

Stücke eingestellt ist oder wenn der Nietschaft etwas länger als die theoretische Länge ist.

Den verschiedenen Forderungen entspricht am besten die Druckwasser-Nietmaschine, dessen Pumpe durch einen Elektromotor angetrieben wird. Diese Maschine kann auch am Bauplatz verwendet werden, da die elektrische Leitung billig und leicht versetzbar ist, die hydraulische oder pneumatische Leitung hingegen teuer und der Frostgefahr ausgesetzt ist. Die hydraulische Presse selbst kann mit einer schwer frierenden Flüssigkeit, z. B. Glycerin-Wasser-Lösung, gefüllt werden.

Eine solche elektro-hydraulische Nietmaschine ist von SPIELMANN in der Z. V. D. I. 1914, S. 95, und die Maschine „System Oerlikon“ in Le Génie Civil, 1908, Nov. 28, beschrieben.

Heutzutage werden bereits vollkommene automatische Nietmaschinen erzeugt (siehe: Eisenbau 1913, S. 130, und Z. V. D. I. 1913, S. 1261), die man von vornherein auf einen bestimmten Maximaldruck einstellen kann. Bei Erreichung des Maximaldruckes wird ein Uhrwerk in Gang gesetzt, welches die Anzahl der verflossenen Sekunden anzeigt.

Bei solchen Maschinen sind also die Größe und die Dauer des Schließdruckes nicht der Schätzung des Arbeiters überlassen und für ihre Beurteilung wird nicht die Aufmerksamkeit des letzteren beansprucht, der hingegen sein ganzes Augenmerk auf die richtige Durchführung der Nietung richten kann.

III. Der Lochleibungsdruck der Niete

10. Theoretische Erklärung der Frage

Der Abstand der äußersten Niete in der Krafrichtung vom Blechrande wurde früher allgemein mit $e = 1,5 D$ angenommen. (S. Abb. 12.)

Diesen Wert fand z. B. auch MEHRTENS (Eisenbrückenbau I, 132), wobei er annahm, daß gegen Ausreißen die Scherfestigkeit einer Fläche von $2 \cdot y \cdot \delta$ widersteht.

Mit der Annahme eines Leibungsdruckes $\sigma_l = 2 \cdot \sigma$ wird also $P = D \cdot \delta \cdot \sigma_l = 2 \cdot D \cdot \delta \cdot \sigma = 2 \cdot y \cdot \delta \cdot \sigma_l$ und mit $\sigma_l = \sigma$ bekommt man $y = D$, also $e = y + \frac{D}{2} = 1,5 D$.

Dieser Wert ist jedoch zu klein, nachdem die Scherfestigkeit des Bleches mit Sicherheit nicht höher als $0,75 \sigma$ anzunehmen ist, was bereits eine Randentfernung $e = 1,83 D$ gibt.

Beim Reißen der Verbindung wird aber der Querschnitt „y“ nicht nur auf Abscherung, sondern auch auf Zug und Biegung beansprucht, und die Versuche haben tatsächlich auch gezeigt, daß für einen Leibungsdruck $\sigma_l = 2 \cdot \sigma$ eine Randentfernung $e = 2 \cdot D$ notwendig ist.

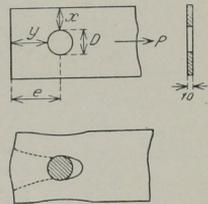


Abb. 12

Allgemein ist daher das Verhältnis $\left(\frac{e}{D}\right)$ eine Funktion des Lochleibungsdruckes

$$\frac{e}{D} = f\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right).$$

Je größer also diese Verhältniszahl $\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$ durch eine Vorschrift festgelegt ist,

mit desto größerem Wert von $\frac{e}{D}$ muß beim Entwerfen gerechnet werden.

Auf Grund der unten angeführten Versuchsergebnisse werden wir in der Lage sein, obige Funktion festzustellen.

II. Versuche über die Lochleibungsfestigkeit

a) Diósgyőrer Versuche vom Jahre 1896 bis 1898.

Aus Anlaß des Baues der Budapester Erzsébet-Brücke wurden in Diósgyőr durch den Verfasser eingehende Versuche zur Festlegung der Abmessungen der

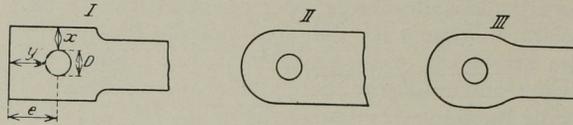


Abb. 13

Kettenglieder und besonders der Kettenköpfe nach drei verschiedenen Formen ausgeführt. Siehe Abb. 13.

Von diesen Versuchsergebnissen haben wir jene zusammengefaßt, bei denen der Riß in der Richtung „y“ erfolgte, welche also für die Festlegung der Abmessungen „y“ und „e“ maßgebend sind.

Tafel 9

Form	Abmessungen mm				Zugfest. d. Bleches σ	Belastung P Tonne	Leibungs- druck σ_l	Ergebnis	
	x	y	D	δ				$\frac{\sigma_l}{\sigma}$	$\frac{e}{D}$
I	33,8	25,2	40	10,5	4990	24,5	5850	1,17	1,13
	34,0	29,8	40	10,35	4990	26,8	6480	1,30	1,25
	34,0	35,3	40	10,1	4990	30,0	7440	1,49	1,38
	34,0	37,2	40	10,6	4990	31,5	7440	1,49	1,43
II	36,4	29,9	36	9,9	5200	25,0	7020	1,35	1,33
	36,8	35,2	36	9,9	5200	26,7	7480	1,44	1,48
	37,0	40,0	36	10,0	5200	30,8	8570	1,65	1,61
	29,6	29,6	36	10,0	5200	24,5	6800	1,31	1,33
III	35,9	35,7	40,1	10,54	5060	30,7	7280	1,44	1,39
	37,9	37,7	40,1	10,45	5060	31,1	7280	1,44	1,44
	37,8	39,7	40,1	10,45	5060	31,3	7340	1,45	1,49
	31,0	40,0	40,3	10,15	5060	29,9	7320	1,45	1,50
	31,9	41,2	40,3	10,50	5060	29,1	6860	1,36	1,52

b) Versuche mit Nietverbindungen in Diósgyőr 1909.

Bei diesen schon unter 3. c) erwähnten Versuchen erfolgte der Bruch nach der Richtung „y“ in vier Fällen, und zwar:

Tafel 10

Material	Zugfest. d. Bleches σ	Dicke δ mm	Bruch- kraft P_t	Leibungs- druck σ_l	Verhältniszahlen	
					$\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$	$\left(\frac{e}{D}\right)$
Flußeisen	4200	10,0	18,8	8 950	2,13	2,14
	4200	10,0	18,6	8 860	2,11	
Nickelstahl	5600	10,4	31,0	14 200	2,54	2,14
	5600	10,4	31,0	14 200	2,54	

c) *Versuche von F. ENGESSER (Z. V. D. I. 1889).*

Aus den schon oben erwähnten Versuchen von F. ENGESSER teilen wir einige Versuchsergebnisse bezüglich des Lochleibungsdruckes mit, und zwar:

a) *Verbindungen mit Schrauben*

- bei $\sigma_l = 7500 \text{ kg/qcm} = 2,2 \cdot \sigma \dots$ Schraube beginnt ins Blech einzudringen
- „ $\sigma_l = 9000 \text{ kg/qcm} = 2,6 \cdot \sigma \dots$ Beginn der Stauchung des Bleches
- „ $\sigma_l = 10500 \text{ kg/qcm} = 3,1 \cdot \sigma \dots$
 - { Blechdicke ist gestaucht von 5 auf 7,5 mm
 - { das Loch hat sich von 20 auf 30 mm gedehnt

β) *Verbindungen mit Stahlnieten*

- bei $\sigma_l = 15250 \text{ kg/qcm} = 4,4 \cdot \sigma \dots$ Dehnung des Loches um 60%
- „ $\sigma_l = 16400 \text{ kg/qcm} = 4,8 \cdot \sigma \dots$
 - { Starke Stauchung des Bleches
 - { Nietköpfe springen ab

Auf Grund dieser Versuche stellt ENGESSER fest, daß mit σ_l eine gewisse Grenze nicht zu überschreiten ist und gibt als obere Grenze im Einvernehmen mit GERBER $\sigma_l = 2 \sigma$ an.

d) *Die Versuche von Dr. A. DÖRNEN.*

„Die bisherigen Anschlüsse steifer Fachwerkstäbe und ihre Verbesserung“, Berlin, W. Ernst & Sohn. 1924.

Tafel II
Versuche mit zweischnittigen Nietverbindungen

	Rand- entfernung $\left(\frac{c}{D}\right)$	Leibungs- druck $\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$	Art des Reißens	Anmerkungen
—	2,22	2,00	y	Die Abmessung „e“ ist gerade an der Grenze
1	2,35	1,60	x	Die Abmessung „e“ ist zu stark
2	3,16	3,20	x	Die Abmessung „e“ ist gerade an der Grenze
3	3,16	—	y	Nietloch dehnte sich um 100%
3a	3,00	3,50	y	Nietloch dehnte sich um 150% Grenzwert, berechnet aus der unter 3 ermittelten Bruchkraft

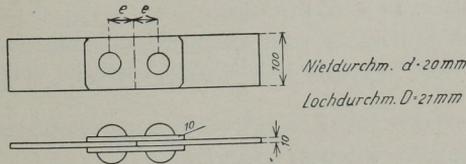


Abb. 14

Auf Grund dieser Versuche empfiehlt DÖRNEN:

- bei einem Leibungsdruck $\sigma_l = 2 \sigma$ eine Randentfernung $e = 2,5 D$,
- „ „ „ $\sigma_l = 3 \sigma$ „ „ $e = 3,33 D$.

e) Die Versuche der deutschen Reichsbahngesellschaft.

Die Hauptverwaltung der deutschen Reichsbahnen hat in der allerneuesten Zeit ebenfalls Versuche zur Feststellung des Lochleibungsdruckes durchführen lassen, deren Ergebnisse durch WEIDMANN in der „Bautechnik“ 1927, Heft 46, veröffentlicht wurden.

Die Versuche wurden mit zweischnittigen Überlaschungen aus St. 48 und St. 37 durchgeführt.

Von diesen Ergebnissen haben wir in Tafel 12 diejenigen Gruppen-Mittelwerte zusammengefaßt, welche für die verschiedenen $\left(\frac{e}{D}\right)$ -Verhältniszahlen die entsprechenden $\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$ -Werte liefern; wir haben bei der Bildung der Mittelwerte ausgeschlossen die Versuche der Gruppe „g“, welche nicht durch Aufschlitzen, sondern durch Querbruch des Bleches gerissen sind.

Tafel 12

Material	$\left(\frac{e}{D}\right)$	Leibungsdruck kg/qcm		Zugfestigkeit des Bleches	Zul. Inanspruchnahme im Blech	$\left(\frac{\sigma_{ls}}{\sigma_0}\right) = a$	$\left(\frac{\sigma_l}{\sigma_B}\right)$
		beim Fließen	beim Bruch				
		σ_{ls}	σ_l				
Stahl 48	1,75	5700	9 760	5340	1820	3,13	1,83
	2,0	6180	11 750				
	2,50	7640	13 200				
Stahl 37	2,50	6200	9 930	3760	1400	4,40	2,64

WEIDMANN befaßte sich besonders mit der Feststellung des Leibungsdruckes, welcher beim Beginn des Fließens entsteht und fand dessen Verhältnis zur zulässigen Zuginanspruchnahme $a = \frac{\sigma_{ls}}{\sigma_{zul}}$ zwischen 3 ~ 4.

Ferner wurde durch mikrometrische Messungen der erste Knickpunkt des Diagramms, welcher also der Elastizitätsgrenze entspricht, bei $a = 1,5 \sim 2$ gefunden, welcher Wert in den Nietten einer Scherbeanspruchung von 900 bis 1200 kg/qcm entspricht.

Auf Grund dieser Ergebnisse fand WEIDMANN die Angabe der deutschen Vorschrift von $\sigma_l = 2,5 \cdot \sigma$ als gerechtfertigt.

Die Werte von Tafel 12 sind in Abb. 16 aufgetragen. Es zeigt sich, daß diese mit den Ergebnissen der Diósgyörer Versuche vollkommen in Einklang sind.

f) Die neueren Diósgyörer Versuche (1927/28).

Im Auftrage des Stahlausschusses hat Verfasser neuere Versuche ausgeführt, bei denen auch die Lochleibungsfestigkeit von zweiseitigen Laschenverbindungen untersucht wurde, und zwar aus Blechen von Flußeisen, Kohlenstoffstahl und Siliziumstahl. Die Endergebnisse sind in Tafel 13 und 14 zusammengefaßt (siehe auch Abb. 14).

Tafel 13
Versuche mit Flußeisenblechen

Anzahl der Versuche	e mm	$\left(\frac{e}{D}\right)$	Leibungsdruck		Zugfestigkeit des Bleches	$\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$
			beim Fließen	beim Bruch		
			σ_{ls}	σ_l	σ kg/qcm	
2	20,5	0,97		4050	} 3840	1,05
3	30	1,43		6670		1,74
1	38	1,81		7300		1,90
4	40	1,90		8450		2,20
8	45	2,14	4530	9360		2,44
2	50	2,38		9950		2,59

Tafel 14
Versuche mit Stahlblechen

Material	Anzahl der Versuchen	e mm	$\left(\frac{e}{D}\right)$	Leibungsdruck		Zugfest. des Bleches	$\left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$
				beim Fließen	beim Bruch		
				σ_{ls}	σ_l kg/qcm	σ	
Karbonstahl	2	20	0,95		5 455	5120	1,06
	8	30	1,43		8 580	5160	1,66
	2	30	1,43		9 025	5450	1,66
	2	38	1,81		9 870	5160	1,91
	4	40	1,90		10 930	5200	2,10
	2	40	1,90		11 750	5450	2,16
	8	45	2,14	4910	11 730	5200	2,26
	2	50	2,38		12 750	5200	2,45
Si-Stahl	4	30	1,43		9 050	5270	1,72
	4	40	1,90		11 600	5270	2,20
	2	45	2,14		12 200	5270	2,32

Die Ergebnisse sind in Abb. 16 aufgetragen.

12. Zusammenhang zwischen dem Lochleibungsdruck und der Randentfernung der Niete

Auf Grund der im Punkt 9 unter a) bis d) und e) bis f) angeführten Versuchsergebnisse haben wir in Abb. 15 und 16 die dem Leibungsdruck entsprechenden Werte von $\frac{\sigma_l}{\sigma}$ als Funktion des Verhältnisses $\frac{e}{D}$ aufgetragen.

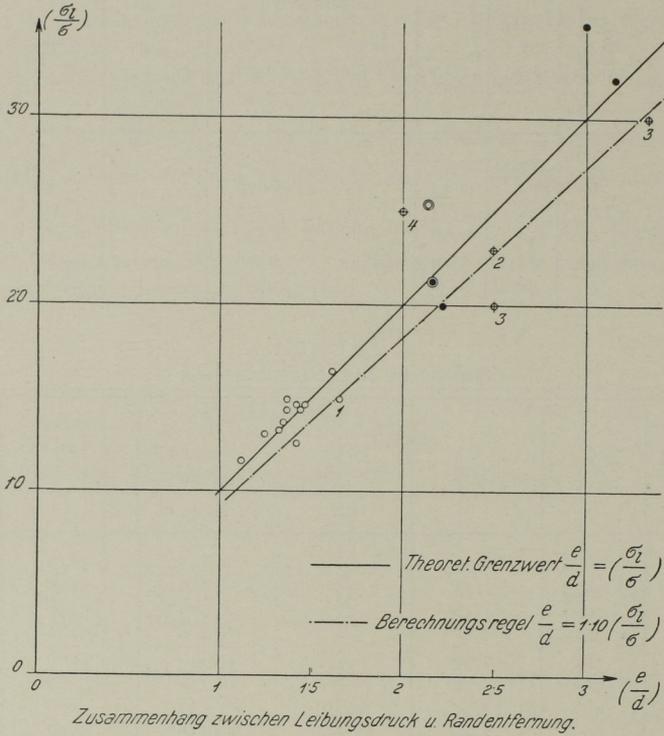
Nach dieser Darstellung bildet diese Funktion für die Werte von $\frac{e}{D} > 1$ eine Gerade, und zwar

nach Abb. 15 ist $\frac{e}{D} = \frac{\sigma_l}{\sigma}$

nach Abb. 16 ist $\frac{e}{D} = 0,93 \left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$

bzw. im ungünstigsten Falle..... $0,97 \left(\frac{\sigma_l}{\sigma}\right)$

Die Ergebnisse der älteren und neueren Versuche stimmen also sehr gut überein, und wenn wir uns noch versichern wollen, daß der Bruch nie durch Aufschlitzen,



- | | | |
|--------------|---|---|
| Versuche | { | ○ Versuche in Diósgyőr mit Kettengliedern. |
| | | ● " " " Nietverbindungen, Flusseisen. |
| | | ◐ " " " " Ni-Stahl |
| | | ◑ " v. Dr. Dörnen |
| Vorschriften | { | ⊛ ₁ Nach d. tatsächlichen Abmessungen d. Ketten-Köpfe. |
| | | ⊛ ₂ Nach d. ungarischen vorläufigen Vorschriften. |
| | | ⊛ ₃ Nach d. Vorschriften v. Dörnen. |
| | | ⊛ ₄ Nach d. deutschen Vorschriften von 1925. |

Abb. 15

sondern immer senkrecht zur Stabachse (Querbruch) entstehe, so können wir den Zusammenhang

$$\frac{e}{D} = 1,10 \left(\frac{\sigma_l}{\sigma} \right)$$

als Berechnungsgrundlage annehmen.

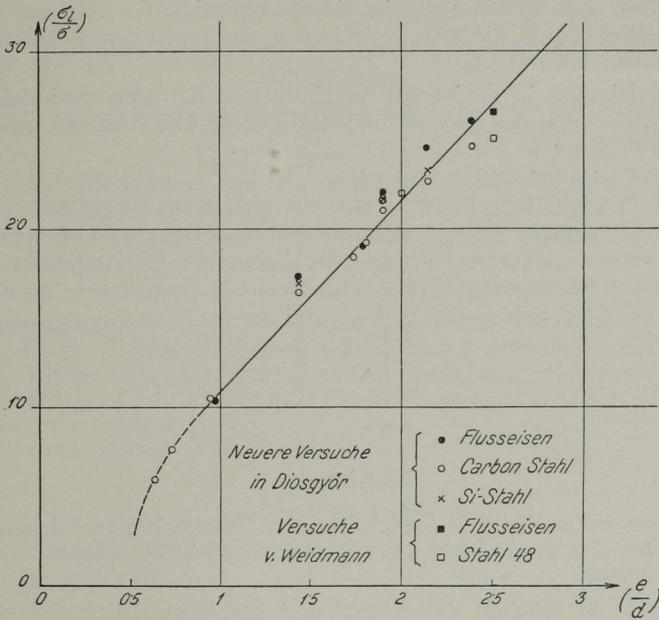


Abb. 16

13. Der obere Grenzwert des Lochleibungsdruckes

Alle vorgeführten Versuche — abgesehen von ein bis zwei Ausreißerwerten — bestätigten den Zusammenhang:

$$\frac{\sigma_l}{\sigma} = \frac{e}{D}$$

Theoretisch könnte daher der Leibungsdruck σ_l beliebig groß gewählt werden, wenn nur die Randentfernung „e“ genug groß ist. (S. Abb. 17.)

In der Wirklichkeit hat jedoch der Leibungsdruck eine obere Grenze, nämlich dort, wo im Blech unter dem Flächen- druck eine starke Stauchung auftritt. Wird der Druck weiter gesteigert, so findet ein Schrumpfen des Bleches und endlich ein Einreißen desselben statt. Wird jedoch die Stauchung behindert, dann — wie es die Versuche von ENGESSER zeigten — springen die Nietköpfe ab.

Nach ENGESSERS Versuchen mit verschraubten Ver- bindungen beginnt eine wahrnehmbare Stauchung des Bleches bereits bei einem Leibungsdruck $\sigma_l = 2,6 \cdot \sigma$, und bei $\sigma_l = 3,1 \sigma$ erreicht die Stauchung bereits 50% der Blechstärke, und gleich- zeitig dehnen sich auch die Löcher um 50%, bei $\sigma_l = 4,8 \sigma$ endlich springen die Nietköpfe ab.

Nach einer Bemerkung von Dr. BOHNY ist die Dehnung der Nietlöcher eine Folge der Stauchung der Bleche. Diese Erklärung ist aber nur teilweise stichhaltig. So z. B. dehnen sich bei Zerreißproben mit Kettengliedern auch die Löcher um 30 bis 40% bereits bei einem sehr niedrigen $\sigma_l = (1,1 \text{ bis } 1,6) \cdot \sigma$ Leibungsdruck. Bei Zugversuchen mit gelochten Flacheisen- proben sogar, wo ja überhaupt kein Leibungsdruck vorhanden ist, dehnen sich

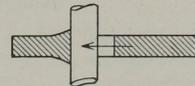
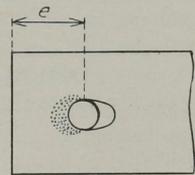


Abb. 17

die Löcher auch um 30 bis 40%, in diesem Falle ist die Dehnung des Loches also ausschließlich durch die örtliche Dehnung der neben dem Loch befindlichen gezogenen Fasern verursacht.

Die Lochdehnung in genieteten Verbindungen hat also zweierlei Ursachen, nämlich die Stauchung des Bleches und die örtliche Dehnung der Fasern im geschwächten Querschnitt.

Dr. DÖRNEN ist bei seinen Versuchen mit dem Leibungsdruck bis zur 3- bis 3,5fachen Blechfestigkeit gegangen, er hat aber die erwähnten Begleiterscheinungen nicht untersucht, sondern begnügt sich mit der Festlegung der notwendigen Randentfernung „ e “ und stellte als zulässiges Maximum des Leibungsdruckes $\sigma_l = 3 \cdot \sigma$ fest. Hingegen geben ENGESSER und WEIDMANN als Grenze $\sigma_l = 2,5 \sigma$ an.

Solange bezüglich wir großer Leibungsdrücke keine ausführlicheren Versuche vorliegen, halten auch wir $2,5 \cdot \sigma$ für den oberen Grenzwert. Als Berechnungsgrundlage schlagen wir vor einen Leibungsdruck $\sigma_l = 2,3 \sigma$, wobei eine Randentfernung $e = 2,5 D$ entspricht.

Anhang

Auszug aus den vorläufigen Vorschriften für Brückenkonstruktionen aus Eisen und Stahl, nach den Vorschlägen des ungarischen Stahl-Ausschusses.

A) Qualität der Eisen- und Stahlmaterialien

Tafel 15

	Flußeisen	Kohlenstoffstahl	Siliziumstahl
Konstruktions-Material			
Zugfestigkeit kg/qcm	3600 bis 4500	4900 bis 5800	4900 bis 5800
Streckgrenze kg/qcm	2400	2900	3400
Dehnung in der Längsrichtung . . .	27 bis 22 ⁰ / ₀	20 bis 18 ⁰ / ₀	21 bis 18 ⁰ / ₀
Dehnung in der Querrichtung . . .	25 bis 20 ⁰ / ₀	18 bis 16 ⁰ / ₀	19 bis 16 ⁰ / ₀
Nietmaterial			
Zugfestigkeit	3500 bis 4000	4500 bis 5300	4500 bis 5300
Streckgrenze	2300	2700	3100
Dehnung	32 bis 26 ⁰ / ₀	25 bis 21 ⁰ / ₀	25 bis 21 ⁰ / ₀
Scherfestigkeit	2500 bis 3300	3300 bis 4300	3300 bis 4300
Stahlguß			
Zugfestigkeit	5200		
Streckgrenze	2700		
Dehnung	12 ⁰ / ₀		
Gußeisen			
Zugfestigkeit	1200		
Druckfestigkeit	6000		

Meßlänge $l = 10 \cdot \sqrt{F}$