

Beitrag zur Frage der Ausnutzbarkeit der Platizität bei dauerbeanspruchten Durchlaufträgern

Autor(en): **Klöppel, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2769>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Beitrag zur Frage der Ausnutzbarkeit der Plastizität bei dauerbeanspruchten Durchlaufträgern.

Sur la plasticité dans les poutres continues sollicitées dynamiquement.

Contribution to the Question of Utilising Plasticity in Continuous Girders Subject to Repeated Stresses.

Dr. Ing. K. Klöppel,

Leiter der technisch-wissenschaftlichen Abteilung des deutschen Stahlbau-Verbandes, Berlin.

Der von *Dr. Hans Bleich*¹ unter Annahme eines idealplastischen Werkstoffes aufgestellte Satz

„Wenn es in einem statisch unbestimmten System möglich ist, durch passende Wahl der statisch unbestimmbaren Größen einen Selbstspannungszustand anzugeben, derart, daß in jedem Punkt die Summe der Selbstspannung und der nach dem Elastizitätsgesetz bestimmten Größtspannung gerade unterhalb der Fließspannung bleibt, so ist das System auch bei unendlich oft wiederholter Belastung tragfähig“

muß durch Dauerversuche nachgeprüft werden können, da die Belastungsfrequenz keine Rolle spielt.

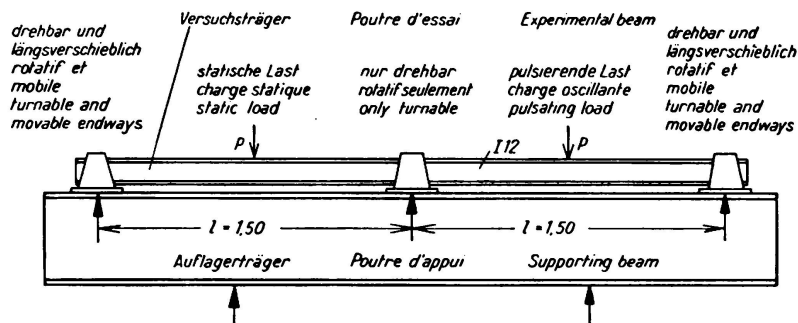


Fig. 1.

Versuchsanordnung.

Gewählt wurde ein ungelochter Träger (I 12) auf drei Stützen mit Einzelspannweiten von je 1,50 m aus Handelsbaustahl (Fig. 1). Sämtliche Lager konnten Zug- und Druckkräfte aufnehmen, die äußeren waren auch noch längsverschieblich.²

¹ Zeitschrift „Der Bauingenieur“ 1932, Heft 19/20.

² Die Versuche wurden in der MPA. Stuttgart (Professor Graf) durchgeführt.

Der Bleichsche Satz widerlegt die Auffassung, daß der Träger, wenn er für je einen mehrerer Belastungsfälle im Sinne des Traglastverfahrens tragfähig ist, dies unbedingt auch dann ist, wenn die sämtlichen Belastungsfälle beliebig oft wechseln.

Die gewählten Belastungsfälle sind in Fig. 1 dargestellt. Mit Rücksicht auf die maschinellen Gegebenheiten wirkte die linke Last dauernd und die rechte Last schwellend, und zwar mit kleiner Grundlast (200 kg) und minutlich etwa 10 Lastspielen. Einen Zwischenzustand der völligen Entlastung gab es also nicht.

Die Größe der Lasten P wurde zunächst so bestimmt, daß in dem nach der Elastizitätslehre höchstbeanspruchten Querschnitt die Fließgrenze ($\sigma_F = M:W$) erreicht war. Diese ergab sich zu $\sigma_F = 2420$ und 2730 kg/cm^2 für die Flansche der beiden 12 m langen Träger, aus denen die je etwa 3 m langen Versuchskörper hergestellt wurden.

Nach dem Bleichschen Satz hätte durch Annahme des günstigsten Selbstspannungszustandes (Fig. 2), der Stützen- und Feldmoment ausgleicht, die

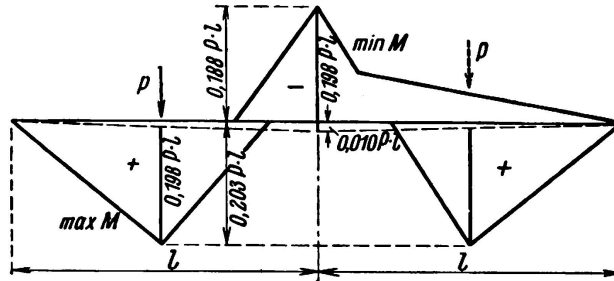


Fig. 2.

Fließgrenze bei der Bestimmung von P überschritten werden dürfen, aber nur um etwa 2,5 %, da für die beiden Belastungsfälle fast „natürlicher Momentenausgleich“ vorliegt.

Der Träger ertrug mit $P = 4210 \text{ kg}$ 700 000 Lastspiele, ohne Anzeichen eines bevorstehenden Dauerbruches erkennen zu lassen. Die federnden Durchbiegungen, die bis zu $\frac{1}{100}$ mm genau von einem Rahmen aus abgelesen wurden, entsprachen den rechnerischen Werten, und die bleibenden Durchbiegungen waren praktisch Null. Eine Selbstspannungswirkung schaltete also aus.

Die Lasten P wurden nun für denselben Träger soweit erhöht, daß die Fließgrenze um 20 % überschritten war. Auch bei dieser Belastung ertrug der Träger weitere 630 000 Lastspiele. Die Durchbiegungen stiegen gegenüber der ersten Belastung nur unwesentlich schneller als die Belastung. Der Versuch wurde abgebrochen, da wiederum kein Dauerbruch zu erwarten war. Die bleibenden Durchbiegungen erreichten etwa nur 15 % ihres rechnerisch bestimmten Wertes, der folgendermaßen ermittelt werden kann:

Um über der mittleren Stütze das Selbstspannungsmoment von $0,01 P \cdot l$ zu erhalten, muß im statisch bestimmten Grundsystem, als welches der Kragträger gewählt sei, an dessen Ende die Kraft $0,01 \cdot P$ angreifen. Diese erzeugt eine Durchbiegung des Tragrandes von

$$f = \frac{0,01 \cdot P \cdot 2 l^3}{3 \cdot E \cdot J}$$

Die gleiche Durchbiegung ergibt sich im statisch bestimmten Grundsystem, wenn in Feldmitte infolge Kaltverformung die Durchbiegung $f/2$ beträgt. Hierfür errechnet sich mit $E = 2100 \text{ t/cm}^2$ und $J = 328 \text{ cm}^4$:

$$f/2 = \frac{0,01 P \cdot 150^3}{3 \cdot 2100 \cdot 328} = 0,0165 P.$$

Der kaltverformte Träger wird als Balken auf drei Stützen, der Momentenfläche des Selbstspannungszustandes entsprechend, noch federnd verbogen, so daß sich $f/2$ um einen Betrag δ vermindert:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{0,01 \cdot P \cdot l^3}{16 \cdot EJ} \\ &= \frac{0,01 \cdot P \cdot 150^3}{16 \cdot 2100 \cdot 328} = 0,0031 P. \end{aligned}$$

Mithin sind die bleibenden Durchbiegungen in Mitte des linken Feldes für den Selbstspannungszustand in mm

$$\delta_{bl} = (0,165 - 0,031) P = \mathbf{0,134 P}.$$

Der Selbstspannungszustand kann frühestens eintreten, wenn in Feldmitte die Fließgrenze σ_F erreicht ist. Somit gilt für P

$$P \geq \frac{W \cdot \sigma_F}{0,203 \cdot l}$$

Durch die ausgleichende Wirkung des Selbstspannungszustandes kann P erhöht werden auf

$$P' = \frac{0,203}{0,198} P = \approx 1,025 P$$

Hierzu gehört die bleibende Verformung

$$\delta_{bl} = 0,134 P'$$

die auch bei vielfach wiederholter Belastung nicht zunehmen darf.

Die federnden Durchbiegungen für $P = 1 \text{ t}$ in der Mitte des linken Trägerfeldes sind bei dessen alleiniger Belastung (Fall A)

$$\delta_{el} = 0,734 \text{ mm}$$

und bei Belastung beider Felder (Fall B)

$$\delta_{el} = 0,446 \text{ mm}.$$

Von den durchgeführten Versuchen sollen zwei kurz betrachtet werden. Die Lasten P betragen $5,04 \text{ t}$ und $5,83 \text{ t}$. Für Fließgrenze und Widerstandsmoment ergaben sich $\sigma_F = 2420 \text{ kg/cm}^2$ und $W = 53,1 \text{ cm}^3$. Die Last, bei der die Fließgrenze erreicht wird, war um das 1,2 und 1,38 fache überschritten. In beiden Fällen trat nach mehr als 500 000 Lastspielen kein Dauerbruch ein. In der Mitte des linken Feldes wurden für die beiden Belastungsfälle A und B die in Tafel 1 enthaltenen Durchbiegungen gemessen und rechnerisch bestimmt.

Tafel 1,

Last	Belastungsfall	$\delta_{el} + \delta_{bl}$		δ_{bl}	δ_{bl}
		gemessen	rechn. Wert	gemessen	rechn. Wert
5,04 t	A	3,65 mm	4,37 mm	0,18 mm	0,67 mm
	B	2,49 „	2,92 „		
5,83 t	A	5,25 „	5,055 „	1,68 „	0,775 „
	B	4,75 „	3,375 „		

Unter $P = 5,04$ t bleiben die gemessenen Werte hinter den rechnerischen zurück. Die wirkliche bleibende Durchbiegung ist sehr gering, so daß, obwohl in den Flanschen die Fließgrenze um 20% überschritten ist, der Selbstspannungszustand noch gar nicht in Anspruch genommen war. Bei $P = 5,83$ t ist es umgekehrt; hier überwiegen die tatsächlichen Durchbiegungen. Die Abweichung ist bei den bleibenden Durchbiegungen besonders groß. Offenbar ist hier — wogegen die Einhaltung des Bleichschen Satzes sonst schützen würde — durch Belastungsfall B ein zusätzlicher Selbstspannungszustand erzeugt; denn im rechten Feld traten auch bleibende Durchbiegungen und keine bleibenden Überhöhungen auf. Stütz- und Feldmoment sind ja auch fast gleich groß. Die bleibenden Durchbiegungen wuchsen jedoch im späteren Verlauf des Dauer-versuches nicht mehr. Daraus geht hervor, daß nach dem Bleichschen Satz bemessene biegeungssteife Tragkonstruktionen auch bei Dauerbeanspruchung noch zusätzliche Sicherheiten aufweisen. Diese Feststellung ist in dem inhomogenen Verlauf der Biegespannungen begründet; erreichen die Randzonen des Querschnittes die Fließgrenze, so setzen die übrigen nur federnd gespannten Zonen bleibenden Verformungen noch Widerstand entgegen. Dadurch sind etwa 16% Festigkeitszunahme zu erwarten. Die Zahl ergibt sich, wenn W durch $2 S_x$ ($S_x =$ statisches Moment des halben Trägerquerschnittes, bezogen auf die x -Achse) ersetzt wird. Diese Wirkung wird noch dadurch gesteigert, daß die Fließgrenze des Steges in der Regel höher liegt als diejenige des Flansches. Ferner können auch Verfestigungserscheinungen sowie Wirkungen einer oberen Fließgrenze den Widerstand erhöhen. Schließlich werden auch die Walzspannungen die Ausbildung bleibender Verformungen bis zu einer gewissen oberhalb der Fließgrenze liegenden Spannung verzögern.

Es wurde noch Belastungsfall A allein untersucht, da hier der Unterschied zwischen Stütz- und Feldmoment groß ist. Die bleibende Durchbiegung unter $P = 6,28$ t, entsprechend einer 1,3fachen Überschreitung der Fließgrenze ($\sigma_F = 27,3$ kg/mm²), betrug nur 1,6 mm, während der momentenausgleichende Selbstspannungszustand (Stützmoment = $\frac{3}{2} [0,203 - 0,094] P l = 0,072 P l$) eine bleibende Durchbiegung von 5,75 mm erfordern würde. Für die federnde Durchbiegung wurden in guter Übereinstimmung mit der Rechnung etwa 4,6 mm gemessen; sie ist also kleiner als die für den Momentenausgleich erforderliche bleibende Durchbiegung. Nach mehr als einer Million Lastspielen wich der Träger seitlich aus. Ein Dauerbruch trat nicht ein.

Die theoretisch und durch Versuche gewonnenen Erkenntnisse könnten für eine sparsamere Bemessung durchlaufender auf Dauerfestigkeit beanspruchter Träger nur dann verwertet werden, wenn diese, insbesondere in den Flanschen, keine Kerben wie z. B. Löcher oder Kehlnähte aufweisen. Eine solche Einschränkung schließt Nietkonstruktionen und Nietverbindungen weitgehend aus. Dagegen könnten für ungelochte Walzträger mit einwandfrei stumpfgeschweißten Stößen, deren Oberflächen kerbfrei bearbeitet sind, auch bei Dauerbeanspruchungen im Sinne des Traglastverfahrens höhere Beanspruchungen berechtigt sein. Die Ausnutzung des Traglastverfahrens kann jedoch durch eine vorzeitige Instabilität des Trägers verhindert werden. Es ist ferner auch möglich, daß sich der günstigste Selbstspannungszustand, wenn er sehr große bleibende Verformungen bedingt — also in den wirtschaftlich wichtigsten Fällen — unter der ihm zugeordneten Last nicht einstellt.³ In diesen Fällen kann natürlich nicht mit Momentenausgleich gerechnet werden.

³ *Stüssi und Kollbrunner*: „Bautechnik“ 1935, Heft 21; *Maier-Leibnitz*: „Stahlbau“ 1936, Heft 20; *Klöppel*: „Stahlbau“ 1937, Heft 14/15.