DER STAHLBAU

Schriftleitung:
Dr.-Ing. A. Hertwig, Geh. Regierungsrat, Professor an der Technischen Hochschule Berlin, Berlin-Charlottenburg 2, Technische Hochschule
Fernsprecher: C 1 Steinplatz 0011
Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61

Beilage zur Zeitschrift **DIE BAUTECHNIK** Fachschrift für das gesamte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

5. Jahrgang | BERLIN, 29. April 1932 | Heft 9

Alle Rechte vorbehalten.

Dauerversuche mit Nietverbindungen.*)

Von Dr.-Ing. K. Schaechterle, Stuttgart.

Zur Feststellung des Verhaltens von Nietverbindungen unter oftmals wiederholten Belastungen und zur Nachprüfung des Sicherheitsgrades der nach den Vorschriften für Stahlbrücken (BE[1]) und DIN 1073) berechneten Nietverbindungen sind im Auftrage des Deutschen Stahlbauverbandes und der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft an der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart unter der Leitung von Prof. O. Graf Dauerversuche mit Nietverbindungen aus verschiedenen Stählen eingeleitet und durchgeführt worden. Über die Vorversuche mit Nietverbindungen in St 37 wurde in Heft 24 (vom 28. November 1930) und Heft 25 (vom 5. Dezember 1930) dieser Zeitschrift bereits berichtet. Die folgenden Mitteilungen sind als Fortsetzung und Ergänzung dieses Berichts anzusehen. Der Rahmen der ursprünglich gestellten Aufgabe war nach den aus den Vorversuchen gewonnenen neuen Erkenntnissen, namentlich hinsichtlich des Verhaltens der aus hochwertigen Baustählen hergestellten Nietverbindungen zu eng gefaßt. Mehr und mehr rückten die allgemeinen Fragen in den Vordergrund:

1. Wie groß ist der Einfluß der Walzhaut und der werkstattmäßigen Bearbeitung, insbesondere der konstruktiv bedingten Bohrungen und Kerben bei den verschiedenen Stahlsorten?
2. Wie ist die Nietverbindung zu gestalten und zu bemessen, damit die Dauerfestigkeit des Nietanschlusses oder Zugstoßes derjenigen des durch die Nietlöcher verschwächten Stabes möglichst nahe kommt?
3. Welche Anforderungen sind mit Rücksicht auf die Nietverbindung an die Werkstoffe, insbesondere die hochwertigen Baustähle, zu stellen?

Der erste Versuchsplan wurde dementsprechend ergänzt und erweitert, die Werkstofffrage abgetrennt, auf breiterer Grundlage und gemeinsam mit den Vertretern der Eisenhüttenindustrie in Angriff genommen. Die von Prof. Graf eingeleiteten Versuche zur Erkundung der Dauerfestigkeitswerte von gelochten Stahlstäben mit Walzhaut[2]) (vgl. auch Schaechterle: „Die Grundlagen der Festigkeitsberechnung von Stahlbrücken, zulässige Spannungen und Sicherheitsgrade", Bauing. 1929, Heft 7 u. 8, und „Zur Wahl der zulässigen Anstrengungen bei Stahlbrücken", Stahlbau 1931, Heft 8) sollten planmäßig ausgebaut, die Versuche mit Nietverbindungen gleichzeitig weitergefördert werden. Für die Durchführung der Versuche war der Grundsatz leitend, das Verhalten der Werkstoffe und der damit hergestellten Nietverbindungen unter Bedingungen zu erkunden, die denen der praktischen Verwendung im Betrieb möglichst nahe kommen, auf jeden Fall aber die maßgebenden Einflüsse bei der Prüfung eindeutig zum Ausdruck bringen.

Die nachstehend beschriebenen Dauerzugversuche mit Nietverbindungen aus St 37 (Niete St 34) sollten zur Nachprüfung der Berechnungsgrundlagen für Stahlbrücken hinsichtlich der τ_{zul}- und σ_{lzul}-Werte dienen. Zu diesem Zweck war der Bruch der Nietverbindung einmal durch Überschreitung des Abscherwiderstandes der Niete, das andere Mal durch Überbeanspruchung der Nietlochwände herbeizuführen. Dementsprechend wurden zwei Versuchsreihen zur Dauerzugprüfung vorgesehen:

1. Gruppe: Zugverbindungen mit dicken Blechen (130 × 23) und mit ein-, zwei-, drei- und vierreihiger Nietverbindung (Niete ∅ 17).
2. Gruppe: Zugverbindungen mit dünnen Blechen (200 × 10) und mit ein-, zwei-, drei- und vierreihiger Nietverbindung (Niete ∅ 17).

In den beiden Gruppen entspricht jeweils die dreireihige Nietverbindung den Berechnungs- und Bemessungsvorschriften (BE) der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft und DIN 1073.

Die Versuchskörper wurden in der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart hergestellt, zum Nieten Preßlufthämmer mit 11,3 kg Gewicht benutzt (Überdruck 4 at während des Nietens).

Die Nietlöcher wurden mit scharf geschliffenen Spiralbohrern in üblicher Weise (Kühlen mit Seifenwasser) ausgeführt, die Grate an den Lochrändern mit Spitzensenker entfernt, die Schmalseiten der vernieteten Prüfkörper eben gefräst und gefeilt. Die Berührungsflächen der Bleche blieben ohne Anstrich.

Wie bei den früheren Versuchen sind auch diesmal zum Vergleich neben den Dauerzugversuchen gewöhnliche (statische) Zugversuche durchgeführt und die Werkstoffeigenschaften (Streckgrenze, Zugfestigkeit, Dehnung, Kugeldruckhärte) in üblicher Weise festgestellt worden. Die Versuchseinrichtung ist in Heft 24 vom 28. Nov. 1930 beschrieben (vgl. auch Abb. 13, S. 279 d. J.) Die Anordnung der Prüfkörper der ersten Versuchsreihe ist aus Abb. 1 zu ersehen. Die Messungen während des Versuchs wurden auf die Verfolgung der gesamten federnden und bleibenden Längenänderungen der Meßstrecken A und B beschränkt. An den in die Dauerprüfmaschine eingespannten Prüfkörpern wurden unter der Anfangslast (P_u) die Meßuhren für die Meßstrecken A u. B abgelesen, sodann wurde der selbsttätige Steuerapparat in Tätigkeit gesetzt und zur Beschleunigung der Versuche auf drei Lastspiele (gegenüber zwei bei den bisherigen Dauerversuchen) in der Minute zwischen der Anfangslast P_u und der oberen Laststufe P_o eingestellt. Weiterhin sind nicht alle Laststufen bis zum Erreichen des Ausgleichzustandes durchgeführt worden. Das abgekürzte Verfahren erschien zur Feststellung der Belastungsgrenze ausreichend.

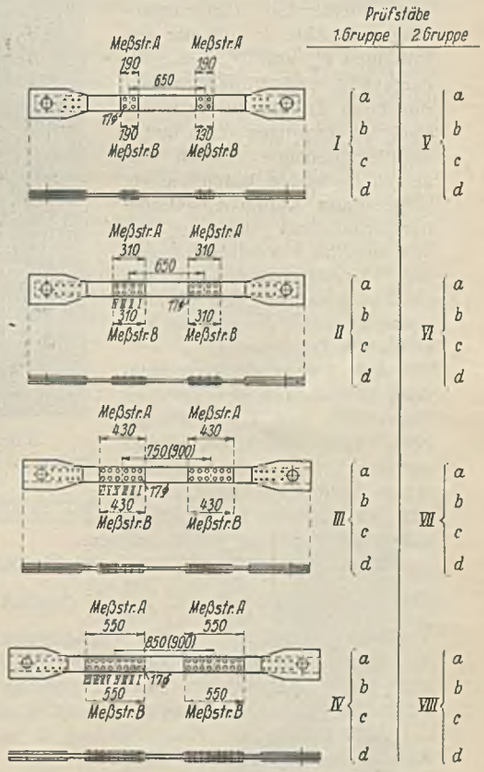


Abb. 1.
Die Prüfkörper der beiden Versuchsreihen.

1. Gruppe.

a) Prüfkörper I.

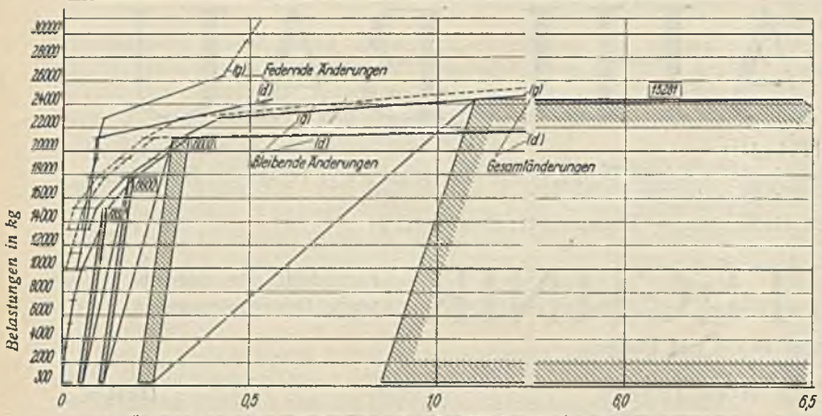
Zulässige Belastung nach BE 10 400 kg.
Zugehörige Scherspannung im Nietschaft $\tau = 1120$ kg/cm² $= 0{,}8\,\sigma_{zul.}$
Zugehöriger Lochwanddruck $\sigma_l = 1310$ kg/cm².
Dauerversuch mit Prüfkörper Ic:
Anfangsbelastung $P_u = 300$ kg.
Laststufen $P_o = 3300, 5300, 7300, 9800, 15\,100, 17\,700, 21\,100, 24\,400$.
Bruch auf der Laststufe 24 400 kg nach 15 281 Lastspielen.
Sicherheitsgrad für oftmals wiederholte Zugbelastung:

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{Zulässige Last (BE)}} = \frac{24\,400}{10\,530} = 2{,}3.$$

*) Aus der Feder des gleichen Verfassers erscheint demnächst in der „Bautechnik" ein umfassender Aufsatz zur allgemeinen Frage der Dauerfestigkeit von gelochten Stäben und Nietverbindungen.

[1]) Berlin 1926. Wilh. Ernst & Sohn.

[2]) G. Barner, Der Einfluß von Bohrungen auf die Dauerfestigkeit von Stahlstäben.



Änderungen an den Meßstrecken A u. B (Mittelwerte) in mm

Abb. 2. Lastlängenänderungslinien für Prüfkörper I.

Bruchlast beim gewöhnlichen Zugversuch mit der Probe gleicher Abmessungen I a 34 050 kg.

$$\frac{\text{Bruchlast (gewöhnlicher Zugversuch)}}{\text{zulässige Last (BE)}} = \frac{34\,050}{10\,400} = 3{,}2.$$

Die obere Grenze, bei der der Körper als Ganzes sich noch elastisch verhält, darf bei rd. 21 000 kg $\left(\tau_d = \frac{21\,000}{9{,}28} = 2260 \text{ kg/cm}^2\right)$ angenommen werden.

In Abb. 2 sind die beim statischen *(g)* und Dauerversuch *(d)* gemessenen gesamten, federnden und bleibenden Längenänderungen der Meßstrecken *A* und *B* gegenübergestellt. Außerdem sind die beim Dauerzugversuch aufgetretenen gesamten und bleibenden Längenänderungen in Abb. 2, auf die Belastungen P_u und P_o bezogen, dargestellt und schließlich sind die beim Dauerzugversuch erreichten jeweiligen Belastungs-Ausgleichzustände in den einzelnen Laststufen durch die als eingerahmte Zahlen eingetragenen Lastwechsel gekennzeichnet. Wie aus Abb. 2 ersichtlich, liegen die Lastlängenänderungslinien ($P - \eta$ - Linien) beim Dauerversuch unter denjenigen des statischen Zugversuchs.

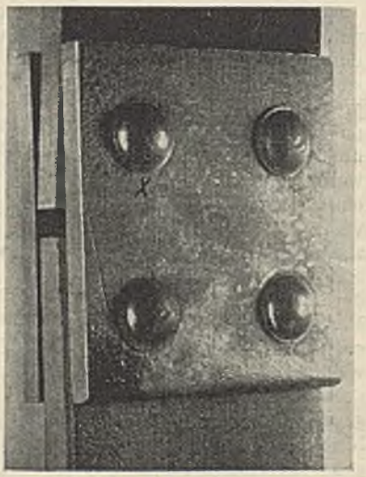


Abb. 3. Nietverbindung Ia nach dem durch statische Belastung hervorgerufenen Bruch eines Nietes (bei *x*).

Abb. 3 zeigt die Nietverbindung Ia nach dem gewöhnlichen Zugversuch und den Bruch der Niete durch Abscheren. Lange vor dem Erreichen der Bruchlast waren Zunderabsprengungen an den Schließköpfen bei 26 300 kg und Aufkrümmen der Laschenenden nach außen bei 29 300 kg wahrzunehmen.

Beim Dauerzugversuch wurde die Verformung der Laschen und Niete unter Lastwechseln $\begin{pmatrix} P_u = 300 \text{ kg} \\ P_o = 24\,400 \text{ kg} \end{pmatrix}$ deutlich sichtbar, nach 8000 Lastwechseln sprang Zunder an den Schließköpfen ab, nach 14 825 Lastwechseln der untere Setzkopf eines Nietes. Der Bruch der Nietverbindung Ic trat nach 15 281 Lastwechseln durch Zerstörung der Niete in der unteren Hälfte ein (Abreißen von zwei Setzköpfen und einem Schließkopf).

Abb. 4 zeigt die Nietverbindung Ia nach dem Bruch, Abb. 5 den Zustand der Nietlöcher im Blech.

Der Zustand der gleichzeitig in die Prüfmaschine eingespannten Nietverbindung Id nach dem Bruch von Ic zeigt, daß nach der weitgehenden Verformung der Laschen und Niete und der Öffnung des Spaltes an der Stoßstelle der Bruch auf der gleichen Stufe (24 400 kg) mit Sicherheit zu erwarten war. Von einer Fortsetzung des Versuches wurde deshalb abgesehen.

Während beim gewöhnlichen Zugversuch die Niete durch Abscheren zerstört wurden, führten beim Dauerzugversuch Zug- und Biegungsanstrengungen (ausmittige Kraftübertragung) zum Abreißen der Nietköpfe und zum Bruch im mittleren Teil. An den Scherflächen sind nur kleine Verdrückungen (Abb. 4) entstanden.

b) Prüfkörper II.

Zulässige Belastung nach BE 20 790 kg.

Zugehörige Scherspannung $\tau = 1120 \text{ kg/cm}^2 = 0{,}8\,\sigma_{zul}$.

Zugehöriger Lochwanddruck $\sigma_l = 1325 \text{ kg/cm}^2$.

Dauerversuche mit den Prüfkörpern II c und II d:

Anfangsbelastung $P_u = 300$ kg.

Laststufen $P_o = 3300, 5300, 7300, 9800, 15\,100, 17\,700, 21\,100, 24\,400, 30\,100, 36\,900, 42\,100, 44\,400, 46\,400$.

Bruch auf der Laststufe 46 400 kg nach 22 228 Lastwechseln.

Sicherheitsgrad für oftmals wiederholte Zuganstrengung:

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{46\,400}{20\,790} = 2{,}23.$$

Bruchlast beim gewöhnlichen Zugversuch mit dem Prüfkörper gleicher Abmessungen II a 68 000 kg und damit

$$\frac{\text{Bruchlast (gewöhnl. Zugversuch)}}{\text{zul. Belastung (BE)}} = \frac{68\,000}{20\,790} = 3{,}27.$$

Die obere Grenze, bei der sich der Prüfkörper als Ganzes noch elastisch verhält, darf bei rd. 42 000 kg angenommen werden

$$\left(\tau_d = \frac{42\,000}{18{,}56} = 2260 \text{ kg/cm}^2\right).$$

Die Abb. 6 enthält sinngemäß die gleichen Darstellungen wie Abb. 2, bezogen auf die Prüfkörper II. Auch hier liegen beim Dauerversuch die Längenänderungslinien ($P - \eta$-Linie) unter denjenigen des statischen Zugversuches.

Bemerkenswerte Feststellungen beim gewöhnlichen Zugversuch IIa:

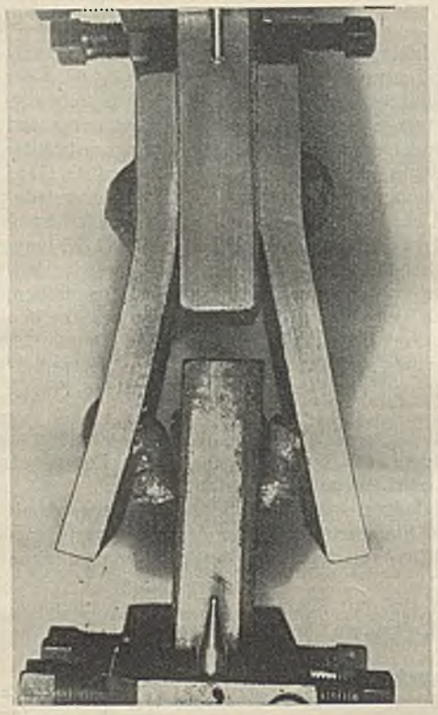


Abb. 4. Nietverbindung Ic nach dem Bruch (Dauerversuch)

Verformung der Laschen bei 49 500 kg deutlich sichtbar, Abspringen von Zunder an den Setz- und Schließköpfen der äußeren Niete bei 52 000 kg, Streckfiguren an den Schmalseiten der Bleche im Querschnitt der äußeren Nietreihen, bei 60 000 kg Streckfiguren an den Breitseiten der Bleche.

Bei der Nietverbindung II b trat der Bruch bei 68 000 kg durch Abscheren der Niete in der unteren Hälfte ein. Die Niete der Verbindung II a waren bei 68 000 kg so stark verformt, daß eine Steigerung der Höchstlast über 68 000 kg nicht zu erwarten war.

Bemerkenswerte Feststellungen beim Dauerversuch:

Auf der Laststufe $P = 46\,400$ kg wurde nach 9455 Lastspielen die Verformung der Laschen deutlich sichtbar, nach 14 027 Lastspielen sprang erstmals Zunder an den Schließköpfen der äußeren Niete ab. Nach 22 228 Lastspielen brach die Nietverbindung II d durch Zerstören der Niete in der oberen Stoßhälfte. Das Bruchbild ist aus Abb. 7 zu ersehen. Die Nietschäfte waren stark verdrückt, die Nietlochränder sowohl im Blech als in den Laschen weitgehend verformt. Bei der Nietverbindung II c waren unmittelbar vor dem Bruch Laschen und Niete besonders in einer Stoßhälfte stark verformt.

c) Prüfkörper III.

Zulässige Belastung nach BE 30 180 kg bei III a
30 020 kg bei III b.

Zugehörige Scherspannung $\tau = 1095 \text{ kg/cm}^2 = 0{,}78\,\sigma_{zul}$.
1090 „

Zugehöriger Lochwanddruck $\sigma_l = 1270 \text{ kg/cm}^2$
1280 „ .

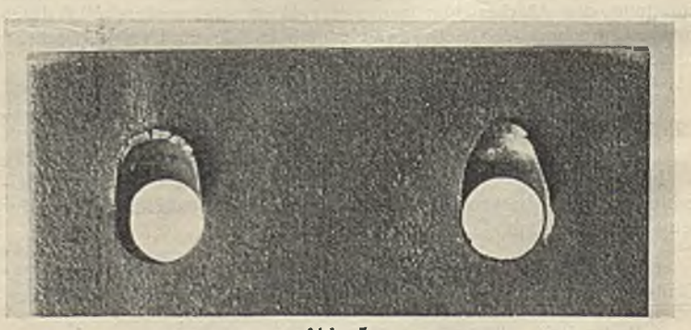


Abb. 5.
Unteres Blech der Nietverbindung Ic nach dem Dauerversuch.

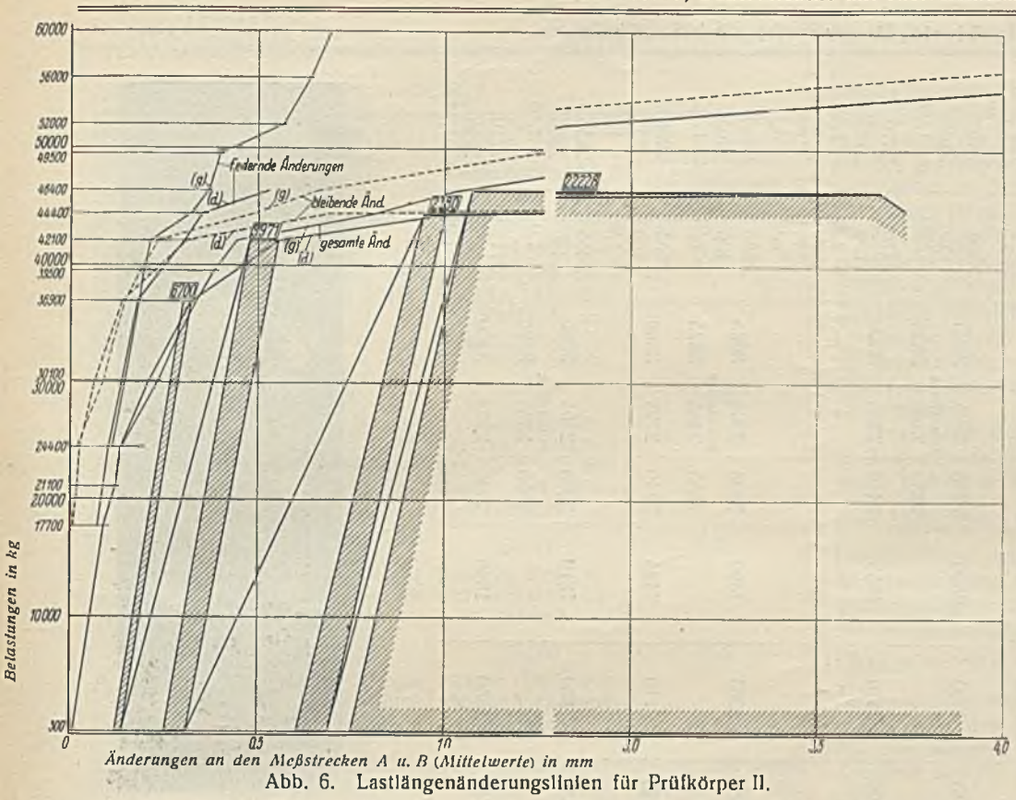


Abb. 6. Lastlängenänderungslinien für Prüfkörper II.

Zugehörige Spannung im verschwächten Querschnitt

$$\sigma = 1400 \text{ kg/cm}^2 = \sigma_{zul}.$$

Dauerversuche III c und III d:

Anfangsbelastung $P_u = 300$ kg.

Laststufen $P_o = 7300$, 9800, 15 100, 16 300, 18 000, 19 300, 21 000, 24 500, 30 000, 36 000, 42 000, 44 500, 46 500, 49 500, 52 000, 54 500, 57 500.

Bruch auf der Laststufe 57 500 kg nach 13 861 Lastspielen.

Sicherheitsgrad für oftmals wiederholte Zuganstrengung:

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuche)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{57\,500}{30\,180} = 1{,}90.$$

Bruchlast beim gewöhnlichen Zugversuch mit dem Prüfkörper gleicher Abmessung III a 87 900 kg.

$$\frac{\text{Bruchlast (gewöhnlicher Zugversuch)}}{\text{zul. Belastung (BE)}} = \frac{87\,900}{30\,180} = 2{,}91.$$

Die obere Grenze, bei der sich der Prüfkörper als Ganzes noch elastisch verhielt, darf bei rund 54 000 kg angenommen werden

$$\left(\tau_d = \frac{54\,000}{27{,}6} = 1955 \text{ kg/cm}^2;\quad \sigma = \frac{54\,000}{21{,}27} = 2538 \text{ kg/cm}^2\right).$$

Wiederum enthält Abb. 8 sinngemäß die gleichen Darstellungen wie Abb. 2 u. 6, bezogen auf die Prüfkörper III. Die Lastlängenänderungslinien ($P - \eta$-Linien) liegen beim Dauerversuch unter denjenigen des statischen Zugversuches.

Bemerkenswerte Feststellungen. Gewöhnlicher Zugversuch. Bei 52 000 kg Streckfiguren an den Schmalseiten des Bleches im Querschnitt der äußeren Nietreihen, bei 58 000 kg Absprengen von Zunder an der Breitseite des Bleches neben den Laschen, bei 60 000 kg Streckfiguren auf der Breitseite des Bleches neben den Laschen, bei 64 000 kg Zunderablösungen des Bleches an einer Einspannstelle, bei 72 000 kg Streckfiguren auf den Breitseiten des Bleches zwischen den Nietverbindungen III a und III b, bei 76 000 kg Zunderablösungen an den Breitseiten der Laschen, bei 79 900 kg kreuzweise verlaufende Streckfiguren auf den Laschen zwischen den Nietlöchern der ersten und zweiten Nietreihe, außerdem Streckfiguren an den Schmalseiten der Laschen, bei 87 900 kg Bruch der Nietverbindung III b durch Reißen des Bleches in dem durch die äußere Nietreihe verschwächten Querschnitt. Abb. 9 zeigt die Nietverbindung III b nach dem Bruch und nach dem Abnehmen der Schließkopflasche.

Dauerzugversuch. Beim Dauerzugversuch konnten schon auf der Laststufe 300 bis 52 000 kg Zunderabsprengungen auf einer Breitseite des Bleches neben den Laschen und Streckfiguren auf den Schmalseiten des Bleches im Querschnitt der äußeren Nietreihen beobachtet werden. Auf der Höchststufe nahm die Zunderablösung zu und die Streckfiguren traten nach wenigen Lastspielen deutlich in Erscheinung. Nach 51 Lastspielen wurde bei III c je eine Streckfigur auf den Breitseiten des Bleches neben den Laschen sichtbar, nach 13 861 Lastspielen zwischen $P_u = 300$ und $P_o = 57\,500$ kg erfolgte der Bruch der Verbindung III c durch Abreißen des Bleches in dem durch die äußere Nietreihe verschwächten Querschnitt.

Abb. 10 zeigt die Bruchfläche des Bleches der Nietverbindung III c.

Die gleichzeitig geprüfte Nietverbindung III d zeigte starke Verformungen des Bleches, besonders in der Umgebung der äußeren Niete. Nach dem Ausbau und dem Abnehmen der Schließkopflasche konnten von den äußersten Nietlochrändern aus-

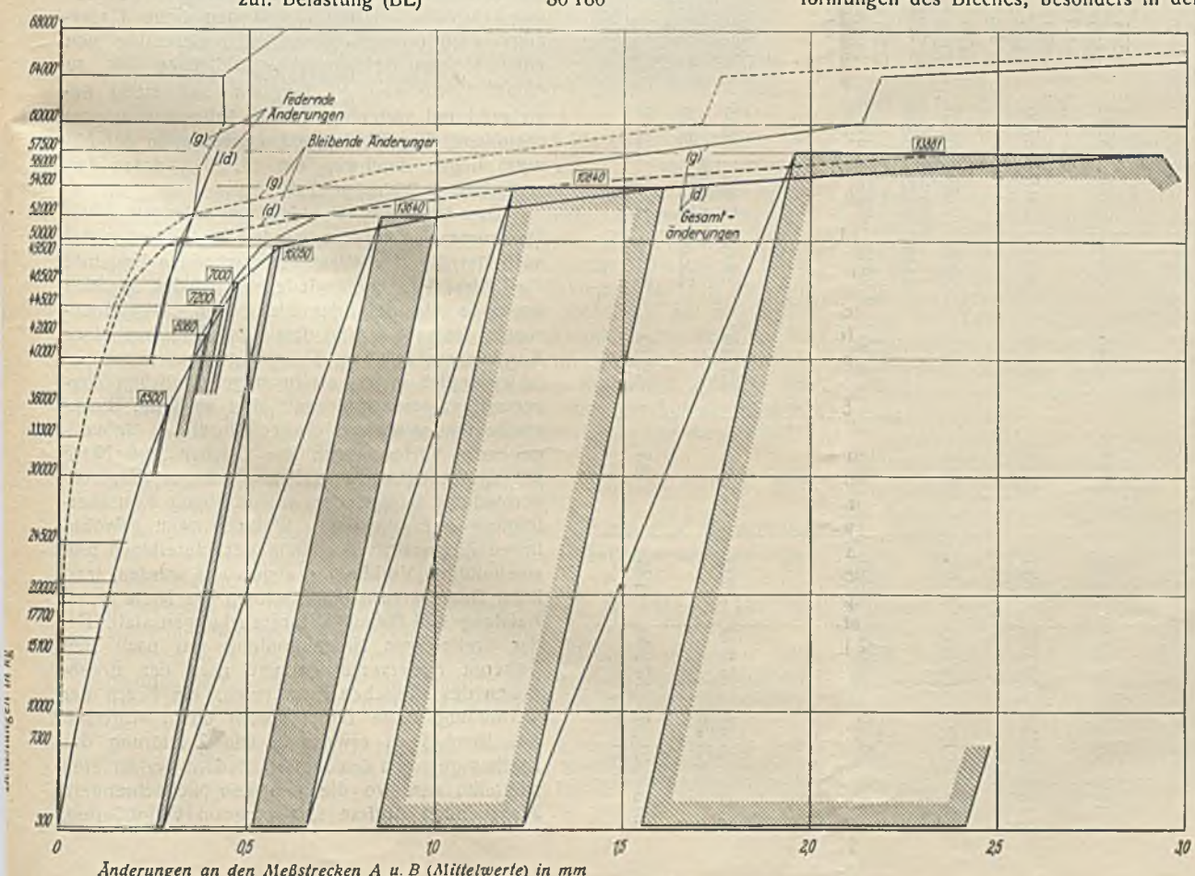


Abb. 8. Lastlängenänderungslinien für Prüfkörper III.

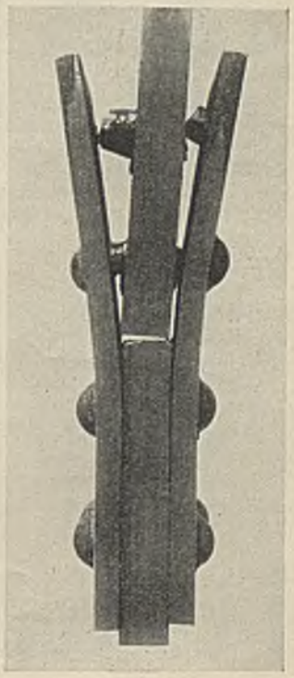


Abb. 7. Nietverbindung II d nach dem Dauerversuch.

DER STAHLBAU
Beilage zur Zeitschrift „Die Bautechnik"

Tafel 1.

Gewöhnliche Zugversuche

Bezeichnung des Stabes	Blechquerschnitt F_n cm²	Belastungen, Zugspannungen Scherspannungen, Lochwanddrücke: Höchstlast kg	Zugehörige Spannungen: Zugspannung $\sigma = \frac{P}{F_n}$ kg/cm²	Scherbeanspruchung $\tau = \frac{P}{\frac{2\pi}{4} \cdot d^2 n}$ kg/cm²	Lochwanddrücke $\sigma_l = \frac{P}{d n \cdot \delta}$ kg/cm²	Werkstoffprobe: Streckgrenze σ_{S_o} oben kg/cm²	Streckgrenze σ_{S_u} unten kg/cm²	Zugfestigkeit kg/cm²	Sicherheitsgrad: Höchstlastfestigkeit zul. Spannung $\frac{\sigma_H}{\sigma_{zul}}$	Höchstlastfestigkeit untere Streckgrenze $\frac{\sigma_H}{S_u}$
Ia	21,34	34 050	1595	3670	4285	2510	2315	3780	$\frac{1595}{1400} = 1,14$	$\frac{1595}{2315} = 0,69$
Ib	21,34	39 100	1830	4215	4930	2510	2315	3780	$\frac{1830}{1400} = 1,3$	$\frac{1830}{2315} = 0,79$
IIa	21,27	68 000	3195	3665	4355	2555	2365	3825	$\frac{3195}{1400} = 2,28$	$\frac{3195}{2365} = 1,35$
						Mittelstück 2440	2225	3500		
IIb	21,22	68 000	3205	3665	4355	2440	2225	3500	$\frac{3205}{1400} = 2,29$	$\frac{3205}{2225} = 1,44$
IIIa	21,48 (21,56)	87 900	4090	3185	3710	2395	2305	3665	$\frac{4090}{1400} = 2,92$	$\frac{4090}{2305} = 1,77$
						Mittelstück 2555	2365	3825		
IIIb	21,27 (21,44)	87 900	4135	3185	3775	2440	2225	3500	$\frac{4135}{1400} = 2,95$	$\frac{4135}{2225} = 1,86$

Dauerzugversuche

Bezeichnung des Stabes	Blechquerschnitt F_n cm²	Belastungen, Zugspannungen Scherspannungen, Lochwanddrücke: Bruchlast durch Dauerversuch ermittelt	Zugehörige Spannungen: Zugspannung $\sigma = \frac{P}{F_n}$ kg/cm²	Scherbeanspruchung $\tau = \frac{P}{\frac{2\pi}{4} \cdot d^2 n}$ kg/cm²	Lochwanddrücke $\sigma_l = \frac{P}{d n \cdot \delta}$ kg/cm²	Werkstoffprobe: Streckgrenze σ_{S_o} oben kg/cm²	Streckgrenze σ_{S_u} unten kg/cm²	Zugfestigkeit kg/cm²	Sicherheitsgrad: Dauerbruchfestigkeit zul. Beanspruchung	Dauerbruchfestigkeit untere Streckgrenze
									$\frac{\tau_{d\,max}}{\tau_{zul}}$	$\frac{\tau_{d\,max}}{\sigma_{S_u}}$
Ic	21,16	24 400	1155	2595	3065	2510	2315	3780	$\frac{2595}{1120} = 2,3$	$\frac{2595}{2315} = 1,1$
Id	21,02	24 400	1160	2595	3035	2510	2315	3780	$\frac{2595}{1120} = 2,3$	$\frac{2595}{2315} = 1,1$
IIc	21,65	46 400	2145	2500	2890	2395	2305	3665	$\frac{2500}{1120} = 2,23$	$\frac{2500}{2305} = 1,09$
						Mittelstück 2555	2365	3825		
IId	20,91	46 400	2220	2470	2955	2440	2225	3500	$\frac{2470}{1120} = 2,2$	$\frac{2470}{2225} = 1,12$
									$\frac{\sigma_{d\,max}}{\sigma_{zul}}$	$\frac{\sigma_{d\,max}}{\sigma_{S_u}}$
IIIc	21,32 (21,21)	57 500	2680	2065	2390	2395	2305	3665	$\frac{2680}{1400} = 1,91$	$\frac{2680}{2305} = 1,16$
						Mittelstück 2555	2365	3825		
IIId	21,56 (21,41)	57 500	2685	2110	2485	2440	2225	3500	$\frac{2685}{1400} = 1,92$	$\frac{2685}{2225} = 1,2$
IVc	21,65	57 500	2655	1560	1810	2395	2305	3605	$\frac{2655}{1400} = 1,9$	$\frac{2655}{2305} = 1,15$
						Mittelstück 2555	2365	3825		
IVd	21,39	57 500	2710	1550	1840	2440	2225	3500	$\frac{2710}{1400} = 1,94$	$\frac{2710}{2225} = 1,22$

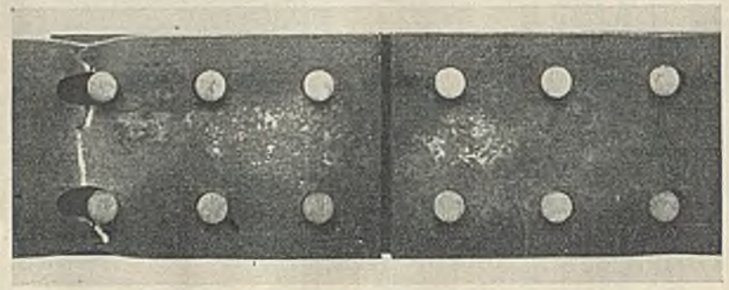


Abb. 9. Nietverbindung IIIb nach dem Dauerversuch und nach Entfernung der Schließkopflasche.

gehende Anrisse festgestellt werden. Die starken Verformungen des Bleches und die Risse und der Verlauf der Linie der Längenänderungen bezogen auf die Zahl der Wiederholungen weisen darauf hin, daß der Bruch auf der Laststufe 57 500 bestimmt zu erwarten war.

Zusammenfassung. Die wichtigsten Ergebnisse der ersten Versuchsreihe sind in Tafel 1 übersichtlich zusammengestellt. Die Höchstlasten beim Dauerzugversuch (oftmals wiederholte Belastung von einer kleinen Anfangslast $P_u = 300$ kg bis zu einem Höchstwert P_o langsam und stetig ansteigend und nach einer kleinen Ruhepause wieder absinkend, insgesamt drei Lastwechsel in der Minute) liegen durchweg um rd. 33% unter den statischen Bruchlasten (Tafel 2).

Das Verhalten der Nietverbindungen beim Dauerversuch mit ansteigenden Laststufen, wobei auf jeder der Höchstlast vorangehenden Laststufe die Lastspiele solange wiederholt wurden, bis eine dauernde Abnahme der bleibenden Längenänderungen festgestellt und damit das Erreichen eines Ausgleichzustandes mit Sicherheit zu erwarten war, ist wesentlich anders als beim gewöhnlichen Zugversuch. Dementsprechend sind auch die Brucherscheinungen andere. Augenfällig treten die weitgehenden Verformungen der Laschen und Niete bei der einreihigen und zweireihigen Zugstoßverbindung infolge der außermittigen Kraftübertragung in Erscheinung. Während beim gewöhnlichen Zugversuch die Niete der einreihigen und zweireihigen Verbindung abgeschert wurden, fand beim Dauerversuch ein Zerstören der Niete durch Axialzug- und Biegungsbeanspruchungen statt. Bei der dreireihigen Nietverbindung war nach den früheren Dauerversuchen und nach den Ergebnissen des statischen Zugversuchs ein Bruch der Verbindung beim Dauerversuch durch Abreißen des Bleches zu erwarten. Die Zerstörung des Bleches ging von den Nietlochrändern der äußeren Nietreihe aus, wo die von den Nietlochrändern ausgehenden Anrisse sich langsam vergrößerten,

Tafel 2.

Nietverbindung	Höchstlasten: Gewöhnlicher Zugversuch kg	Höchstlasten: Dauerzugversuch kg	Dauerbruchlast / stat. Bruchlast
einreihig	36 600 Bruch durch Abscheren der Niete	24 400 Verbiegung der Laschen, Abreißen der Nietköpfe und Biegungsbruch der Niete im Schaft	0,67
zweireihig	68 000 Bruch durch Abscheren und Kopfabreißen der Niete	46 400 Verbiegung der Laschen, Abreißen der Nietköpfe und Bruch des Nietschaftes	0,68
dreireihig	87 900 Bruch des Blechs im verschwächten Querschnitt	57 500 Bruch im Blech, von den Nietlöchern ausgehend	0,65
vierreihig	87 900 Bruch des Blechs im verschwächten Querschnitt	57 500 Anrisse im Blech, von den Nietlöchern ausgehend	0,65

bis infolge der damit verbundenen Querschnittverschwächung das durch Fließerscheinungen gekennzeichnete Abreißen eintrat. Bei der nach den Vorschriften der BE bemessenen dreireihigen Nietverbindung (IIIc und IIId) wurde das Blech bis zur Streckgrenze ausgenutzt,

$$\frac{\text{Dauerbruchfestigkeit}}{\text{Untere Streckgrenze}} = \frac{P_{d\,max}}{\frac{F_n}{\sigma_{S_u}}} = \frac{2685}{2225} = 1{,}2.$$

Die Dauerbruchfestigkeit dieser dreireihigen Nietverbindung liegt höher als die Ursprungsfestigkeit des gelochten Bleches (nach Barner 0,55 · 3500 = 1925 kg/cm²). Dabei ist zu beachten, daß örtlich an den Stellen der Spannungsspitzen die Streck- und Quetschgrenze überschritten wurde, worauf die Verformung der Nietlochwände hinweist. Das außerordentlich

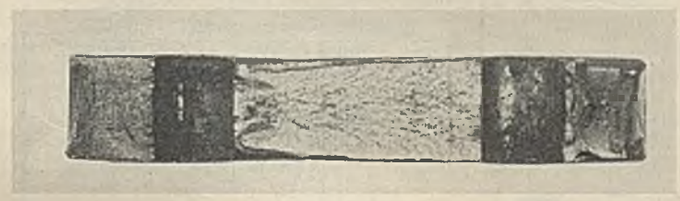


Abb. 10. Bruchfläche der Nietverbindung IIIc (Dauerversuch).

günstige Ergebnis zeigt, daß die Nietverbindung sich bei oftmals wiederholter Belastung auf den jeweiligen Belastungszustand einzuspielen vermag, daß in der Nietverbindung ein teilweiser Spannungsausgleich eintritt, wobei die Verfestigungsfähigkeit des Werkstoffs eine wichtige Rolle spielt. Nach den aus statischen Versuchen vorliegenden Erkenntnissen[3]) ist bei der mehrreihigen Nietverbindung der Anteil der Nietreihen an der Kraftübertragung vom Blech auf die Laschen sehr verschieden, so entfällt z. B. bei der dreireihigen Zugstoßverbindung auf die äußersten Nieten der größte, auf die mittleren Niete der kleinste Kraftanteil solange die Spannungen unter der Proportionalitäts- bzw. der Streckgrenze liegen. Auf höheren Belastungsstufen tritt eine Annäherung an die theoretischen Grenzfälle ein:

a) Stab und Laschen starr, Niete elastisch, bei dem die Stabkraft sich gleichmäßig auf alle Niete verteilt,
b) Stab und Laschen elastisch, Niete starr, bei dem nur die äußeren und inneren Niete beansprucht, alle dazwischenliegenden spannungslos bleiben,

je nachdem die Beanspruchung der Bolzen oder die der Stäbe und Laschen zuerst die Streckgrenze erreicht.

Aus den bei den Dauerversuchen gemachten Feststellungen geht deutlich hervor, daß durch die oftmalige Wiederholung der Belastung auf den verschiedenen Belastungsstufen tatsächlich ein teilweiser Spannungsausgleich eintritt, so daß sich die Verbindung als Ganzes auch bei örtlicher Überschreitung der Streck- oder Quetschgrenze noch elastisch verhält. Fände ein Spannungsausgleich, ein Einspielen der Nietverbindung auf den jeweiligen Belastungszustand nicht statt, so würden die Stellen stark örtlichen Spannungsanstiegs (Spannungsspitzen) viel früher zum Dauerbruch führen.

Die bezüglich der Nietscherfläche überdimensionierte vierreihige Nietverbindung (IVc und IVd) ($\sigma_{zul\,(Stab)} = 1400$ kg/cm², $\tau_{(Niet)} = 825$ kg/cm² $= 0{,}59 \cdot \sigma_{zul}$) ergab beim Dauerversuch die gleiche Höchstlast wie die dreireihige Nietverbindung (IIIc und IIId) mit dem gleichen Stab- und Laschenquerschnitt. Das war von vornherein zu erwarten, nachdem bereits bei der dreireihigen Nietverbindung der Dauerbruch durch Abreißen des Stabes in dem verschwächten Querschnitt der äußeren Nietreihe eingetreten war.

Die oberen Belastungsgrenzen, bei denen sich die Nietverbindungen im Dauerversuch als Ganzes noch hinreichend elastisch verhielten, wurden bei Ic und Id zu 21 000 kg, bei IIc und IId zu 42 000 kg gefunden, was einer Anstrengung von $\frac{21\,000}{9{,}28} = \frac{42\,000}{18{,}56} = 2260$ kg bezogen auf 1 cm² Nietscherfläche entspricht. Beim Überschreiten dieser Grenzen nahmen die gesamten und bleibenden Längenänderungen stark zu; bei jeder Lastwiederholung wurde Arbeit verbraucht, bis schließlich der Bruch eintrat. Bei der dreireihigen Nietverbindung wurde die Elastizitätsgrenze auf der Laststufe 49 000 kg erreicht, was einer Anstrengung von $\frac{49\,000}{27{,}6} = 1780$ kg auf 1 cm² Nietscherfläche entspricht. Auf der nächsthöheren Laststufe ist das Blech an dem durch Nietlöcher verschwächten Querschnitt gebrochen. Mit dem aus den Versuchen I und II ermittelten Wert von 2260 kg/cm² errechnet sich für die dreireihige Nietverbindung der erforderliche Nietscherquerschnitt aus $\frac{49\,000}{2260} = 21{,}7$ cm², gegenüber 27,6 cm² beim Prüfkörper III. Mit der zulässigen Belastung nach BE und 21,7 cm² Nietscherfläche wird $P_{zul} = 1400 \cdot 21{,}48 = 30\,180$ kg und $\tau'_{zul} = \frac{30\,180}{21{,}7} = 1400$ kg/cm². Hiernach erscheint eine Erhöhung der zulässigen Scherspannung von $0{,}80\,\sigma_{zul}$ auf σ_{zul} unbedenklich. Die für die praktische Anwendung entscheidende obere Belastungsgrenze, auf 1 cm² Nietscherfläche bezogen, liegt erheblich über dem von Bach angegebenen Gleitwiderstand der Nietverbindung (1000 bis 1500 kg auf 1 cm² Nietscherfläche). Von Bach und Baumann haben bekanntlich in der durch die Klemmwirkung der Niete hervorgerufenen Reibung zwischen den vernieteten Eisenteilen, d. h. im Gleitwiderstand die Größe gesehen, die für die Güte der Nietverbindung maßgebend sei und betont, daß die Grundanschauung, auf welcher das Vorgehen der Bauingenieure (nämlich die Berechnung der Niete auf Abscheren und Lochwanddruck) beruhe und damit das letztere selbst unrichtig sei, daß vielmehr der Widerstand gegen Gleiten bei der Nietverbindung entsprechend den tatsächlichen Verhältnissen in die erste Linie gestellt werden müsse[4]). Auch Schwedler hat in seiner grundlegenden Arbeit über die Berechnung der Nietverbindungen ausdrücklich darauf hingewiesen, daß „die Festigkeit der Nietverbindung meist durch die Reibung der Bleche aufeinander bedingt sei".

Die von Schachenmaier in seinem Vortrag über „Die Zähigkeit der Flußeisensorten als Sicherheitsgrad bei Eisenbauten" (Hauptversammlung des Deutschen Stahlbauverbandes 1922) vertretene Auffassung[5]), daß sich mit wachsenden Belastungen infolge der dem Werkstoff innewohnenden Zähigkeit ein Ausgleich der Belastungen und Spannungen vollziehe und eine Verfestigung eintrete, daß sich diese günstigen Wirkungen bis zu einem gewissen Grade auch bei oftmals wiederholten Belastungen zeige, kommt den tatsächlichen Verhältnissen sehr nahe. Die Ergebnisse der Stuttgarter Dauerversuche mit Nietverbindungen in St 37 stehen der Bach'schen Auffassung nicht entgegen, haben aber andererseits die Zweckmäßigkeit der von Schwedler eingeführten Berechnungs- und Bemessungsverfahren bestätigt.

Bisher bestand ein unüberbrückbarer Widerspruch zwischen der in der Praxis üblichen Berechnung und den Ergebnissen genauer Messungen im praktisch zulässigen Spannungsbereich beim statischen Zugversuch. Der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Last auf die einzelnen Niete stand eine beim gewöhnlichen Zugversuch nachgewiesene weitgehend ungleichmäßige Kraftverteilung gegenüber. Die Dauerversuche haben die Verhältnisse geklärt; dabei sind wertvolle neue Erkenntnisse gewonnen worden, die mit den praktischen Erfahrungen durchaus in Einklang stehen. Bei oftmals wiederholter Belastung im zulässigen Belastungsbereich ändert sich die Kraftverteilung; sie ist beim Erreichen des Ausgleichszustandes wesentlich günstiger als bei der einmaligen

[3]) Vgl. A. Hertwig u. H. Petermann: „Über die Verteilung einer Kraft auf die einzelnen Niete einer Nietreihe". Stahlbau, Jahrg. 2, Heft 25 vom 13. Dezember 1929. — Findeisen, Heft 229 der Forschungsarbeiten des VDI.

[4]) C. v. Bach, Die Maschinenelemente. 13. Aufl., Bd. I. — Baumann, Das Wesen der Nietverbindung. Bauing. 1925. — Vgl. Weyrauch, Die Festigkeitseigenschaften und die Methoden der Dimensionenberechnung bei Eisen- und Stahlkonstruktionen. Leipzig 1889, B. G. Teubner.

[5]) Bauing. 1922, Heft 24.

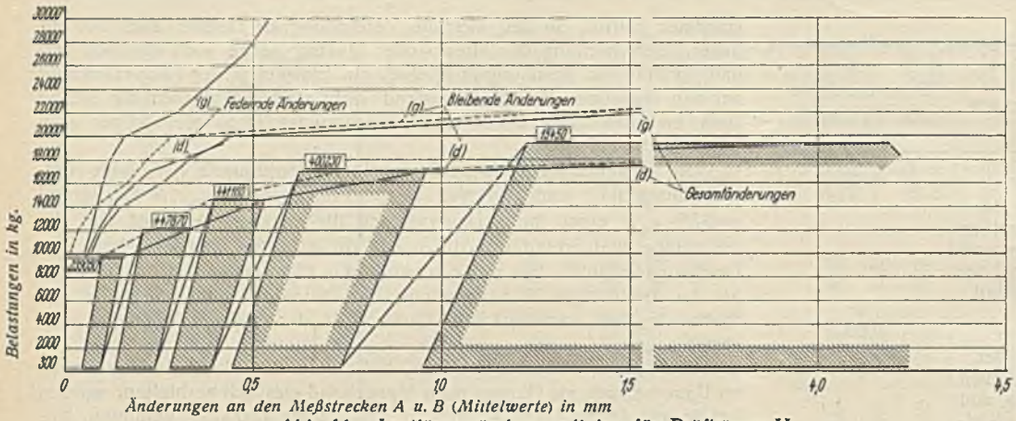


Abb. 11. Lastlängenänderungslinien für Prüfkörper V.

Belastung, so daß mit vollkommen elastischem Verhalten der Verbindung als Ganzes gerechnet werden darf.

Innerhalb der aus Dauerversuchen hergeleiteten Anstrengungsgrenzen gelten sonach die mathematischen Gesetze der Elastizitätslehre. Die Übertragung der neuen Erkenntnisse auf die Praxis, d. h. die Anwendung einer auf Dauerprüfergebnissen aufgebauten Festigkeitsrechnung, verbürgt die betriebssichere Ausführung dynamisch beanspruchter Bauwerke.

2. Gruppe.

Die Anordnung der Prüfkörper dieser Versuchsreihe ist ebenfalls aus Abb. 1 zu ersehen.

Die Messungen während des Versuchs mußten mit Rücksicht auf die verfügbaren Mittel auf die Verfolgung der gesamten federnden und bleibenden Längenänderungen der Meßstrecken *A* und *B* beschränkt werden. Um an Zeit zu sparen, wurden die Laststufen verringert und die Lastwechsel in der Minute von 3 auf 26 bis 27 erhöht.

Im einzelnen ist zu bemerken:

d) Prüfkörper V.

Bleche aus St 37, Niete aus St 34.

Zulässige Belastung 9740 kg,

Zugehörige Scherspannung im Nietschaft $\tau = 1070\ \text{kg/cm}^2 = 0{,}765\ \sigma_{zul}$.

Zugehöriger Lochwanddruck $\sigma_l = 2800\ \text{kg/cm}^2 = 2{,}0\ \sigma_{zul}$,

Zugehörige Zugspannung im verschwächten Querschnitt

$$\sigma = 585\ \text{kg/cm}^2 = 0{,}42\ \sigma_{zul}.$$

Dauerversuch V d.

Anfangsbelastung $P_u = 800\,\text{kg}\left(\text{entsprechend } \sigma = \frac{P}{F_n} = \text{rd. } 50\,\text{kg/cm}^2\right)$.

Laststufen $P_o = 9700$, 12100, 14600, 17000 und 19400.

Bruch auf der Laststufe 19 400 kg nach 15 450 Lastspielen (Abreißen des Bleches in dem durch die Nietlöcher verschwächten Querschnitt).

Sicherheitsgrad für oftmals wiederholte Zugbelastung:

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{19400}{9720} = 1{,}99.$$

Bruchlast beim gewöhnlichen Zugversuch mit dem Prüfkörper gleicher Abmessungen (Bruch durch Abscheren der Niete) V b 31 000 kg.

$$\frac{\text{Bruchlast (gewöhnlicher Zugversuch)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{31000}{9740} = 3{,}18.$$

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{Bruchlast (stat. Zugversuch)}} = \frac{19400}{31000} = 0{,}63.$$

Die obere Grenze, bei der der Körper als Ganzes sich noch elastisch verhält, darf bei rd. 18000 kg $\left(\sigma_l = \frac{18000}{3{,}47} = 5190\ \text{kg/cm}^2\right)$ angenommen werden.

Abb. 11 zeigt sinngemäß die gleichen Darstellungen wie Abb. 2, 6 und 8, bezogen auf die Prüfkörper V, und Abb. 12 einen Längsschnitt durch die Nietverbindungen Vc (deutlich sichtbare Streckfiguren).

e) Prüfkörper VI.

Zulässige Belastung nach BE $\begin{matrix} 19\,520\ \text{kg (VI a)} \\ 19\,600\ \text{kg (VI b)} \end{matrix}$,

Zugehörige Scherspannungen $\tau = 1070\ \text{kg/cm}^2 = 0{,}765\ \sigma_{zul}$,
$= 1060\ \text{kg/cm}^2 = 0{,}757\ \sigma_{zul}$.

Zugehöriger Lochwanddruck $\sigma_l = 2800\ \text{kg/cm}^2 = 2{,}0\ \sigma_{zul}$,
$= 2800\ \text{kg/cm}^2 = 2{,}0\ \sigma_{zul}$.

Zugehörige Spannung im verstärkten Querschnitt
$\sigma = 1160\ \text{kg/cm}^2 = 0{,}83\ \sigma_{zul}$,
$= 1170\ \text{kg/cm}^2 = 0{,}84\ \sigma_{zul}$.

Dauerversuche VI c und VI d.

Anfangsbelastung $P_u = 800$ kg.

Laststufen $P_o = 9700$, 12100, 19 400, 24 200, 28 800 und 34 000.

Bruch auf der Laststufe 34 000 kg nach 191 450 Lastwechseln.

Sicherheitsgrad für oftmals wiederholte Zuganstrengung:

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{34000}{19430} = 1{,}75.$$

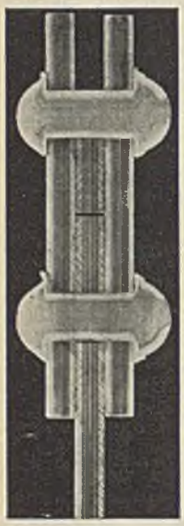


Abb. 12. Längsschnitt durch die Nietverbindung Vc nach dem Dauerzugversuch.

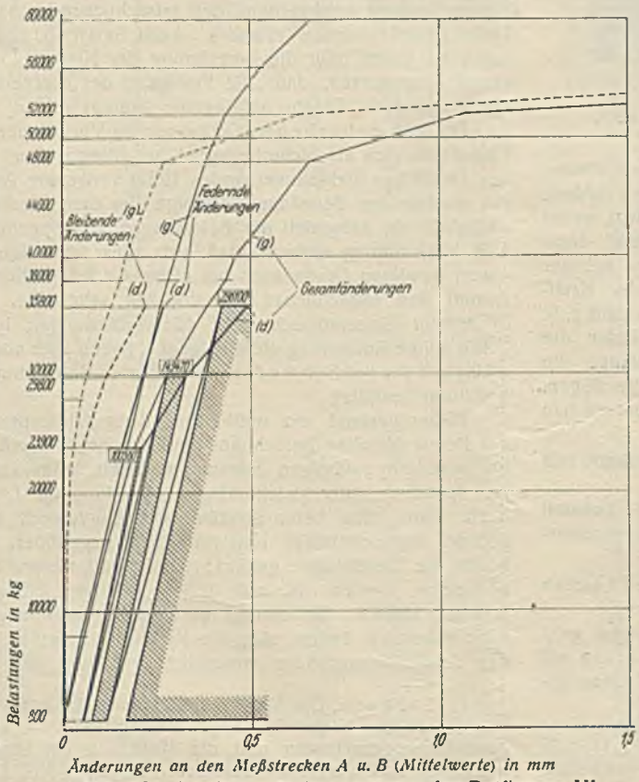


Abb. 13. Lastlängenänderungslinien für Prüfkörper VI.

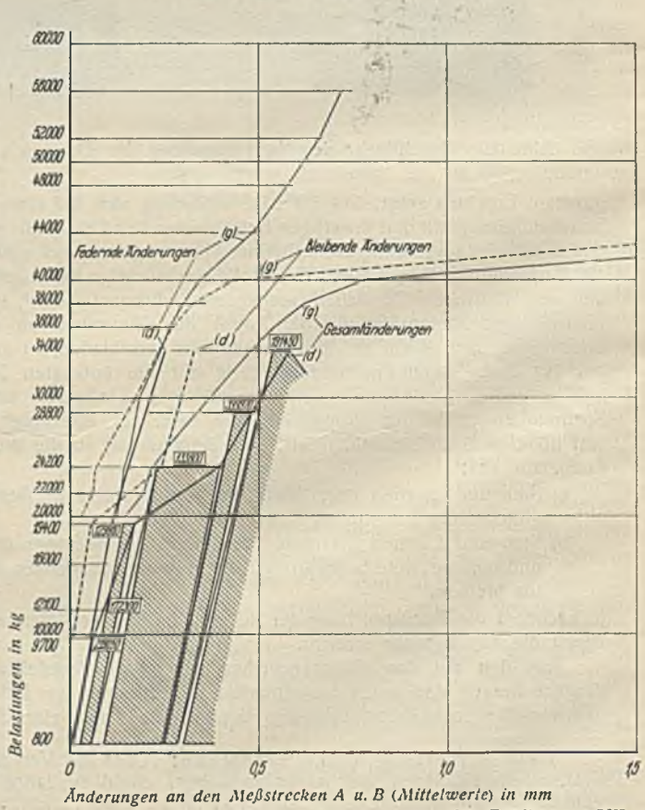


Abb. 15. Längslängenänderungslinien für Prüfkörper VII.

Tafel 3.

Gewöhnliche Zugversuche

Bezeichnung des Stabes	Abmessungen: Blechquerschnitt F cm²	Abmessungen: Blechquerschnitt F_n cm²	Belastungen, Zugspannungen Scherspannungen, Lochwanddrücke: Höchstlast kg	zugehörige Spannungen: Zugspannung $\sigma = \frac{P}{F_n}$ kg/cm²	zugehörige Spannungen: Scherbeanspruchung $\tau = \frac{P}{\frac{2\pi}{4} \cdot d^2 n}$ kg/cm²	zugehörige Spannungen: Lochwanddrücke $\sigma_l = \frac{P}{d n \cdot \delta}$ kg/cm²	Werkstoffprobe: Streckgrenze σ_{S_o} oben kg/cm²	Werkstoffprobe: Streckgrenze σ_{S_u} unten kg/cm²	Werkstoffprobe: Zugfestigkeit kg/cm²	Sicherheitsgrad: Höchstlastfestigkeit / zul. Spannung $= \frac{\sigma_H}{\sigma_{zul}}$	Sicherheitsgrad: Höchstlastfestigkeit / untere Streckgrenze $= \frac{\sigma_H}{S_u}$
Va	20,20	16,72	31 000	1860	3410	8930	3020	2900	4160	$\frac{1860}{1400} = 1,33$	$\frac{1860}{2900} = 0,64$
Vb	20,12	16,65	31 000	1860	3370	8880	3020	2900	4160	$\frac{1860}{1400} = 1,33$	$\frac{1860}{2900} = 0,64$
VIa	20,29	16,80	67 500	4000	3720	9640	3020	2900	4160	$\frac{4000}{1400} = 2,85$	$\frac{4000}{2900} = 1,38$
VIb	20,20	16,70	60 000	3590	3260	8600	3020	2900	4160	$\frac{3590}{1400} = 2,56$	$\frac{3590}{2900} = 1,24$
VIIa	20,29	16,80	80 400	4760	2950	7650	2975	2840	4145	$\frac{4760}{1400} = 3,4$	$\frac{4760}{2840} = 1,68$
VIIb	20,19	16,72	85 900	5140	3150	8260	3060	2965	4170	$\frac{5140}{1400} = 3,67$	$\frac{5140}{2965} = 1,74$

Dauerzugversuche

Bezeichnung des Stabes	Abmessungen Blechquerschnitt F_n cm²	Belastungen, Zugspannungen Scherspannungen, Lochwanddrücke: Bruchlast durch Dauerversuch ermittelt	zugehörige Spannungen: Zugspannung $\sigma = \frac{P}{F_n}$ kg/cm²	zugehörige Spannungen: Scherbeanspruchung $\tau = \frac{P}{\frac{2\pi}{4} \cdot d^2 n}$ kg/cm²	zugehörige Spannungen: Lochwanddrücke $\sigma_l = \frac{P}{d n \cdot \delta}$ kg/cm²	Werkstoffprobe: Streckgrenze σ_{S_o} oben kg/cm²	Werkstoffprobe: Streckgrenze σ_{S_u} unten kg/cm²	Werkstoffprobe: Zugfestigkeit kg/cm²	Sicherheitsgrad: Dauerbruchfestigkeit / zul. Beanspruchung	Sicherheitsgrad: Dauerbruchfestigkeit / untere Streckgrenze
									$\frac{\sigma_{l\,max}}{\sigma_{l\,zul}}$	$\frac{\sigma_{l\,max}}{\sigma_{S_u}}$
Vc	17,04	19 400	1140	2140	5590	2975	2840	4145	$\frac{5590}{3500} = 1,59$	$\frac{5590}{2840} = 1,97$
Vd	16,78	19 400	1170	2110	5620	2975	2840	4145	$\frac{5620}{3500} = 1,6$	$\frac{5620}{2840} = 1,98$
VIc	17,03	34 000	1990	1870	4900	2975	2840	4145	$\frac{4900}{3500} = 1,4$	$\frac{4900}{2840} = 1,73$
VId	16,80	34 000	2030	1870	4950	2975	2840	4145	$\frac{4950}{3500} = 1,41$	$\frac{4950}{2840} = 1,75$
									$\frac{\sigma_{d\,max}}{\sigma_{zul}}$	$\frac{\sigma_{d\,max}}{\sigma_{S_u}}$
VIIc	17,06	35 800	2090	1310	3440	2975	2840	4145	$\frac{2090}{1400} = 1,49$	$\frac{2090}{2840} = 0,735$
VIId	17,05	35 800	2090	1310	3410	3060	2965	4170	$\frac{2090}{1400} = 1,49$	$\frac{2090}{2965} = 0,705$
VIIIc	17,18	39 100	2280	1080	2820	2975	2840	4145	$\frac{2280}{1400} = 1,63$	$\frac{2280}{2840} = 0,8$
VIIId	17,03	39 100	2290	1080	2820	2975	2840	4145	$\frac{2290}{1400} = 1,64$	$\frac{2290}{2840} = 0,81$

Die obere Grenze, bei der sich der Prüfkörper als Ganzes noch elastisch verhält, darf bei rd. 29 000 kg angenommen werden

($\sigma_l = 29\,000 \approx 4180$ kg/cm²).

In Abb. 13 sind wiederum die gesamten federnden und bleibenden Längenänderungen der Proben VI gleichartig wie in den Abb. 2, 6, 8 u. 11 zusammengestellt. Die Laständerungslinien ($P - \eta$-Linien) liegen beim Dauerversuch wiederum unter denjenigen des statischen Zugversuches.

Beim gewöhnlichen Zugversuch VIa war die Verformung der Laschen bei 44 000 kg deutlich sichtbar; bei 48 000 kg zeigten sich die ersten Streckfiguren an einer Schmalseite des unteren Flacheisens (bei Querschnitt IV und Meßstrecke *B*), bei 52 000 kg Streckfiguren an beiden Schmalseiten der Flacheisen, bei Querschnitt I und IV, Zunderabsprengungen an dem Setzkopf eines Nietes, bei 56 000 kg an dem Setzkopf von allen Nieten der Querschnitte I und IV, sowie von einem Niet des Querschnitts II und bei 60 000 kg an allen sichtbaren Breitseiten der Flacheisen. — Abb. 14 zeigt einen Längsschnitt durch die Nietverbindung VIc mit deutlich sichtbaren Streckfiguren.

f) Prüfkörper VII.

Zulässige Belastungen nach BE

(23 520 kg bei VIIa)
(23 410 kg bei VIIb)'.

Zugehörige Scherspannung

$\tau = 865$ kg/cm² $= 0,618\ \sigma_{zul}$
$= 860$ kg/cm² $= 0,614\ \sigma_{zul}$

Zugehöriger Lochwanddruck

$\sigma_l = 2250$ kg/cm² $= 1,61\ \sigma_{zul}$
$= 2250$ kg/cm² $= 1,61\ \sigma_{zul}$,

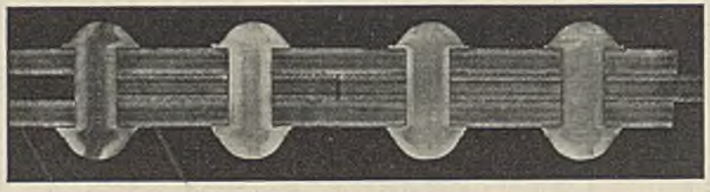


Abb. 14. Längsschnitt durch die Nietverbindung VIc nach dem Dauerzugversuch.

Bruchlast beim gewöhnlichen Zugversuch mit dem Prüfkörper gleicher Abmessungen VIa 67 500 kg, damit

$$\frac{\text{Bruchlast (gewöhnlicher Zugversuch)}}{\text{zul. Belastung (BE)}} = \frac{67\,500}{19\,520} = 3,46.$$

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{Bruchlast (stat. Zugversuch)}} = \frac{34\,000}{67\,500} = 0,5.$$

Zugehörige Zugspannung im schwächsten Querschnitt

$$\sigma = 1400\ \text{kg/cm}^2 = \sigma_{zul}$$
$$= 1400\ \text{kg/cm}^2 = \sigma_{zul}.$$

Dauerversuche VIIc und VIId.

Anfangsbelastung $P_u = 800$ kg.

Laststufen $P_o = 23\,900$, $29\,800$ und $35\,800$.

Bruch auf der Laststufe 35 800 kg nach 296 100 Lastwechseln.

Sicherheitsgrad oftmals wiederholter Zuganstrengung:

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuche)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{35\,800}{23\,870} = 1{,}5.$$

Bruchlast beim gewöhnlichen Zugversuch mit dem Prüfkörper gleicher Abmessung VIIb 85 900 kg,

$$\frac{\text{Bruchlast (gewöhnlicher Zugversuch)}}{\text{zul. Last (BE)}} = \frac{85\,900}{23\,410} = 3{,}67,$$

$$\frac{\text{Bruchlast (Dauerversuch)}}{\text{Bruchlast (stat. Zugversuch)}} = \frac{35\,800}{85\,900} = 0{,}42.$$

Die obere Grenze, bei der sich der Prüfkörper als Ganzes noch elastisch verhielt, darf bei rd. 31 000 kg angenommen werden.

$$\left(\sigma_l = \frac{31\,000}{10{,}45} = 2960\ \text{kg/cm}^2 \text{ und } \sigma = \frac{31\,000}{17{,}05} = 1818\ \text{kg/cm}^2\right).$$

Abb. 15 enthält sinngemäß die gleichen Darstellungen wie die Abb. 2, 6, 8, 11 und 13, bezogen auf die Prüfkörper VII.

Beim gewöhnlichen Zugversuch zeigten sich bei 52 000 kg die ersten Streckfiguren an beiden Schmalseiten des Flacheisens bei Querschnitt I, bei 56 000 kg Streckfiguren an den Schmalseiten von beiden Flacheisen neben den Laschen, bei 60 000 kg Zunderabsprengungen an allen sichtbaren, unbearbeiteten Flächen der Flacheisen, bei 85 900 kg trat der Bruch der Nietverbindung VIIb durch Reißen des Flacheisens im Querschnitt VI ein.

Zusammenfassung. Die wichtigsten Ergebnisse der Versuchsreihe einschließlich eines Dauerversuchs mit vier Nietreihen sind in Tafel 3 übersichtlich zusammengestellt. Die Höchstlasten beim Dauerzugversuch (oftmals wiederholte Belastung von einer kleinen Anfangslast $P_u = 800$ kg bis zu einem Höchstwert P_o stetig ansteigend und nach einer kleinen Ruhepause wieder absinkend, insgesamt 26 bis 27 Lastwechsel in der Minute) liegen bis zu 57 % unter den statischen Bruchlasten (Tafel 4).

Tafel 4.

Nietverbindung	Höchstlasten: Gewöhnlicher Zugversuch kg	Höchstlasten: Dauerzugversuch kg	Dauerbruchlast / stat. Bruchlast
einreihig	31 000 Bruch durch Abscheren der Niete	19 400 Bruch durch Reißen des Flacheisens	0,63
zweireihig	63 750 Bruch durch Abscheren der Niete	34 000 Bruch durch Reißen des Flacheisens	0,53
dreireihig	83 150 Bruch durch Reißen des Flacheisens	35 800 Bruch durch Reißen des Flacheisens	0,43
vierreihig	—	39 100 Bruch durch Reißen des Flacheisens	—

Während beim gewöhnlichen (statischen) Zugversuch bei der einreihigen Nietverbindung die Niete abgeschert wurden, bei der zweireihigen Nietverbindung der Bruch durch Abscheren der Niete unter gleichzeitigem Ausreißen des Bleches in der oberen Hälfte eintrat, bei der dreireihigen Nietverbindung die Bleche in den Querschnitten der äußeren Nietreihen gerissen sind, ergab die Dauerprüfung für die ganze Versuchsreihe die charakteristischen, von den Lochrändern der äußeren Nietreihe ausgehenden Anrisse, bis schließlich die Zerstörung nach einer mehr oder weniger großen Zahl von Wiederholungen der Höchstlast durch Abreißen der Bleche in den durch die Nietlöcher und die Anrisse verschwächten Querschnitten eintrat.

In der Abb. 16 sind die bei den ein-, zwei-, drei- und vierreihigen Nietverbindungen aus den Dauerbruchlasten errechneten Anstrengungen (σ_{max}, $\sigma_{l_{max}}$ und τ_{max}) übersichtlich aufgetragen. Die Größtwerte der Anstrengungen, die für den Bruch ausschlaggebend waren, sind dabei durch Doppelringe gekennzeichnet. Beachtenswert ist, daß schon bei der zweireihigen Verbindung eine verhältnismäßig hohe Dauerbruchlast erreicht wurde. Gegenüber einer Dauerbruchfestigkeit des gelochten Zugstabes, die bei dem verwendeten Werkstoff (St 37) nach den Versuchen Prof. Grafs zu $^9/_{10}$ der Streckspannung σ_{S_u} gefunden wurde, ist infolge der mit der Kraftübertragung durch die Nietbolzen verbundenen ungünstigeren Spannungsverteilung eine Herabsetzung der Dauerbruchfestigkeit von $^9/_{10} \cdot 2800 = 2520$ kg/cm² auf 2030 kg/cm² (VId) eingetreten.

Von vornherein war zu erwarten, daß durch die dritte und vierte Nietreihe und die damit verbundene Ermäßigung des Lochwanddruckes

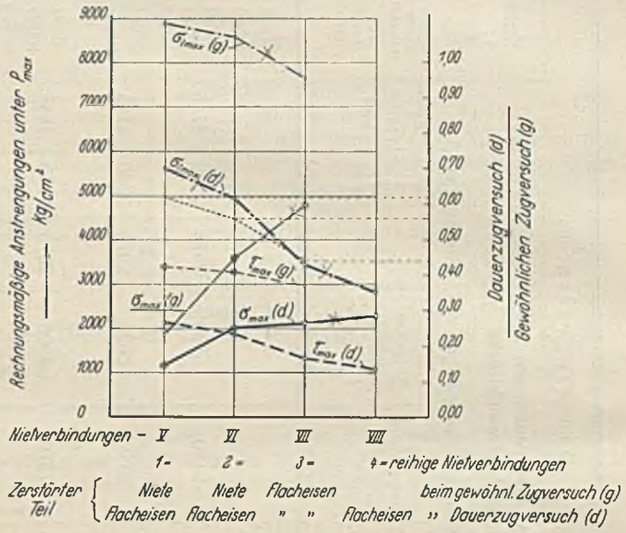


Abb. 16. Übersichtliche Darstellung der aus den Dauerbruchlasten jeweils errechneten Beanspruchungen.

die Dauerfestigkeit gesteigert werden konnte. Die Erhöhung der Dauerfestigkeit auf 2090 kg/cm² bei der dreireihigen und 2290 kg/cm² bei der vierreihigen Verbindung ist jedoch nicht bedeutend.

Der Einfluß der Größe des Lochwanddruckes auf die Dauerfestigkeit der Nietverbindung geht aus Abb. 17 hervor, wo die Lochwanddrucke als Abszissen, die zugehörigen Dauerbruchlasten des gelochten und mit Nietbolzen belasteten Bleches als Ordinaten aufgetragen sind. Von der Ursprungsfestigkeit des gelochten Stabes ausgehend, zeigt sich ein ziemlich stetig verlaufender Dauerfestigkeitsabfall mit zunehmender Größe des Lochwanddruckes, der mit höheren Spannungsspitzen am Lochrand verbunden ist. Überschreitet der Lochwanddruck eine gewisse Grenze (im vorliegenden Fall für St 37 4900 kg/cm²), so tritt ein plötzlicher Dauerfestigkeitsabfall auf, die Kurve von σ_d biegt aus ihrem bisherigen Verlauf scharf nach unten ab. Bei der dreireihigen Nietverbindung, die den Vorschriften der BE entspricht, ergaben die Versuche aus $\frac{2090}{1400} = 1{,}49$ eine rund eineinhalbfache Sicherheit gegen Dauerbruch. Der zur Grenzspannung $\sigma_{max} = \frac{P}{F_n} = 2090$ kg/cm² zugehörige Lochwanddruck errechnet sich zu 3440 kg/cm². Auf Grund der Ergebnisse der vorliegenden Versuchsreihe erscheint es unbedenklich, den Lochwanddruck durch Verringerung der Blechdicke auf 4800 kg/cm² zu steigern. Dieser Grenzanstrengung entspricht bei 1,5facher Sicherheit eine zulässige Anstrengung von $\frac{4800}{1{,}5} = 3200$ kg/cm² oder rd. $2{,}3\,\sigma_{zul}$. Eine volle Ausnutzung der Dauerfestigkeit des gelochten Zugstabes läßt sich erreichen nach den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe (vgl. „Stahlbau" 1930, Heft 24, S. 281; Prüfkörper $A\,3\,d$ (dz, 1 und dz, 2) und Prüfkörper IIIc und IIId des vorliegenden Berichtes), wenn der Lochwanddruck der Verbindung $\sigma_l \leqq 2{,}0\,\sigma_{zul}$ gewählt wird.

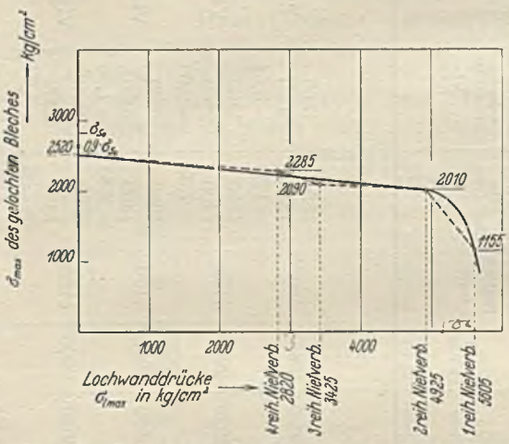


Abb. 17. Einfluß der Größe des Lochwanddruckes auf die Dauerfestigkeit der Nietverbindungen.

Zur näheren Bestimmung der Grenzanstrengungen sind einige Ergänzungsdauerversuche in Angriff genommen.

Für die Schriftleitung verantwortlich: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg.
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 8.
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.