis unserer nunmehr sechsjährigen Erfahrung wie folgt zusammengefaßt:

1. Die bei diesen Fahrzeugen durchwegs verwendeten luftgekühlten Austro-Daimler-Spezialmotoren haben sich bestens bewährt; auch in dem außergewöhnlich kalten Winter 1928/29, selbst in den höchsten Gebirgslagen traten keinerlei Schwierigkeiten auf.

2. Die kräftige Bauart der Motoren und Fahrzeuge hält die jährlichen Erhaltungskosten in vertretbaren Grenzen.

### Kleindraisen.

Die für den Aufsichtsdienst der Bahn- und Signalmeister bisher gebräuchlichen kraftbetriebenen Räder waren Fahrzeuge

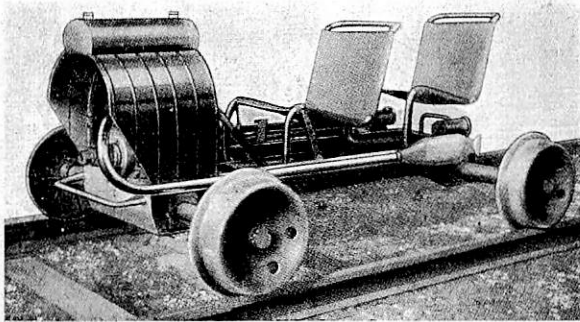


Abb. 1. Kleindraisine DVP für zwei Mann.

nach der Art der Straßenfahrräder, der Aufsichtsbeamte saß im Reitsitz. Das Streben, die Aufsichtsbezirke immer mehr zu vergrößern, machte es notwendig, den Bahnmeistereien Räder anderer Bauart zur Verfügung zu stellen, bei denen der unangenehme Reitsitz vermieden ist und die Möglichkeit besteht, zwei Personen zu befördern. Nach langwierigen Versuchen und in steter Fühlungnahme mit der Erzeugerfirma haben die Österreichischen Bundesbahnen sich nunmehr entschlossen, eine Kleindraisine, Bauart DVP für diesen Zweck einzustellen, bei der gleichfalls grundsätzlich ein luftgekühlter Motor verwendet wird. Die Sitze für den Fahrer und seinen Begleiter sind als federnde Stahlrohrsessel ausgebildet (Abb. 1 bis 3).

Als Antriebsmaschine wird ein Einzylindermotor verwendet, der mit dem Dreiganggetriebe in einem Block zusammengebaut ist. Dieser Motor, der als „Puchmotor“ Welt-ruf genießt, arbeitet im Zweitaktverfahren mit Doppelkolben aus Leichtmetall auf einer gemeinsamen Pleuelstange, wodurch die Vorteile des Zwei- und Viertaktsystems in günstiger Weise vereint wurden. Der Zylinder hat 45 mm Bohrung, 78 mm Hub. Die Zylinder sind mit Steuerschlitzöffnungen ausgerüstet, welche die Tourenzahl mit 2500 in der Minute begrenzen. Die Leistung wird durch einen Gasfußhebel geregelt. Sämtliche Triebwerksteile laufen auf Rollenlagern.

Bei dem Dreiganggetriebe wird das Einschalten der Gänge durchwegs mit Klauen besorgt. Die Zahnräder aus Chromnickelstahl sind gehärtet und geschliffen und arbeiten in einem Ölbad. Die Gesamtübersetzungen betragen für den ersten Gang 15,73:1, für den zweiten Gang 7,69:1, für den dritten 5,16:1. Die an das Getriebe angeschlossene Kupplung ist handbetätigt, wodurch das Fahrgefühl erhöht wird. Sie besitzt eine einfache Nachstellvorrichtung.

Das Fahrgestell besteht aus zwei blechgepreßten Rahmenlängsträgern, die durch Querträger und Querrohre versteift werden. Die federnden Stahlrohrsessel sind mit wetterfester Sitzbespannung versehen. Die vorgesehene Handbremse wirkt

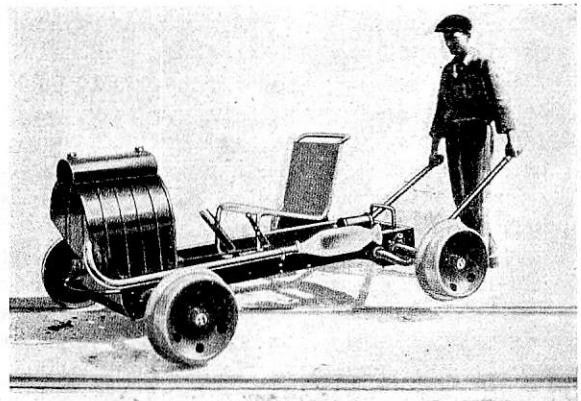


Abb. 2. Kleindraisine DVP beim Ausrollen aus dem Gleis.

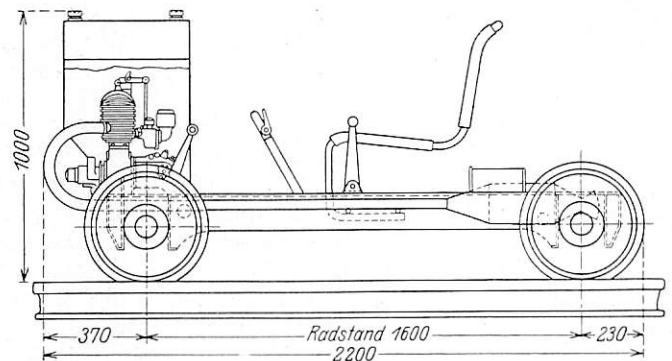


Abb. 3. Kleindraisine DVP in Ansicht.

auf beide Achsen, ist leicht nachstellbar und so eingestellt, daß die Hinterachse schon mit etwas größerer Kraft gebremst wird, ehe die Vorderachse Bremsdruck erhält. Der Handbremshebel ist mit Hilfe eines Zahnsegmentes und einer Sperrklinke feststellbar. Die Bremsstrommeln und Bremsbänder sind frei zugänglich, Benzin und Ölbehälter sind auf der Motorhaube angebracht. Zur leichteren Übersicht ist die Benzineinfüllstelle in schwarzer Farbe, der Ölbehälterverschluss, sowie alle Schmierstellen in roter Farbe gehalten. Der Benzinbehälter hat rund 10 Liter Inhalt, der Ölbehälter ungefähr 1½ Liter.

Das Betriebsgewicht der Draisine beträgt 235 kg. Infolge der günstigen Gewichtsverteilung gestaltet sich ein Ausheben der Draisine sehr einfach; es werden zu diesem Zwecke zwei Aushebestangen mitgeführt, die in zwei vor der Hinterachse angebrachten Öffnungen im Rahmen eingeschoben werden können, worauf die Draisine nach Art eines Schubkarrens aus dem Gleis gehoben werden kann (Abb. 2).

Die Draisine entwickelt in der Ebene vollbesetzt eine Höchstgeschwindigkeit von 45 km/Std. Sie kann Steigungen

\*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1930, Heft 2. Die Entwicklung der Bahnerhaltungskleinwagen bei den Österreichischen Bundesbahnen von Zentralinspektor Ing. Joseph Beier.

von 28<sup>0</sup>/<sub>00</sub> noch mit der dritten Geschwindigkeitsstufe bewältigen und gestattet mit der zweiten alle auf Vollbahnen vorkommende Steigungen zu befahren. Die erste Geschwindigkeit dient zum Anfahren.

#### Vollbahndraisinen.

Die mit einem 12 PS-Motor angetriebenen Vollbahndraisinen Bauart D III wurden gegenüber der eingangs angeführten Veröffentlichung nicht grundlegend geändert. Auf Grund der Erfahrungen im Betriebe wurde nur der ursprünglich verwendete Gummikeilriemen des Ventilatorantriebs durch einen endlos gewebte und, um jede Dehnung zu verhindern, besonders behandelte Hanfgurt ersetzt. Jede in die Hauptuntersuchung gehende Draisine wurde ferner mit einem Geschwindigkeitsmesser und mit einer Bosch-Beleuchtung ausgerüstet. Von den anfangs verwendeten Speichenrädern sind wir vollständig abgegangen und verwenden jetzt nur mehr Vollschleibenräder, deren Einzelteile mittelst Nietung und Elektroschweißung miteinander verbunden sind.

Der Einbau des Geschwindigkeitsmessers ist nicht allein notwendig, um den Fahrer zur Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeit zu veranlassen, sondern auch um aus der Anzahl der gefahrenen Kilometer den Verbrauch an Betriebsstoffen ermitteln zu können und so die Fahrer zur größten Sparsamkeit anzuhalten.

Die große Zahl von Tunneln und die Notwendigkeit, nach den Besichtigungsfahrten in den Abend- und Nachtstunden die Draisine in die Heimatbahnhöfe zu befördern, erfordert bei der großen Anzahl nicht abgeschrankter Wegübersetzungen eine einwandfreie Beleuchtung, als welche nur die Bosch-Beleuchtung angesprochen werden kann.

Da für Besichtigungsfahrten nicht immer ein Fahrzeug für sieben Personen erforderlich ist, haben die Österreichischen Bundesbahnen ein Fahrzeug für fünf Personen einschließlich des Fahrers in Auftrag gegeben, das sich nicht allein im Einkauf, sondern auch im Betrieb billiger stellt als die große Kommissionsdraisine. Die ersten Draisinen dieser Bauart D IV wurden mit einem Feldbahnmotoraggregat 6/8 PS ausgerüstet. Es hat sich jedoch gezeigt, daß bei geringen Mehrkosten größere Freizügigkeit durch den Einbau eines 12 PS-Motors erreicht werden kann, so daß von nun an die Draisinen dieser Bauart mit 12 PS-Motoren geliefert werden. Der Vollständigkeit halber sei angeführt, daß die 6/8 PS-Motoren bei 80 mm Bohrung und 115 mm Kolbenhub von 6 PS bei 1000 und 8 PS bei 1400 Umdrehungen in der Minute geben und gleichfalls ein Geschwindigkeitsgetriebe für drei Vorwärts- und Rückwärtsgänge besitzen.

Bei dieser Draisine ist die Überschreitung der Umdrehungszahl von 1200 durch einen eingebauten Fliehkraftregler unmöglich gemacht. Gegenüber der Bauart D III ist sie mit einem offenen Blechaufsatz ausgestattet, der Platz für vier Personen, einem Fahrer und entsprechendes Gepäck sowie Werkzeug bietet. Der Fahrersitz kann nach der Fahrtrichtung umgeklappt werden, die übrigen Sitze sind für beide Fahrtrichtungen gleichartig gestaltet, so daß der Begriff vor- oder rückwärts auch für dieses Fahrzeug nicht besteht (Abb. 4).

Der Kastenaufsatz hat keine Türen, so daß die Zugänglichkeit durch den sehr niedrigen Einstieg einfach und bequem ist. Die Bremsung erfolgt durch Bremsbacken gegen jedes der Laufräder und zwar durch Betätigung eines Fußhebels für die eine Achse und Betätigung eines feststellbaren Handhebels für die andere. Der Wagenführer hat in beiden Fahrtrichtungen den Handhebel gegen sich zu ziehen. Die Draisine ist mit 12 PS-Motoren ausgerüstet und entwickelt in der Ebene eine Stundengeschwindigkeit von 60 km. Das Leergewicht beträgt 1200 kg. Die Schwerpunktlage ist sehr tief und verleiht dem Fahrzeug größte Fahrstabilität.

Die übrigen Einzelheiten entsprechen der schon früher beschriebenen Draisine Bauart D III.

#### Bahnmeisterwagen.

Die Bahnmeisterwagen 12 PS Bauart BM 12 A haben gegenüber der in „Organ“ 1930 beschriebenen Ausführung nur geringfügige Änderungen erfahren. Der Ventilatorkeilriemen wurde auch hier durch einen endlos gewebten Hanfgurt ersetzt. Der Einbau von Geschwindigkeitsmessern bei allen Wagen wird nach und nach durchgeführt. Die Anbringung von Seitenwänden aus Cellon oder eines Daches wurde (mit Rücksicht auf die notwendige freie Übersicht, die der Fahrer haben muß, grundsätzlich untersagt. Falls der Motorwagen zum Ziehen von Anhängern verwendet werden soll, muß derselbe mit dem nächsten Bahnwagen und diese wieder untereinander durch eine Steifkuppel verbunden sein. Diese besteht im wesentlichen aus einer Stange aus Eschen- oder Eichenholz mit kräftigem durchgehendem Eisenbeschlag. Der allmähliche Umbau aller Bahnwagen auf gleiche Höhe mit dem Motorbahnwagen wird anlässlich der vorgeschriebenen Hauptuntersuchungen durchgeführt, da Bahnwagen verschiedener Höhe nicht zu einem Zuge vereinigt werden können. Bei allen Arbeiten, die zum

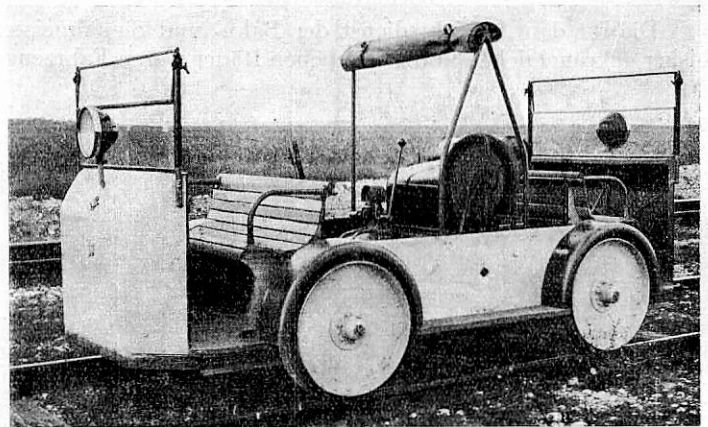


Abb. 4. Draisine Bauart D IV für vier Personen und einen Führer.

täglichen Brot der Bahnmeistereien gehören, haben sich diese Bahnwagen derart gut bewährt, daß heute eine Dienstabwicklung ohne sie fast nicht mehr denkbar ist. Die rasche Beförderungsmöglichkeit von Baustoffen aller Art hat ganz naturgemäß eine Verringerung der Lagervorräte mit sich gebracht, da es eben möglich ist, selbst auf große Entfernungen einen erforderlichen Baustoff auf die einfachste Weise und in der kürzesten Zeit heranzubringen.

Der Bahnmeisterwagen 30 PS Bauart BM 30, der im Jahre 1930 probeweise eingeführt wurde, hat bis zu einem gewissen Grade eine Umwälzung in der bisherigen Art und Weise der Streckenbedienung mit sich gebracht. Während der 12 PS-Wagen zum Verführen von Baustoffen vom Lager auf die Strecke oder umgekehrt verwendet wird, mußten bisher Baustoffe, die in ganzen Wagenladungen eintrafen, entweder abgeladen und mit einem 12 PS-Wagen verführt werden, oder es mußte mit einem eigenen Bauzug, nach bestimmter Fahrordnung, auf die Strecke gefahren werden. Der BM 30 ist nun, wie aus den Leistungsdaten entnommen werden kann, geeignet, mehrere Wagen zu ziehen. Es war so möglich, die teuren Zusanforderungen zum größten Teil zu vermeiden, die Anzahl der zu entladenden Wagen nach der zur Verfügung stehenden Arbeiterzahl zu bemessen und jede sich ergebende Zugpause auszunützen. In Zukunft sollen für unsere großen Rampenstrecken auch Bahnmeisterwagen mit 45 PS eingestellt werden.

Leistungsdaten: 30 PS									Leistungsdaten: 45 PS									
Fahr- stufe	km/Std.	Zug- kraft am Haken kg	Brutto-Anhängelasten in Tonnen bei einem Zugwiderstand von 8 kg/t auf geraden Steigungen pro mille						Fahr- stufe	km/Std.	Zug- kraft am Haken kg	Brutto-Anhängelasten in Tonnen bei einem Zugwiderstand von 8 kg/t auf geraden Steigungen pro mille						
			0	5	10	20	25	30				0	5	10	15	20	25	30
I	6,3	930	116	70	49	30	25	21	I	7,0	1265	158	95	68	52	42	35	30
II	12,4	450	56	33	23	13	11	9	II	12,8	675	84	50	35	26	21	17	14
III	22	240	30	17	11	6	4	—	III	23,0	360	45	26	17	13	9,5	7,5	6
IV	36,8	130	21	8,5	5	—	—	—	IV	38,3	200	25	13,5	8,5	5,5	4	2,5	1

Gewicht des Fahrzeugs: 4000 kg.

Gewicht des Fahrzeugs: 5000 kg.

Es ist beabsichtigt, versuchsweise an Stelle des 12 PS-Motors einen luftgekühlten Austro-Daimler-Motor, Bauart FBD 16 bei den Bahnmeisterwagen der leichten Bauart zu verwenden, wobei außer einer beträchtlichen Ersparnis an Betriebsstoffen noch erreicht wird, daß ein stärkerer Motor, der auch gegen Überlastungen unempfindlich ist, zur Verfügung stehen würde, da der Rohölmotor im Bedarfsfalle auch mit 20 PS bei 1500 Umdrehungen in der Minute beansprucht werden kann.

Der Rohölmotor arbeitet im Viertakt, hat eine Bohrung von 90 mm und einen Hub von 120 mm, das Gewicht beträgt 550 kg, der Brennstoffverbrauch 220 g/PS/h des handelsüblichen Gasöls.

Beim Verführen von Baustoffen auf die Strecke werden an einen Bahnmeisterwagen Bauart BM 12 je nach Erfordernis drei bis fünf Anhänger angehängt, von denen nach den Vorschriften der Österreichischen Bundesbahnen bei Fahrten in Steigungen bis  $10^0/00$  für die Betätigung je einer Bremse, bei Fahrten in Steigungen über  $10^0/00$  für die Betätigung beider Bremsen jedes Anhängers vorgesorgt sein muß. Alle Bahnwagen werden ohne Rücksicht auf die Steigung mit einer Druck- und einer Spindelbremse versehen. Außer dem Motorführer fährt also auf jedem Anhänger ein Bremser mit, bei größeren Steigungen sogar zwei. Wenn auch diese Bremser vielfach aus dem Grunde notwendig sind, um auf der Strecke Verladearbeiten durchführen zu können, so gibt doch diese Art von Bremsung insofern zu Bedenken Anlaß, als es nur sehr gut eingearbeiteten Begleitergruppen gelingt, den Zug so zu bremsen, daß die Bremsung vom letzten Wagen gegen den Anfang fortschreitet, um ein Aufsteigen der rückwärtigen Wagen auf die vorderen zu vermeiden. Die ersten Bahnwagenzüge haben denn auch infolge unrichtiger Bremsung zu Unfällen, Verletzung der Mitfahrenden, ja sogar zur Tötung eines Begleitmannes geführt. Dieser Umstand hat den Verfasser veranlaßt, eine Bauart vorzuschlagen, bei der die Bremsung des ganzen Zuges vom kraftbetriebenen Bahnwagen aus durch den Motorführer bewirkt wird und zwar so, daß zuerst der letzte Wagen angebremst wird, dann der vorletzte usw., bis schließlich die Bremsung auf den Bahnmeisterwagen selbst einwirkt. Jeder Anhänger hat aber seine eigene Bremsvorrichtung, die es gestattet, daß dieser Anhänger auch losgelöst von dem Zuge verwendet und gebremst werden kann; im Zuge wirkt sie auf das durchgehende Bremsgestänge und setzt selbsttätig die Bremse auf dem kraftbetriebenen Bahnmeisterwagen in Tätigkeit. Bei dieser Art der Bremsung ist es nicht notwendig, daß jeder Bahnwagen mit einem Bremser besetzt wird, die Vorschriften der Österreichischen Bundesbahnen verfügen vielmehr, daß bei einem solchen Bahnwagenzug mit durchgehender Bremsung bis  $10^0/00$  außer dem Motorführer noch ein Mann auf dem ersten Anhänger Platz zu nehmen hat, während bei Fahrten in Steigungen über  $10^0/00$  noch ein weiterer Mann den letzten Anhänger besetzen muß. Die Kuppelstangen

zwischen dem ersten Wagen und den einzelnen Anhängern sind 1 m lang; durch ihre Verdrehung wird die Bremsrichtung betätigt. Die Anhänger haben eine Ladefläche von 2280 . 1880 mm, eine Tragfähigkeit von 5000 kg und ein Eigengewicht von 550 kg (Abb. 5 bis 7).

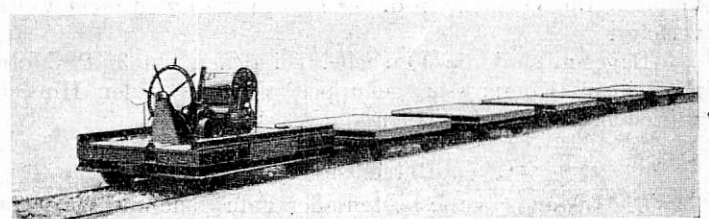


Abb. 5. Bahnwagenzug mit durchgehender Bremse.

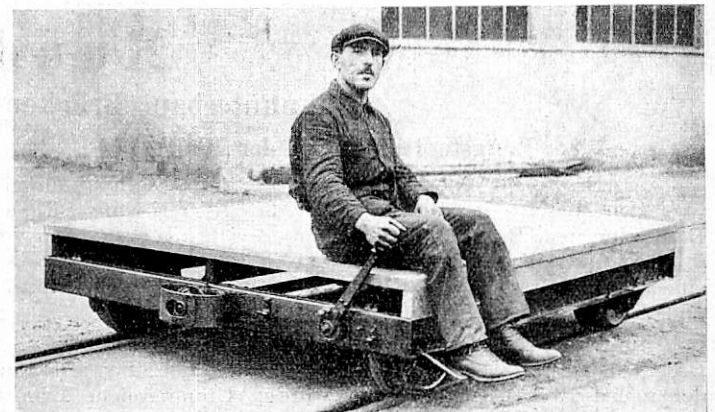


Abb. 6. Bahnwagen des Bahnwagenzugs, allein.

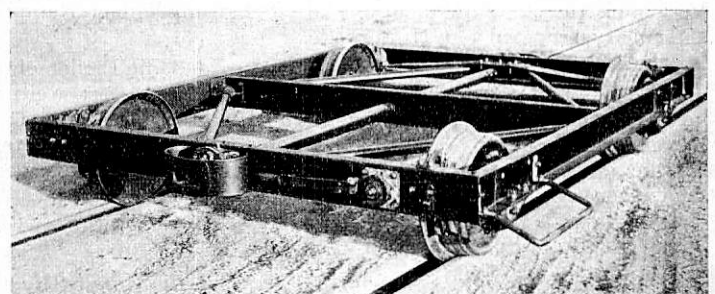


Abb. 7. Bahnwagen des Bahnwagenzugs, abgedeckt.

#### Sonderausführungen von Bahnmeisterwagen.

Das Vorhandensein einer Kraftquelle führt selbstverständlich zu dem Wunsche, sie auch während des Stillstandes des Fahrzeugs auszunutzen, z. B. für Arbeiten im Gleise. Dies kann auf zweierlei Arten geschehen, entweder indem diese Kraftquelle zur Erzeugung von Gleichstrom verwendet und

mit diesem eine Reihe von Arbeitsmaschinen angetrieben wird oder aber, daß der Motor mit einem Kompressor gekuppelt wird und die einzelnen Arbeitsmaschinen pneumatisch betätigt werden. Die Österreichischen Bundesbahnen haben Versuche in beiden Richtungen vorgenommen. Schon in der eingangs erwähnten Veröffentlichung ist die Anordnung angegeben, bei welcher eine 10 kW Gleichstromdynamomaschine vom Fahrzeugmotor angetrieben wird. Diese fahrbare Zentrale erzeugt 220 Volt Gleichstrom, der für die Beleuchtung der Arbeitsstelle, zum Antrieb von elektrischen Bohrmaschinen, Kaltsägen usw. verwendet werden kann. Die Beleuchtung ist einwandfrei, von dieser Zentrale aus werden fünf Stück Scheinwerfer mit je sechs Stück Glühlampen 220 Volt 40 Watt betrieben. Die Verwendung von Bohrmaschinen, Ein- und Ausdrehmaschinen oder Schienensägen kommt seltener vor, die Verwendung von Stopfern, die Herstellung von Bohrlöchern bei Felsstürzen u. dergl. war mit dieser Anordnung sogar nur schwer möglich, so daß das Fahrzeug nur zur Förderung, selten zur Beleuchtung der Arbeitsstellen, aber fast nie zur Arbeit mit den aufgezählten Maschinen ausgenutzt werden konnte. Die Versuche in dieser Richtung werden nicht weiter verfolgt.

Dagegen sind die Versuche, bei denen ein 30 PS-Motor mit einem Kompressor gekuppelt war, in jeder Hinsicht zufriedenstellend ausgefallen.

#### Betriebskosten.

Die Instandsetzungskosten aller Fahrzeuge im Jahre 1931 und zwar sowohl die Instandsetzungen nach Zusammenstoßen, Entgleisungen u. dergl., als auch jene, die infolge der vorge-

schriebenen Untersuchungen aufgelaufen sind, haben etwa 7½% der Anschaffungskosten der Kraftfahrzeuge betragen.

Soweit an den Fahrzeugen Geschwindigkeitsmesser angebracht waren, konnte nachfolgender Verbrauch an Betriebsstoffen für einen Kilometer festgestellt werden:

eine Vollbahndraisine D III 0,11 kg Benzin und 0,004 kg Öl,  
ein Bahnmeisterwagen BM 12 0,22 kg Benzin und 0,011 kg Öl,  
ein Bahnmeisterwagen BM 30 0,46 kg Benzin und 0,014 kg Öl.

Die Kosten eines gefahrenen Kilometers betragen bei den Kommissionsdraisinen D III 6,2 g (österreich. Groschen) für Benzin und 0,8 g für Öl, wozu noch die für das Jahr 1931 ermittelten Instandsetzungskosten von 15 g/km kommen, so daß ein Kilometer, ohne die Kosten für den Fahrer, mit 22 g zu werten ist. Gerade diese Kosten haben aber dazu geführt, eine Draisine kleinerer Bauart D IV in Dienst zu stellen, deren Anschaffung und Betriebskosten kleiner sind als jene der D III. Ohne den Einbau von Geschwindigkeitsmesser hätten diese Kosten nicht mit der notwendigen Schärfe erfaßt werden können. Erst wenn alle Fahrzeuge damit ausgerüstet sein werden, wird ein deutliches Bild über den durchschnittlichen Verbrauch an Betriebsstoffen erhältlich sein und ein Rückschluß auf den Grad der Bedienung und Wartung, wie nicht minder auf eine etwaige Verbesserung der Bauart zum Zwecke der Betriebsverbilligung möglich sein.

Bei den Bahnmeisterwagen BM 12 betragen die Kosten 12,3 g für Benzin und 2,2 g für Öl, die Instandsetzungskosten auf den Kilometer umgerechnet, ebenfalls 15 g, so daß ein gefahrener Kilometer rund 30 g kostet. Für die Kleindraisine DVP stehen uns Betriebskosten noch nicht zur Verfügung.

## Rundschau.

### Bahnunterbau, Brücken und Tunnel; Bahnoberbau.

#### Längste Hubbrücke der Welt.

Als Ersatz für eine im Jahre 1872 erbaute Eisenbahnbrücke über den Missouri bei Boonville hat die Missouri-Kansas-Texas-Bahn eine neue Brücke bestehend aus drei festen Öffnungen von je 91 m und einer von 75 Stützweite in Polygonfachwerk, sowie einer Öffnung von 18,15 Stützweite in Blechbalkenkonstruktion und der Huböffnung von 122 m Spannweite, errichtet.

Um eine Betriebsunterbrechung zu vermeiden wurde die neue Brücke neben die bestehende gesetzt, die dann nach Fertigstellung der neuen Brücke abgebrochen wurde. Umfangreiche Ermittlungen wurden vorher angestellt, um festzustellen, ob eine Hochbrücke mit festen Öffnungen nicht wirtschaftlicher wäre, als die ausgeführte Hubbrücke mit tiefliegender Fahrbahn, aber die Verlegung der Anfahrtrinnen und die Schaffung langer Rampen entschied zugunsten der Hubbrücke.

Der Baugrund war fester Kalkstein, so daß die Pfeiler ohne Schwierigkeit mit Senkkästen auf den Fels aufgesetzt werden konnten. Die Widerlager wurden auf Pfahlroste gesetzt. Der Beton wurde auf einer Hilfsbahn, die am Untergurt der alten Brücke angehängt war, von einer Bereitungsstelle an die verschiedenen Verwendungsstellen befördert.

Vier Monate nach Baubeginn, im November 1930, waren die Pfeiler und Widerlager fertiggestellt.

Im Frühjahr und Sommer 1931 wurden die Zufahrtslinien an beiden Ufern verlegt und konnten dann für die Errichtung der Eisenüberbauten benützt werden. Die festen Öffnungen wurden von August bis 15. November fertiggestellt, mit dem Einbau der Huböffnung wurde bis zur Einstellung der Schifffahrt im Winter gewartet, um Störungen des Schiffsverkehrs zu vermeiden, er dauerte vom 7. Dezember 1931 bis zum 1. Februar 1932 einschließlich. Die Montage erfolgte in der üblichen Weise auf einem Pfahlgerüst. Unter den drei nördlichen festen Öffnungen wurden die Pfähle bis zu 13 m tief gerammt, dagegen unter der Huböffnung und unter der südlichen festen Öffnung war die

größte Tiefe 1,50 m, während die meisten Pfähle nur auf dem Felsboden aufgesetzt waren.

Um eine Gefährdung durch Eisgang und Hochwasser nach Möglichkeit zu vermeiden, mußte die Montage der Huböffnung mit größter Beschleunigung vor sich gehen, besonders weil die Pfahlböcke seitlich nicht befestigt werden konnten. Ende Dezember war der Zusammenbau beendet. Der Überbau bestand aus Siliziumstahl mit Ausnahme der Obergurte, der Fahrbahnträger und der oberen Hälfte der Turmstützen, die aus Hochofenstahl waren.

Die Huböffnung mit 122 m Spannweite kann um 10 m gehoben werden. In gehobener Stellung beträgt die Lichthöhe 13 m über NW und 9 m über HW. Das Gesamtgewicht der Hubbrücke beträgt etwa 1240 t, das aller Überbauten 3650 t.

Die Hubbrücke ist durch Gegengewichte, bestehend aus Stahlbehältern, die mit Beton und Roheisen gefüllt sind, ausgeglichen. Die Gegengewichte sind an 64 Drahtseilen, die über vier Seilscheiben laufen, aufgehängt. Diese Drahtseile sind nicht mit Ausgleichsvorrichtungen versehen, sie wurden vor der Montage auf die berechnete Länge zugeschnitten, die Gewichte wurden angebracht, wobei die Drahtseile in gespanntem Zustande 50 cm Abstand von dem Brückenträger hatten. Hierauf wurde die Hubbrücke mit hydraulischen Pressen gehoben, die Drahtseile wurden eingehängt und dehnten sich auf ihre planmäßige Länge.

Die Brücke wird durch direkten elektrischen Antrieb der Seilscheiben gehoben und gesenkt.

Zum Antrieb dienen zwei Asynchronmotoren, die über ein Untersetzungsgetriebe die Seilscheiben jeder Seite antreiben. Um ein gleichmäßiges Arbeiten beider Antriebe zu gewährleisten, ist mit der Welle jedes Motors unmittelbar eine zweite Maschine gleicher Bauart gekuppelt. Die Sekundärkreise dieser beiden „Synchronisierungs“-Maschinen sind elektrisch in Gegen-schaltung miteinander verbunden. Läuft der Antriebsmotor einer Seite etwas schneller als der der anderen, so daß ungleichmäßiges Heben der Brücke eintreten würde, so entsteht

im Sekundärkreis der auf der gleichen Welle sitzenden Synchronisierungsmaschine eine höhere Spannung als in dem der Synchronisierungsmaschine der anderen Seite; damit erhält letztere einen zusätzlichen Ausgleichstrom, der eine Beschleunigung des Aggregates auf dieser Seite bewirkt. Fällt andererseits ein Antriebsmotor gänzlich aus, so übernimmt die Synchronisierungsmaschine auf dieser Seite die ganze Hubarbeit; die Leistung erhält sie hierzu von der Synchronisierungsmaschine der anderen Seite.

Schließlich sind noch handbediente Widerstände vorgesehen, mit denen ebenfalls zu rasches Heben der einen Seite der Hubbrücke verhindert werden kann. Mit den Antriebsmaschinen ist außerdem eine Überwachungseinrichtung verbunden, die dem Brückenwärter die gegenseitigen Bewegungen der beiden Antriebe anzeigt und die bei einem Höhenunterschied von über 15 cm den Antriebsstrom selbsttätig abschaltet und die Bremsen in Tätigkeit setzt. In diesem Falle kann jeder Antrieb für sich eingeschaltet werden, um die Brücke wieder in die waagerechte Lage zu bringen. Wenn die Brücke nahe am Hubende angekommen ist, schaltet sich selbsttätig ein Widerstand ein, der den Antrieb stark verlangsamt und schließlich ganz abschaltet. Den letzten Teil der Bewegung steuert dann der Brückenwärter mit dem Handschalter.

Der Antriebsstrom wird dem Netz mit 2300 Volt (Drehstrom, 60 Hertz) entnommen und auf 440 Volt für die Antriebe und 110 Volt für die Beleuchtung umgeformt. Die Zuleitungen sind an Auslegern an den Überbauten angebracht, wodurch kostspielige Unterwasserkabel gespart wurden. Mf.

Rly. Age, April 1932.

### Elektrische Schweißung bei Eisenbahnbrücken auf der London-Nord-Ost-Bahn.

Die beiden in Frage stehenden Brücken, die die doppelgleisige Hauptbahn (Newcastle und South Shields Linie) über eine Privatbahn führen, kreuzen letztere unter einem spitzen Winkel. Die senkrechte Auflagerentfernung beträgt bei der einen Brücke 22 Fuß, die schiefe Spannweite 68 Fuß; von den 25 Querträgern ruht nur einer auf den beiden Längsträgern auf. Ähnliche Verhältnisse finden sich bei der anderen Brücke, bei der von insgesamt 51 Querträgern nur sechs auf den Längsträgern beiderseitig aufgelagert sind. Die senkrechte Spannweite mißt hier 20 Fuß, die schiefe dagegen 82 Fuß. Die Querträger sowie die Konstruktionen der Fahrbahnen mußten erneuert werden, da sie sich auf Grund von Berechnungs- und Belastungsergebnissen als für die erhöhten Verkehrslasten nicht mehr ausreichend erwiesen. Die Hauptträger fanden weiterhin unverändert Verwendung.

Die Abmessungen der neuen Querträger (British Standard Walzstahlträger), die in einem Abstand von 5 Fuß angeordnet wurden, werden mit  $18'' \times 7''$  angegeben. Wo erforderlich wurden sie durch zusätzliche Ober- und Untergurtlamellen verstärkt; die hierdurch verursachte maximale Querschnittvergrößerung

ergibt sich durch zwei Obergurtlamellen mit  $12'' \times \frac{3}{8}''$  und  $18'' \times \frac{1}{2}''$  Ausmaß und zwei Untergurtlamellen  $12'' \times \frac{5}{8}''$  und  $13'' \times \frac{7}{8}''$ . Als Gleisträger wurden Profileisen  $14'' \times 5\frac{1}{2}''$  verwendet. Die Abdeckplatte ist eine  $\frac{3}{8}''$ zöllige Stahlplatte.

Die Verstärkungslamellen wurden auf die Querträger mittels des elektrischen Schweißverfahrens bei jeweils paarweiser, symmetrischer Anordnung der Apparate befestigt. Einer Verdrehung einzelner Querschnitte sollte auf diese Art und Weise weitmöglichst vorgebeugt werden. Der Anschluß der neuen Querträger an die vorhandenen Hauptträger wurde gleichfalls durch Schweißung hergestellt. Kleine Unebenheiten an den alten Längsträgern erforderten den Einbau von Zusatz- und Unterlagsstücken bei den neuen Querträgern. Die Verstiefung wurde gefördert durch die Verwendung von dreieckigen Knotenblechen, bei denen die Basis- auf den Quer- und die Vertikalseiten auf den Längsträgern aufgeschweißt worden sind. Außerdem setzte man an den äußeren Hauptträgerseiten gegenüber von jedem Querträger zusätzliche Eckbleche zur Verstärkung an. — Die Gleisträger ruhen auf besonderen Stühlen und sind mit den Querträgern wiederum durch Schweißung verbunden. Endlich wurde die  $\frac{3}{8}''$ zöllige flache Abdeckplatte im gleichen Verfahren an den Quer- und Gleisträgern befestigt. — Besonderer Erwähnung wert erscheint es, daß bei der einen Brücke Teile der alten Hauptträger in der Nähe der Auflager, wo die Anfressungen im Steg und Untergurt besonders stark waren, mit dem Schneidbrenner abgeschnitten und durch Anfügen neuer Stahlplatten ersetzt wurden.

Bei der Durchführung der Bauarbeiten an der Baustelle selbst waren wesentliche Schwierigkeiten nach zwei Richtungen zu überwinden. Es galt, weder den eigentlichen Hauptbahnbetrieb noch den der Privatbahn (Bergwerksbahn), die im Mindestabstand unter den beiden Brücken durchgeführt ist, zu stören oder gar zu unterbrechen. Demzufolge wurden zunächst die Gleise durch besondere kurze Montagegleisbalken unterfangen und auf den alten auszubauenden Querträgern geeignet abgestützt. In den zur Verfügung stehenden längsten Betriebspausen konnte man dann diese kurzen Behelfsteile ausbauen, die neue Trägerkonstruktion einfügen und die Gleise jeweils wieder behelfsmäßig schließen. Um die eigentlichen Schweißarbeiten auf der Baustelle selbst auf ein Mindestmaß zu verringern und um gleichzeitig die Wiederherstellungsarbeiten zu beschleunigen, wurden die Querträger paarweise in den Werkstätten zusammengeslossen, die Gleisträger und die Deckplatte aufgebracht und die einzelnen Gesamtstücke mit Hilfe von Dampfkränen eingebaut. Die Aufstellung eines vor allem für den Privatbahnbetrieb hinderlichen Montagegerüsts war damit vermieden. — 40% der Schweißarbeiten konnte in den Gleisbauwerkstätten in Gateshead ausgeführt werden, die restlichen 60%, die auf der Baustelle selbst durchgeführt werden mußten, wurden mit einem tragbaren Viermann Schweißaggregat ausgeführt. Das Gewicht der gesamten neu eingebauten Eisenteile beträgt bei den beiden Brücken je rund 40 Tonnen.

Dr. Ing. K. Rothe.

Rly. Engr., Juni 1932.

## Bücherschau.

Zimmermann, K.: Lehre vom Knicken auf neuer Grundlage.

Berlin 1930, Wilh. Ernst & Sohn. Preis geb. 11.20 R.M.

Seit Euler 1744 in seiner berühmten Abhandlung „De curvis elasticis“ die Knicktheorie begründete, hat eine große Zahl von Forschern und Praktikern die Knickerscheinungen erkundet und an dem Ausbau und der praktischen Auswertung der Knicktheorie für die Bemessung gedrückter Stäbe mit Rücksicht auf die Knickgefahr weitergearbeitet. Euler hat sich auf die Behandlung des Sonderfalls des geraden, axial belasteten Stabes beschränkt. Gegen den logischen Einwand, daß nicht zu verstehen sei, wie ein vollkommen gerader, überall gleich beschaffener und axial belasteter Stab überhaupt dazu käme, sich auszubiegen, hat sich Euler dadurch geschützt, daß er als kritische Last die Kraft hinstellte, die den durch irgendwelche zufällige Einflüsse aus gebogenen Stab auch dann in dieser Lage erhält, wenn jene Einflüsse wieder verschwinden. In neuester Zeit hat Zimmermann

eine breite Grundlage für den Aufbau einer entwicklungsfähigen, den mannigfaltigen Aufgaben der Technik gerecht werdenden Theorie dadurch gewonnen, daß er von vornherein annahm, der Stab mit überall gleichem Querschnitt sei nicht gerade, sondern beliebig gekrümmt, nicht achsial belastet, sondern durch beliebig längs- und quergerichtete Kräfte beansprucht. Zimmermann beschränkt seine Arbeit auf das Knicken im elastischen Bereich und erbringt sowohl für den frei drehbar gelagerten als auch für den elastisch eingespannten Stab den Nachweis, daß die Aufgabe mit allen diesen Annahmen gelöst werden kann. Die Darstellung der Aufgabe und ihre Lösung bildet den Hauptinhalt des Buches; „Die Lehre vom Knicken auf neuer Grundlage“. Es gipfelt im Beweis der folgenden zwei Sätze:

„Jeder gerade oder beliebig gekrümmte und beliebig längs- und querbelastete Stab mit überall gleichem Querschnitt kann bei frei drehbaren Enden die Eulersche Knickgrenze erreichen,

wenn alle die Abweichung vom Eulerfall ausdrückenden Störungen nur so klein sind, daß unter der Eulerlast keine bleibenden Formänderungen eintreten.“

„Ein ebensolcher Stab mit elastisch eingespannten Enden kann bei derselben Voraussetzung die Knickgrenze eines gleich eingespannten achsrecht belasteten, geraden Stabs erreichen.“

Nach einer geschichtlichen Einleitung, worin auf die Arbeiten von Euler, Lagrange, Grashof, Prandtl, v. Karmann hingewiesen ist, werden im 1. Teil die Formänderungen gedrückter Stäbe, im 2. Teil die Knickbedingungen und Grenzbiegungen behandelt. Dabei sind alle Fälle bearbeitet, die für die Praxis von Bedeutung sind, der gerade Stab, gleichmäßig längsbelastet und beliebig querbelastet und mit Endhebeln oder Endmomenten, der gekrümmte Stab (Cos-Linie, Parabel), der Eineck- und Vieleckstab, der an beiden Enden gelenkig gelagerte Stab und der eingespannte Stab. Aus den für alle diese Fälle aufgestellten Gleichungen für die Biegelinie werden die Knickbedingungen entwickelt.

Die Vervollkommnung der Knicktheorie ermöglicht eine um so weitgehendere Annäherung an die unsicheren labilen Gleichgewichtslagen, je genauer man rechnet.

Die Anregung zu den tiefgründigen theoretischen Untersuchungen Zimmermanns gaben die vom Reichsbahndirektor Dr. Ing. e. h., Dr. techn. h. e. G. Schaper veranlaßten, vom Deutschen Stahlbauverband unter Beihilfe der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft finanzierten und an der Staatl. Materialprüfungsanstalt Berlin-Dahlem (Abt. Prof. Memmler) durchgeführten umfangreichen Knickversuche, über die Prof. W. Rein in dem Buch „Versuche zur Ermittlung der Knickspannungen für verschiedene Baustähle“ berichtet hat. (Heft 4 der Berichte des Ausschusses für Versuche im Stahlbau. Berlin 1930, Verlag Julius Springer.)

Die älteren Versuche hatten für große Schlankheitsgrade die Eulerwerte bestätigt und gezeigt, daß es einen sicheren Gleichgewichtszustand nach Überschreitung der Eulergrenze nicht gibt. Der Geltungsbereich der Eulerhyperbel (Bereich der elastischen Knickung) ist begrenzt. Zur genauen Bestimmung dieser Grenze und zur Ermittlung der tatsächlichen Knicklasten bei vollkommen zentrischer Belastung waren zunächst die Grundbedingungen für die Erzielung des „störungsfreien Knickvorgangs“ zu schaffen. Bei der praktischen Versuchsdurchführung sind Exzentrizitäten (Abweichungen der wirksamen Stabachse von der Kraftachse) unvermeidlich und auf Unregelmäßigkeiten verschiedenster Art (ungenügende Lagerung, Stabkrümmungen, ungleiche Werkstoffbeschaffenheit, unvollkommene Querschnitte, Anfangsspannungen) zurückzuführen. Die verschiedenen Fehlerquellen können durch Anwendung des Zimmermannschen Zentrierverfahrens und einer besonders ausgebildeten Schneidenlagerung ausgeschlossen werden.

Das Einrichten (Zentrieren) der Prüfstäbe besteht darin, daß der Stab so lange in der Prüfmaschine verschoben wird, bis er bei namhaften Belastungen keine oder nur verschwindend geringe Ausbiegungen zeigt. Man zwingt also den Stab, die Lage seiner wirksamen Schwerachse bekannt zu geben. Keine noch so sorgfältig durch Messungen erfolgte Ermittlung der Stabschwerachse und auch kein sonst übliches Einrichtungsverfahren vermag den Vorzug dieser Arbeitsweise zu erreichen.

Die Ergebnisse der Knickversuche des Deutschen Stahlbauverbandes haben die Richtigkeit und Allgemeingültigkeit der von Zimmermann aufgestellten erweiterten Knicktheorie in vollem Umfang bestätigt.

Die Lebensarbeit Zimmermanns auf dem Gebiete der Knicktheorie war mit Erfolg gekrönt. Wir beglückwünschen den greisen Gelehrten und Forscher zu diesem Gelingen und freuen uns der abschließenden Darstellung seiner Lehre vom Knicken.

Dr. Ing. Schaechterle.

### C. Kersten, Brücken in Eisenbeton. Band II: Bogenbrücken.

Berlin 1930, Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn. Preis 13,50 *R.M.*

Das nunmehr in 5. Auflage vorliegende Buch gibt in leichtfaßlicher Darstellung auf 226 Seiten einen guten Überblick über alle Fragen, die mit dem Bau gewölbter Brücken zusammenhängen. In drei Abschnitten werden behandelt die Gestaltung der Bogenbrücken, Lehrgerüste und Bauausführung, Berechnung. Die maßgebenden Vorschriften werden auszugsweise gebracht. Von zahlreichen ausgeführten Bauwerken sind in guten Bildern die Gesamtanordnungen und bemerkenswerte Einzelheiten wiedergegeben, dazu noch Literaturnachweise. Die neuesten Bestrebungen des Massivbrückenbaues finden ihren Niederschlag in dem Buche, das dem Studierenden ein Leitfaden, dem Praktiker eine Sammlung des Stoffes sein will. Wir begrüßen und empfehlen die Neuauflage mit zwei kleinen Anregungen für die zukünftige Bearbeitung. Seite 144 läßt die Deutung zu, daß bei schiefen Gewölbden die drei Gelenkachsen parallel zur Brückenachse liegen dürfen; diese Anordnung würde aber zu einem unbeweglichen, also fehlerhaften Tragwerke führen. Ferner erscheint der Ausdruck „Fahrbahn“ bei Fußwegbrücken anfechtbar. B. Löser.

### Kleinlogel, Winterarbeiten im Beton- und Eisenbetonbau.

Berlin 1932, Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn. Preis geb. 9,80 *R.M.*

Das Buch will laut Vorwort „gewisse Vorurteile beseitigen und das Vertrauen in die Winterarbeit wecken“. Es ist die erste zusammenfassende Darstellung ihrer Art und behandelt alle Einflüsse des Frostes und naßkalter Witterung auf Beton und Eisenbeton. Die Kältebehandlung aller Baustoffe und Zuschlagstoffe wird eingehend besprochen, auch der seltsame Vorschlag eines russischen Ingenieurs, den Beton bei Frost planmäßig in gefrorenem Zustande zu verarbeiten, ist nicht unerwähnt gelassen. Der Kälteschutz ganzer Bauten durch Umhüllungen u. dergl. nimmt einen breiten Raum ein, wirtschaftliche Fragen wie die Berechnung des Wärmebedarfs, der Mehrkosten und der Wirtschaftlichkeit der Winterarbeiten helfen mit, den Weg zur praktischen Anwendung zu ebnen. Mit einer Wiedergabe amtlicher Bestimmungen und mit zahlreichen Literaturhinweisen auf Einzelausführungen schließt das Buch ab. Zur Abrundung könnte für eine zweite Auflage allenfalls empfohlen werden, auch die Vorkehrungen bei winterlichen Unterbrechungen mit zu behandeln: bei Talsperrenbauten hat man beispielsweise auch starke Wasserschichten als Frostschutz für breite Mauerkronen verwendet.

Die Beherrschung des Stoffes, die Zielsicherheit der Behandlung ist schon durch den Namen des Verfassers verbürgt. Der Verlag hat das Buch in gewohnter Weise vortrefflich ausgestattet. Dr. Bl.

### „Dieselmaschinen in der Elektrizitätswirtschaft“. M. Gercke.

Verlag von Julius Springer. Berlin 1932. Preis 6.— *R.M.*

Das 90 Seiten starke Buch setzt die Kenntnis der Bauart der Dieselmachine voraus und behandelt nur die Wirtschaftlichkeit mittlerer und großer Motoren. Die Verwendbarkeit des billigeren Teeröls, die einfache Abhitzeverwertung und der Einfluß der niederen Anlagekosten besonders für Groseinheiten von 12000 PS werden mit zahlreichen Übersichtsrechnungen und Betriebsberichten aus den letzten Jahren belegt. Der Verfasser erkennt zwar die höhere Wirtschaftlichkeit eines modernen Braunkohlen-Großkraftwerks an, sieht aber doch im compressorlosen doppelwirkenden Zweitaktölmotor das Ideal der Spitzenlast- und Reservemaschine. Ferner erscheint ihm der Ersatz der „Hausturbinen“ durch Ölmotoren mit ihrer völligen Unabhängigkeit und übersichtlichen Einordnung in den Wärme fluß eines Werkes besonders vorteilhaft. Auf den Interessenausgleich zwischen der Elektrizitätswirtschaft und den Hütten- und Gaswerken über das Nebenerzeugnis „Deutsches Teeröl“ wird abschließend hingewiesen. Sch—1.

**Berichtigung.** In Heft 1 Seite 10 sind die beiden Abbildungen versehentlich vertauscht. Zu Abb. 4 gehört die rechtsseitige, zu Abb. 5 die linksseitige Darstellung.