

B₃

Versuche über Lochleibungsdruck

Bericht von Findeisen, Dresden

Allgemeines

Der nachstehende Bericht umfaßt die Versuche, welche die Deutsche Reichsbahngesellschaft in den Jahren 1926 und 1927 zur Nachprüfung des zulässigen Lochleibungsdruckes bei Bolzen- und Nietverbindungen hat durchführen lassen. Mit dieser Arbeit waren gleichzeitig drei Institute, nämlich München, Karlsruhe und Dresden beauftragt, und zwar in der Weise, daß auf jedes Institut die gleiche Arbeit entfiel, d. h. sämtliche im Arbeitsplan vorgesehenen Versuche.¹ Diese Maßnahme hatte den Vorteil, daß die Ergebnisse der Untersuchungen nach Beendigung miteinander verglichen und einwandfrei festgestellt werden konnten. Dabei ist noch bemerkenswert, daß zwar der Arbeitsplan den Zweck der Versuche eindeutig vorsah, daß aber über die Durchführung derselben, insbesondere über die anzuwendenden Meßverfahren, keine Vorschriften gemacht worden waren. Jedes Institut hatte demnach vollkommen freie Hand in der Lösung der Aufgabe. Obwohl die dabei eingeschlagenen Wege mitunter voneinander abwichen, führten sie schließlich doch sämtlich zu ein und denselben Ergebnissen, was an dieser Stelle ganz besonders betont sei. Für die weiteren Erörterungen ist es daher belanglos, welche Versuchsergebnisse dem vorliegenden Bericht zugrunde gelegt werden; der Einfachheit halber wurden die Dresdner Unterlagen hierzu gewählt. Um Gleichmäßigkeit in der Herstellung besonders bei den genieteten Proben zu erreichen, wurde das gesamte Versuchsmaterial in eine Hand gegeben und von dort aus versuchsfertig auf die drei Institute verteilt. Diese Aufgabe hatte die Brückenbauanstalt Johannes DÖRNEN in Derne bei Dortmund übernommen, die in gewissenhafter Weise dafür Sorge trug, daß auch keine Verwechslungen der verschiedenen Stähle, aus denen die Flacheisen und Laschen, Nieten und Bolzen bestanden, unterliefen.

In Deutschland sind bei Neubauten für die Baustähle St. 37, St. 48 und Si-Stahl die in nachstehender Tabelle angeführten Beanspruchungen zulässig, wobei

¹ Die Anregung zu diesen Versuchen gab Professor Dr.-Ing. GEHLER, Direktor der Bau-techn. Abteilung des Versuchs- und Materialprüfungsamtes a. d. Techn. Hochschule Dresden. Herr Reichsbahndirektor Geheimrat Dr.-Ing. E. h. SCHAPER bewilligte die Mittel zur Durchführung derselben und übergab die Klärung der Frage einem von ihm berufenen Versuchsausschuß. Herr Reichsbahnoberrat WEIDMANN, München, hatte die Obmannschaft dieses Ausschusses übernommen, dem noch folgende Herren angehörten: Reichsbahnrat KARIG, Dresden, Reichsbahnrat KNITTEL, Karlsruhe, Prof. Dr.-Ing. GABER, Techn. Hochschule Karlsruhe, Dr.-Ing. HUBER, Techn. Hochschule München, Reg.-Baurat Dr.-Ing. FINDEISEN, Versuchs- und Materialprüfungsamt a. d. Techn. Hochschule Dresden und Dr.-Ing. DÖRNEN, Inhaber der Brückenbauanstalt Johannes Dörnen, Derne bei Dortmund.

mit σ_{zul} die Normalspannungen und mit $\sigma_{I\ zul} = 2,5 \sigma_{zul}$ der Lochleibungsdruck bezeichnet ist.

Zulässige Beanspruchungen nach den Vorschriften der Deutschen Reichsbahn

Stahl	σ_{zul} kg/qcm	$\sigma_{I\ zul}$ kg/qcm
St. 37	1400	3500
St. 48	1820	4550
Si-St.	2100	5250

Die Bolzen- bzw. Nietverbindung ist die älteste und heute noch sicherste Verbindung von Eisenbauteilen. Sie hat den Vorteil, daß ihre Ausführung leicht überwacht und jederzeit nachgeprüft werden kann. Sie besitzt aber den Nachteil, daß schon bei den üblichen zulässigen Beanspruchungen an gewissen Punkten des Lochrandes erhöhte Spannungen auftreten, die bereits bleibende Formänderungen zur Folge haben, da an diesen Stellen die Streckgrenze des Eisens überschritten wird. Freilich sind diese örtlichen bleibenden Formänderungen sehr klein und konnten bisher ohne Gefährdung eines Eisenbauwerkes infolge der Zähigkeit des Baustoffes zugelassen werden. Wenn nun aber durch die Einführung neuer Baustähle, wie St. 48 und Si-St., die zulässigen Beanspruchungen immer mehr erhöht werden, wie die obige Zusammenstellung zeigt, in welcher besonders der Lochleibungsdruck eine ganz beträchtliche Steigerung erfahren hat, dann entsteht die Frage, ob sich denn auch jetzt noch diese bleibenden Formänderungen in den gewünschten Grenzen halten oder ob sich ihre Bereiche derart erweitern, daß eine Lockerung in der anfangs steifen Verbindung eintritt. Diese Frage ist durchaus berechtigt, denn sie kann mit Hilfe der Elastizitätslehre nicht beantwortet werden. Es gelten hier andere Gesetzmäßigkeiten, mit denen sich die Plastizitätslehre befaßt. Von diesem Gedanken ausgehend, sind auch die vorliegenden Versuche der Deutschen Reichsbahn in Angriff genommen worden. *Es handelte sich um die Klärung der Bedenken, die gegen die hohen Werte des zulässigen Lochleibungsdruckes erhoben worden sind, da vermutet wurde, daß hierdurch die bleibenden Formänderungen so stark anwachsen, daß sie nicht mehr verantwortet werden können.* Diese Aufgabe sollte nun durch Ermittlung der Formänderungen an einer Anzahl Bolzen- und Nietverbindungen gelöst werden. Nach den Vorschriften beträgt der zulässige Lochleibungsdruck bei jeder Stahlsorte das 2,5-fache der zulässigen Normalspannung. Somit wird durch die Zahl 2,5 ein Bereich gekennzeichnet, der bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse zu beachten war. Das Verhältnis der beiden Größen $\frac{\sigma_{I\ zul}}{\sigma_{zul}}$ wurde a genannt.

Die den Versuchen zugrunde gelegten Probekörper waren in allen Fällen Zugstäbe, bestehend aus doppelt verlaschten Flacheisen mit nur einem Bolzen oder einem Niet auf jeder Seite des Stoßes. Die Bolzen bzw. Nieten hatten durchweg ein und dieselbe Dicke, nämlich 23 mm. Auch war die Stärke der Flacheisen und Laschen überall gleich, und zwar 12 bzw. 8 mm. Nur die Breite dieser Eisen und der Endabstand des Loches waren ab und zu verschieden. Der Stoß bildete die rechtwinklige Symmetrieachse zur Längsrichtung der Stäbe. An diesen Proben wurden nun bei steigender Belastung folgende Formänderungen gemessen:

1. Die Erweiterung der Löcher in der Krafrichtung,
2. die Verschiebung des mittleren Flacheisens gegen die beiden Laschen und
3. die Wölbungen der Endflächen des mittleren Flacheisens an der Stoßstelle.

Leider eignet sich aber das erste der genannten Verfahren bisher nur für Probekörper mit zylindrischen Bolzenverbindungen. Es wäre daher anzustreben, eine Möglichkeit auszubilden, mit der man auch bei Nietverbindungen die Erweiterung der Löcher zu bestimmen vermag, um ihr Verhalten auch bei solchen Verbindungen verfolgen zu können.

Vor Beginn der Versuche wurde das gesamte Material geprüft, um sicher zu sein, daß die verwendeten Stahlsorten auch wirklich die für sie vorgeschriebenen Eigenschaften besaßen. Diese Untersuchungen erstreckten sich nicht nur auf die Ermittlung der Gütezahlen, wie sie durch den gewöhnlichen Zerreiversuch gefunden werden, sondern auch auf die Bestimmung der Scherfestigkeit, der Brinellhärte und des Elastizitätsmoduls bei Zug und Biegung. Alle diese Versuche haben ergeben, daß die verwendeten Stahlsorten sehr sorgfältig ausgewählt worden waren.

Die eigentlichen Versuche umfaßten sechs Gruppen A bis F, von denen die Gruppen A und B im Jahre 1926 und die übrigen Gruppen im folgenden Jahre zum Abschluß gelangten. In beiden Fällen war ein besonderer Arbeitsplan aufgestellt worden. Der erste dieser Arbeitspläne hatte nur die Untersuchung von St. 37 und St. 48 vorgesehen, während in den zweiten auch noch Si-St. einbezogen werden konnte, da dieser Stahl bei der Deutschen Reichsbahn inzwischen Einführung gefunden hatte. Im einzelnen ist nun über diese Versuche folgendes zu berichten.

Durchführung und Ergebnisse der Versuche

Gruppe A

Zylindrische Bolzen- und Nietverbindungen

Die Bezeichnung der Zugstäbe, ihre Anzahl und der verwendete Baustoff sind nachstehend zusammengestellt.

Versuchskörper der Gruppe A

Bezeichnung der Probe und Material der Laschen und Flacheisen		Material		Anzahl der Proben
		der Bolzen	der Nieten	
V. R. 2	St. 48	St. 48	—	1
V. R. 4	St. 37	St. 37	—	1
V. R. 5	St. 48	—	St. 48	1
V. R. 7	St. 37	—	St. 37	1

Von den vier Versuchskörpern waren V. R. 2 und V. R. 4 mit zylindrisch eingepaßten Bolzen und V. R. 5 und V. R. 7 durch Vernietung verbunden. Der End- oder Randabstand der Löcher betrug 100 mm und die Breite der Stäbe 120 mm. Mit diesen Stäben waren folgende Versuche vorzunehmen:

1. Bei den beiden verbolzten Proben war durch stufenförmige Belastung das Langziehen der Löcher im mittleren Eisen, also im eigentlichen Flacheisen, zu verfolgen. Um die Oberflächen dieser Flacheisen in der Nähe der Löcher beobachten zu können, waren diese Stellen zu polieren. Die Bolzenverbindung sollte nach jeder Laststufe zur Vornahme der entsprechenden Messungen zerlegt werden.

2. Bei den Nietverbindungen war die Verschiebung der drei Eisen gegeneinander bei stufenförmiger Belastung zu bestimmen.

Versuche zu 1

Zur Ermittlung der Locherweiterungen diente ein Flankenmikrometer, welches Ablesungen auf $\frac{1}{100}$ mm gestattete. Die Messungen wurden in verschiedenen Tiefen

Zahlentafel 1

Erweiterung der Bolzenlöcher am Probekörper V. R. 2, St. 48

Lochdruck in kg	Lochdruck in kg/qcm	Erweiterung des Bolzenloches 1 in mm						Erweiterung des Bolzenloches 2 in mm						<i>a</i>	
		längs			quer			längs			quer				
		in Tiefe			in Tiefe			in Tiefe			in Tiefe				
		<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2500	875	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,48
5000	1750	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,96
7500	2625	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	1,44
10000	3500	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	1,92
12500	4375	0,11	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,14	0,01	0,01	2,40
15000	5250	0,34	0,32	0,33	0,01	0,02	0,03	0,34	0,32	0,32	0,32	0,02	0,02	0,02	2,88
17500	6125	0,45	0,44	0,45	0,05	0,05	0,05	0,48	0,47	0,47	0,04	0,05	0,05	0,05	3,36
20000	7000	0,72	0,80	0,80	0,05	0,06	0,06	0,97	0,77	0,81	0,07	0,07	0,08	0,08	3,85

Zahlentafel 2

Erweiterung der Bolzenlöcher am Probekörper V. R. 4, St. 37

Lochdruck in kg	Lochdruck in kg/qcm	Erweiterung des Bolzenloches 3 in mm						Erweiterung des Bolzenloches 4 in mm						<i>a</i>
		längs			quer			längs			quer			
		in Tiefe			in Tiefe			in Tiefe			in Tiefe			
		<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	<i>o</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	756	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
4000	1512	0,03	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08
6000	2268	0,04	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	1,62
8000	3024	0,27	0,28	0,29	0,03	0,01	0,01	0,27	0,25	0,24	0,00	0,00	0,00	2,16
10000	3780	0,31	0,33	0,33	0,04	0,03	0,03	0,28	0,27	0,33	0,02	0,02	0,02	2,70
12000	4536	0,56	0,56	0,56	0,06	0,04	0,04	0,59	0,51	0,52	0,03	0,03	0,03	3,24
14000	5292	0,96	0,96	0,96	0,06	0,05	0,06	0,91	0,84	0,89	0,06	0,06	0,08	3,78
16000	6048	1,69	1,59	1,76	0,10	0,11	0,09	1,91	1,61	1,84	0,10	0,12	0,11	4,32

des Bolzenloches vorgenommen, und zwar in 1,5 mm von oben (*o*), in der Mitte (*m*) und in 1,5 mm von unten (*u*). Die Messungen sind nicht nur in der Längsrichtung der Löcher, sondern auch in der Querrichtung, also rechtwinklig dazu, ausgeführt worden. Die abgelesenen Zahlenwerte sind auf den Tafeln 1 und 2 zusammengestellt. Die Löcher für den Probekörper V. R. 2 sind mit 1 und 2 und die der Probe V. R. 4 mit 3 und 4 benannt worden. Bei V. R. 2 begannen die Messungen bei $a = 0,48$ und endigten bei $a = 3,85$; bei V. R. 4 sind die entsprechenden Zahlen 0,54 und 4,32. Die Fortsetzung der Versuche über diese Werte hinaus hatte keinen Zweck mehr, da bereits beträchtliche Verformungen der Bolzen und auch ihrer Löcher eingetreten waren. Die Zahlentafeln lassen erkennen, daß schon bei den ersten Messungen, die etwa einem $a = 0,5$ entsprachen, bleibende Locherweiterungen auftraten. Auch wurden die ersten Quetscherscheinungen an den Lochrändern bereits bei verhältnismäßig niederen Lasten beobachtet. Es zeigten sich vor den

Löchern sichelförmige Fließfiguren mit einer Pfeilhöhe von 2 mm in der Mitte, also in der Stabachse gemessen. Diese Beobachtungen sind gemacht worden bei $a = 1,62$ für St. 37 und bei $a = 1,44$ für St. 48. Von da erweiterten sich diese Fließfiguren immer mehr.

Die Zahlen für die Löcher 1 und 3 sind auf Abb. 1 teilweise zeichnerisch aufgetragen worden, und zwar nur die Werte, welche in der Längsrichtung gemessen wurden und von diesen wieder nur diejenigen, welche mit m bezeichnet sind. Die Zahlen in der Querrichtung sind nicht weiter verfolgt worden, weil sie gegen die Verformungen der Löcher in der Längsrichtung verschwinden.

Als Ergebnis dieser Versuche konnte festgestellt werden, daß jede der Linien für die Locherweiterung einen besonders scharf ausgeprägten Knick aufweist. Dieser Knick liegt für St. 37 im Bereiche von $a = 1,6$ bis $2,0$ und für St. 48 von $a = 2,0$ bis $2,4$. Bis zu diesen Gebieten zeigen die Linien ausgesprochen geradlinigen Verlauf, wobei das Langziehen der Löcher in sehr kleinen Grenzen verbleibt. Von diesen Stellen an nimmt aber die Er-

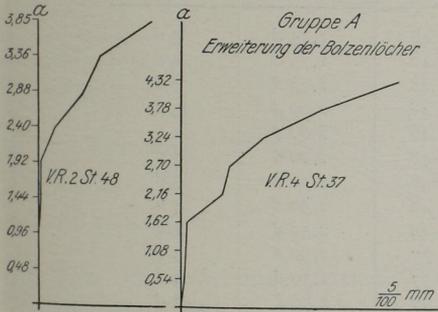


Abb. 1

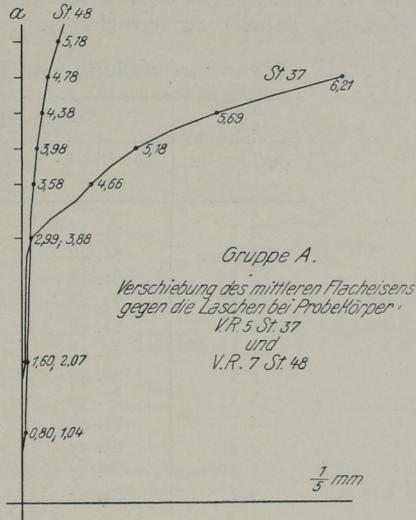


Abb. 2

weiterung der Löcher sehr rasch zu, so daß es bedenklich erscheint, mit der Beanspruchung über die gefundenen Grenzen hinauszugehen.

Versuche zu 2

Das Verschieben der drei Eisen gegeneinander ist bei den zwei vernieteten Proben mit einer besonderen Versuchseinrichtung bestimmt worden, die ebenfalls Ableseungen auf $1/100$ mm gestattete. Es blieb nur noch die Frage offen, an welchem Querschnitt des Stabes diese Versuchseinrichtung anzubringen war, da vermutet wurde, daß nicht alle Stellen hinsichtlich der Verschiebungen gleichartig sind. Im vorliegenden Falle ist der Nietquerschnitt als Meßstelle gewählt worden.

In Abb. 2 sind die Messungen zeichnerisch dargestellt. Der Verlauf der beiden Kurven ist im Anfang wieder geradlinig. Bei St. 37 zeigt sich ein deutlicher Knickpunkt, während die Linie für St. 48 anfängt, sich stetig zu krümmen, um allmählich flacher zu verlaufen.

Betrachtet man bei den Linienzügen wieder nur die Lage der Knickpunkte, so dürfte man von einer nicht unwesentlichen Überlegenheit der Nietverbindung gegenüber der Bolzenverbindung sprechen. Denn wählt man beispielsweise für beide Baustoffe $a = 3,0$, so zeigen die Schaulinien, daß man das Gebiet noch nicht

erreicht hat, wo Bedenken gegen die Höhe der Beanspruchung einsetzen könnte. Es darf dabei aber nicht übersehen werden, daß zu diesen Knickpunkten bereits Verschiebungen gehören, die 0,25 mm (St. 37) und 0,20 mm (St. 48) betragen, während bei den Bolzenverbindungen an den Knickstellen die Werte der Locherweiterung nur 0,04 bzw. 0,03 mm, also etwa nur den sechsten Teil ausmachten.

Gruppe B Nietverbindungen

Die zwölf Probestäbe dieser Gruppe waren sämtlich vernietet. An der Stoßstelle stießen die beiden mittleren Eisen nicht stumpf aufeinander, sondern ließen einen Spalt von 50 mm Länge frei, um Messungen an den Endflächen vornehmen zu können. Einzelheiten über Bezeichnung, Abmessungen u. dgl. sind aus der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Zusammenstellung der Probekörper für die Gruppe B

Bezeichnung der Probe	Material		Rand- abstand <i>e</i>	Breite <i>b</i>
	der Flach- eisen	der Niete		
<i>a</i> I	St. 48	St. 48	1,75 <i>d</i>	3 <i>d</i>
<i>b</i> I	St. 48	St. 48	1,75 <i>d</i>	4 <i>d</i>
<i>c</i> I	St. 48	St. 48	1,75 <i>d</i>	5 <i>d</i>
<i>d</i> II	St. 48	St. 48	2,00 <i>d</i>	3 <i>d</i>
<i>e</i> II	St. 48	St. 48	2,00 <i>d</i>	4 <i>d</i>
<i>f</i> II	St. 48	St. 48	2,00 <i>d</i>	5 <i>d</i>
<i>g</i> I	St. 48	St. 48	2,50 <i>d</i>	3 <i>d</i>
<i>h</i> I	St. 48	St. 48	2,50 <i>d</i>	4 <i>d</i>
<i>i</i> I	St. 48	St. 48	2,50 <i>d</i>	5 <i>d</i>
<i>g</i> II	St. 37	St. 37	2,50 <i>d</i>	3 <i>d</i>
<i>h</i> II	St. 37	St. 37	2,50 <i>d</i>	4 <i>d</i>
<i>i</i> II	St. 37	St. 37	2,50 <i>d</i>	5 <i>d</i>

In der Tabelle bedeutet *e* den Randabstand des Nietes im Flacheisen oder auch in den Laschen, und mit *b* ist die Breite des Flacheisens und der Laschen bezeichnet. Es kamen also bei den Versuchen dreierlei Randabstände und dreierlei Stabbreiten vor, nämlich

$$\begin{aligned}
 e_1 &= \text{rund } 40 \text{ mm} & b_1 &= \text{rund } 70 \text{ mm} \\
 e_2 &= \text{rund } 46 \text{ mm} & b_2 &= \text{rund } 90 \text{ mm} \\
 e_3 &= \text{rund } 58 \text{ mm} & b_3 &= \text{rund } 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Der Arbeitsplan verlangte als Versuche an diesen zwölf Stäben:

Es sollte das Eintreten einer Wölbung auf den Endflächen des eigentlichen Flacheisens beobachtet werden.

Das Verhalten der Endflächen wurde mit einer weiteren besonderen Meßeinrichtung verfolgt, die wieder Ablesungen auf $\frac{1}{100}$ mm gestattete. Bei den schmalen Proben von 70 und 90 mm Breite wurden fünf Meßpunkte *O*, *P*, *Q*, *R*, *S* und bei den anderen Stäben von 120 mm Breite sieben Meßpunkte, nämlich *N*, *O*, *P*, *Q*, *R*, *S*, *T* gewählt, die sich in gleichmäßigen Abständen auf die Stabbreite verteilten. Der Punkt *Q* lag also immer in der mittleren Längsfaser.

Von den zahlreichen an den Meßgeräten abgelesenen Werten seien hier nur die wichtigsten angeführt. Zunächst zeigt Abb. 3 die Wölbungen der Endflächen bei den breiten Stäben von 120 mm. Bei den anderen Proben verlaufen sie ganz ähnlich, so daß auf ihre zeichnerische Darstellung verzichtet werden konnte. Die

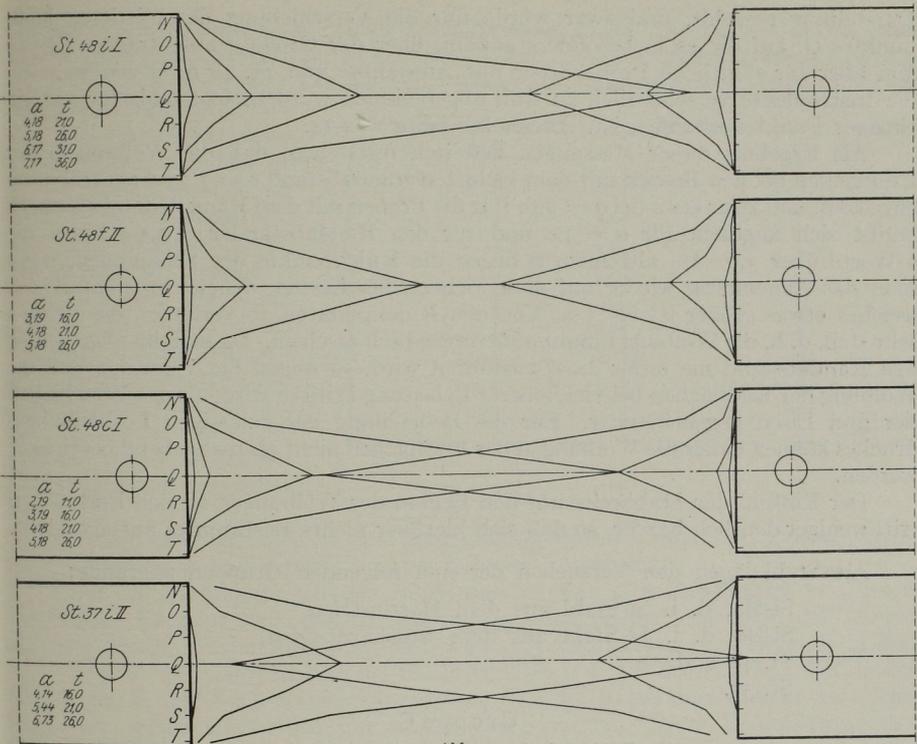


Abb. 3

auf dem Schaubild eingetragenen Werte für α sind ohne weiteres verständlich. Da der Probekörper St. 48 i I während der Ablesung zerriß, so findet man auf der

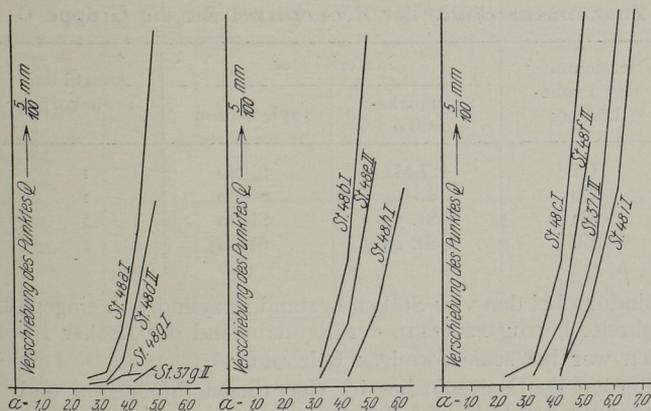


Abb. 4

einen Seite nur vier anstatt fünf Kurven. Die Linien veranschaulichen zwar die gegenseitige Lage der einzelnen Meßpunkte, aber die Zunahme der Wölbung hebt sich nicht deutlich hervor. Deshalb wurde in Abb. 4 eine andere zeichnerische

Darstellung gewählt, und zwar wurde nur die Verschiebung des mittleren Meßpunktes Q , auf die es ja besonders ankam, über der Größe a aufgetragen. Dieses Mal aber für sämtliche Probekörper mit Ausnahme von St. 48 *hII*, von welchem die Instrumente versehentlich zu früh abgenommen wurden, so daß hierfür nur ein einziger Punkt vorhanden ist. Dieser lag bei $a = 4,14$.

Als Ergebnis dieser Messungen ließ sich feststellen, daß die Wölbungen der Endflächen bei den Proben mit dem kleinsten Randabstand $e = 1,75 d$ am frühesten einsetzen, und zwar etwa bei $a = 2,6$. Für die Proben mit dem Randabstand $e = 2,0 d$ ergibt sich ungefähr für $a = 3,0$ und für den Randabstand $e = 2,5 d$ liegen die a -Werte über 3,0. Im allgemeinen liegen die Knickpunkte der Schaulinien, wenn man das Augenmerk wieder auf diese richtet, bei Lasten, denen ein a entspricht, welches etwas größer ist als 3,0. Von den Knickpunkten ab verlaufen die Kurven sehr steil, d. h. die Wölbung nimmt außerordentlich rasch zu. Da man im allgemeinen den Randabstand nie unter $2,0 d$ ausführen wird, so zeigen die Versuche, daß die Wölbung der Endflächen bei viel höherer Belastung kritisch wird, als das Verschieben der drei Eisen gegeneinander. Für die Beurteilung des zulässigen Lochleibungsdruckes können daher die Wölbungen der Endflächen nicht als maßgebend bezeichnet werden.

Der Einfluß der Stabbreite auf den Beginn der Wölbungen an den Endflächen tritt weniger deutlich hervor, so daß sich hierüber nichts Bestimmtes aussagen läßt.

Als Stahl lagen den Versuchen der nun folgenden Gruppen zugrunde:

Si-Ma, d. i. Si-Stahl aus dem Martin-Ofen,
Si-Bo, d. i. Si-Stahl aus dem Bosshardt-Ofen,
St. 48 und
St. 37.

Gruppe C

Zylindrische Bolzenverbindungen

Die Bezeichnung der Probekörper und die Art des Materials sind aus nachstehender Tabelle zu ersehen.

Zusammenstellung der Probekörper für die Gruppe C

Bezeichnung des Probekörpers	Material der		Anzahl der Probekörper
	Versuchsstäbe	zyl. Bolzen	
Ca	Si-Ma	Si-Ma	1
Cb	Si-Bo	Si-Bo	1
Cc	St. 37	Si-Bo	1
Cd	St. 48	Si-Bo	1

Die Verbindung bei den vier Stäben bestand in zylindrisch eingepaßten Bolzen. Die Stabbreite betrug 120 mm, der Randabstand der Löcher 100 mm.

Zu messen war bei stufenförmiger Belastung:

1. Erweiterung des Bolzenloches im eigentlichen Flacheisen und
2. Veränderung des Bolzendurchmessers.

Die Messungen der Bolzenlöcher wurden in derselben Weise durchgeführt wie früher. Auch die Messungen in der Querrichtung sind wieder vorgenommen worden.

Auf Abb. 5 ist ein Teil der gemessenen Zahlen zeichnerisch aufgetragen worden und zwar nur die Punkte m , die sich für die Locherweiterungen ergeben haben.

Gemessen wurde immer an beiden Löchern jeder Probe. Da sich aber die zwei Löcher ganz gleich verhielten, so genügte es, auf Abb. 5 jeweils nur die Messungen an einem Loch zu zeigen. Die Kurven verlaufen anfangs sehr steil, zeigen aber im allgemeinen sämtlich etwa bei $\alpha = 2,0$ einen deutlichen Knick, von dem ab die Locherweiterungen zu nehmen, ein Ergebnis, das mit den Untersuchungen der Bolzen in Gruppe A übereinstimmt. Überhaupt ist das Gesamtbild dieser Versuche dem der Gruppe A ganz ähnlich, denn es hat sich auch im Hinblick auf die Einfügung des Si-Stahles weiter nichts Bemerkenswertes feststellen lassen.

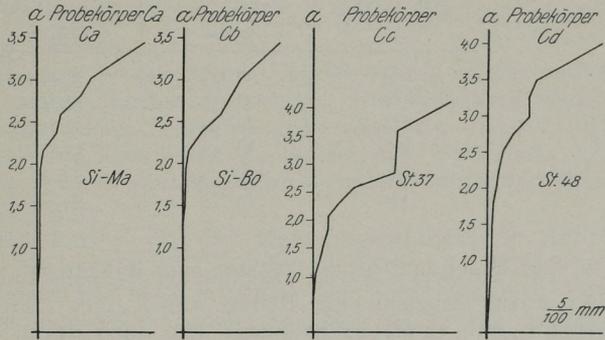


Abb. 5

Die Locherweiterungen in der Querrichtung waren wieder sehr gering gegenüber den anderen und setzten erst bei höheren Lasten ein.

Über die Veränderungen der Bolzendurchmesser gibt Zahlentafel 3 näheren Aufschluß. Es zeigt sich, daß die Zusammendrückung der Bolzen in der Längsrichtung der Stabverbindungen schon bei $\alpha = 2,5$ meßbar war, und zwar für Si-Ma, Si-Bo und St. 48, während dies bei St. 37 erst bei $\alpha = 3,6$ der Fall ist. Bei diesen Messungen konnte auch festgestellt werden, daß die Bolzendurchmesser an Dicke zunehmen, selbstverständlich nur in der Querrichtung. Diese Vergrößerung des Durchmessers ist allerdings verschwindend klein gegenüber der Zusammendrückung in der Längsrichtung. Sie setzte auch erst bei höheren Lasten ein.

Zahlentafel 3

Verkleinerung der Bolzendurchmesser

Si-Ma		Si-Bo		St. 37		St. 48	
α	Verkleinerung des Durchmessers mm						
2,36	0,01	2,36	—	3,62	0,08	2,74	0,08
2,59	0,06	2,59	0,04	4,14	0,17	2,99	0,16
2,80	0,13	2,80	0,17	—	—	3,24	0,18
3,02	0,25	3,02	0,24	—	—	3,48	0,26
3,45	0,34	3,45	0,37	—	—	3,98	0,47

Als Ergebnis der Versuchsgruppe C hat sich bei sämtlichen Stahlorten herausgestellt, daß die bleibenden Locherweiterungen bei $\alpha = 2,0$ beginnen und von da an bedenklich werden.

Gruppe D

Konische Bolzenverbindung mit Schrauben

Die Bezeichnung der Probekörper und die Art des Materials sind aus nachstehender Tabelle zu ersehen.

Zusammenstellung der Probekörper für die Gruppe D

Bezeichnung des Probe- körpers	Material der		Anzahl der Probekörper
	Versuchs- stäbe	konischen Bolzen	
Da	Si-Ma	Si-Ma	1
Db	Si-Bo	Si-Bo	1
Dc	St. 37	Si-Bo	1
Dd	St. 48	Si-Bo	1
De	St. 37	St. 37	1
Df	St. 48	St. 48	1

Die Stabbreite betrug 120 mm, der Randabstand der Bolzen $2,5 d = 58$ mm. Der Anzug der konischen Bolzen war 1:100. Das Anziehen der $\frac{7}{8}$ ''-Muttern erfolgte mit einem Drehmoment von 1400 kgcm. Ein größeres Drehmoment anzuwenden, war nicht zu empfehlen, da sonst bereits Verquetschungen der Lochränder eintraten, wie Herr Reichsbahnoberrat WEIDMANN, München, mitgeteilt hatte.

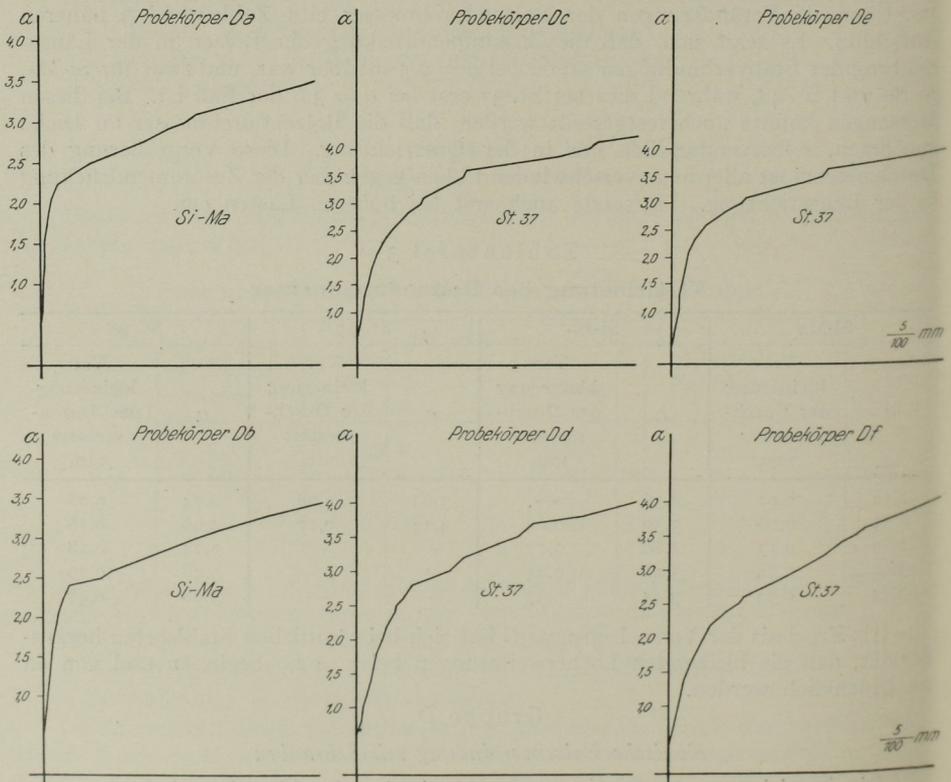


Abb. 6

Zu messen war bei stufenförmiger Belastung:

1. Die Verschiebung der Laschen gegen den Mittelstab in der Querschnittsebene des Bolzens,

2. die Wölbung der Endflächen des Mittelstabes.

Als Feinmeßgeräte dienten die gleichen wie bisher; sie sind im vorliegenden Fall gleichzeitig angesetzt worden.

Die Wölbungen der Endflächen auf den 120 mm breiten Proben wurden wieder an sieben Punkten auf den beiden Stirnseiten gemessen. Die Wölbungen setzten bei allen Proben an den Punkten deutlich ein, wo a den Wert 2,5 erreichte, und nehmen von da ab ganz ähnlichen Verlauf wie bei den früheren Versuchen. Auf eine zeichnerische Darstellung der gewonnenen Zahlenwerte kann daher verzichtet werden, da die Bilder nichts Neues bieten.

Dagegen sind die Verschiebungen der drei Eisen gegeneinander in Abb. 6 zeichnerisch veranschaulicht. Betrachtet man lediglich die Stellen der Linienzüge, bei denen sich dieselben entweder sehr stark krümmen oder überhaupt einen deutlichen Knickpunkt aufweisen, dann erkennt man, daß diese Punkte nahezu regelmäßig in der Mitte von $a = 2,0$ und $a = 2,5$ liegen. Andererseits erkennt man aber auch, daß die Verschiebungen bei $a = 2,0$ bereits beachtliche Werte angenommen haben, deren Größe von 0,1 bis 0,24 mm reicht.

Als Ergebnis dieser Versuche läßt sich demnach feststellen, daß Beanspruchungen der konischen Bolzenverbindung, die zu dem Werte $a = 2,5$ führen, unzulässig sind.

Gruppe E Nietverbindungen

Die Bezeichnung der Probekörper und die Art des Materials sind aus der folgenden Tabelle zu ersehen.

Zusammenstellung der Probekörper für die Gruppe E

Bezeichnung des Probe- körpers	Material der		Anzahl der Probekörper
	Versuchs- stäbe	Nieten	
E_{a_1}	Si-Ma	Si-Ma	1
E_{b_1}	Si-Bo	Si-Bo	1
E_{c_1}	St. 37	Si-Bo	1
E_{d_1}	St. 48	Si-Bo	1
E_{e_1}	St. 37	St. 37	1
E_{f_1}	St. 48	St. 48	1
E_{a_2}	Si-Ma	Si-Ma	1
E_{b_2}	Si-Bo	Si-Bo	1
E_{c_2}	St. 37	Si-Bo	1
E_{d_2}	St. 48	Si-Bo	1
E_{e_2}	St. 37	St. 37	1
E_{f_2}	St. 48	St. 48	1

Die Breite der Stäbe E_{a_1} bis E_{f_1} war 70 mm und die der übrigen 120 mm, der Randabstand e der Nieten in allen Fällen $2,5 d = 58$ mm. Zu messen war bei stufenförmiger Belastung:

1. Die Verschiebung der Laschen gegen den Mittelstab in der Querschnittsebene des Bolzens,

2. die Wölbung der Endflächen des Mittelstabes. Außerdem sollte nach Erreichung der Laststufe $a = 2,5$ nochmals zwölfmal auf $a = 2,5$ be- und entlastet werden und hierauf die Laschenverschiebung gegen den Mittelstab und die Wölbung der Endflächen nochmals ermittelt werden. Nachdem die Laststufe a beim Beginn des starken Fließens erreicht war, waren die Nietköpfe abzuhebeln, sodann der zum Herausdrücken des Niets erforderliche Druck zu messen und schließlich die eingetretenen Formänderungen des Nietloches festzustellen.

Die Versuche wurden mit den nämlichen Meßgeräten und in der gleichen Weise wie die bei der vorhergehenden Gruppe vorgenommen. Bei den breiten Proben waren zur Bestimmung der Wölbung an den Endflächen wieder sieben und bei den schmalen fünf Meßpunkte eingeführt worden.

Beim Abhebeln der Nietköpfe wurden die Proben so auf den Tisch der Hobelmaschine aufgespannt, daß der untere Nietkopf, der nicht abgehobelt wurde, gegen die Laschen drückte, und außerdem sind sehr dünne Späne genommen worden. Durch diese Maßnahme sollte das Niet während der Bearbeitung in seinem Sitz nicht beeinträchtigt werden. Es entstand ferner die Frage, ob der geschlagene Kopf oder der Setzkopf des Nietes abzuhebeln ist. Es wurde im vorliegenden Falle das Abhebeln des geschlagenen Kopfes gewählt. Dieses wurde noch bis zu etwa 1,5 mm Tiefe in die Laschenoberfläche fortgesetzt, um sicher zu sein, daß auch nur der zylindrische Schaft des Bolzens übrig blieb. Das Herausdrücken des Nietes erfolgte mit Hilfe eines Stempels von 21 mm Durchmesser und durch Unterlegen eines entsprechenden Ringes. Die Locherweiterungen wurden wieder mit dem Flankenmikrometer gemessen unter der Annahme, daß das ursprüngliche Loch einen Durchmesser von 23 mm besaß.

Der Beginn des starken Fließens war nicht einfach festzustellen, denn hiefür gab es verschiedene Anhaltspunkte. Als maßgebend wurden die Zeiger, die das Verschieben der drei Eisen gegeneinander angaben, angesehen. Die Ausschläge derselben nahmen bei steigender Last zu, sie blieben aber beim Anhalten der Last ohne weiteres zunächst stehen. Dann gelangte man zu Lasten, bei denen die Zeiger noch etwas weiter liefen und schließlich kamen sie bei weiterer Zunahme der Last erst nach Verlauf von zwei bis drei Minuten und noch länger zur Ruhe. Es wurde daher, um die Frage des starken Fließens zu beantworten, der Versuch dann beendet, wenn die Zeiger erst nach einigen Minuten stehen blieben. Dies geschah allerdings erst bei sehr hohen Lasten, die einem $a = 3,5$ bis 4,6 entsprachen.

Zahlentafel 4

Herausdrücken bereits belasteter Niete und Erweiterung der Nietlöcher

Bezeichnung der Probe	Belastung bei Beginn des starken Fließens in t	Kraft zum Herausdrücken des Niets in kg		Erweiterung des Bolzen- loches in mm	
		links	rechts	links	rechts
E_{a_1}	20	3960	1460	0,64	0,61
E_{b_1}	22	5050	5960	0,73	0,95
E_{c_1}	18	1750	800	0,77	0,65
E_{d_1}	20	1080	150	1,08	1,09
E_{e_1}	14	20	2080	1,08	0,75
E_{f_1}	19	680	2300	0,88	1,05
E_{a_2}	24	3000	2800	0,85	1,25
E_{b_2}	24	2000	2300	0,75	0,85
E_{c_2}	18	1200	1100	0,52	0,66
E_{d_2}	20	1020	5600	1,25	0,44
E_{e_2}	15	2500	1200	0,70	0,68
E_{f_2}	20	400	2150	0,44	0,67

Die Kräfte, die beim Herausdrücken der Niete gefunden wurden, lassen kaum den Schluß auf irgend eine Gesetzmäßigkeit zu. Sie bewegen sich bei ein und derselben Stahlorte oft in sehr weiten Grenzen. Bei den Si-Stählen liegen sie am höchsten und zeigen bei diesen auch die wenigste Streuung.

Die Nietlöcher, deren Erweiterung nur in der Längsrichtung gemessen wurde, hatten bei den hohen Lasten bereits starke Verformungen aufzuweisen. Es sind Zunahmen des Lochdurchmessers von 0,44 bis 1,25 mm festgestellt worden. Einzelwerte dieser Versuche enthält die Zahlentafel 4.

Die Wölbungen der Endflächen traten erst in Erscheinung, nachdem der Wert $\alpha = 3,0$ schon beträchtlich überschritten war, und zwar gilt dies sowohl für die breiten Stäbe von 120 mm, als auch für die schmäleren von 70 mm. Auf eine

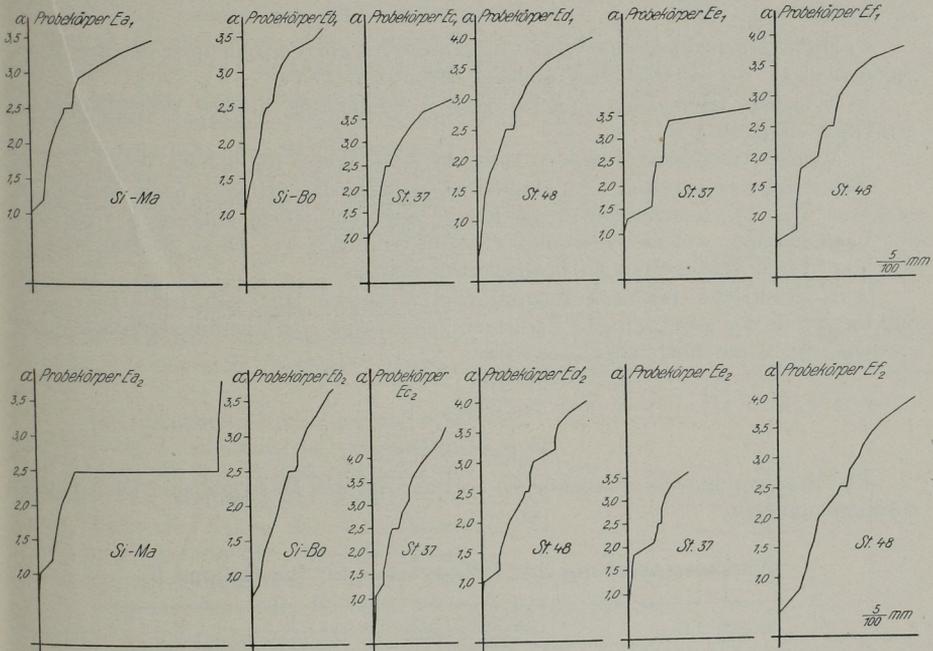


Abb. 7

zeichnerische Darstellung der gemessenen Zahlen ist verzichtet worden, da die Bilder nichts Neues veranschaulichen. Ein Vergleich mit den Versuchen der Gruppe D ergibt, daß bei gleichen Stahlorten und bei gleichen Randabständen die Verformung der Bolzenverbindung überlegen ist.

Die Verschiebungen der drei Eisen gegeneinander wurden so gemessen, wie es der Arbeitsplan verlangte. Nachdem die Laststufe $\alpha = 2,5$ erreicht war, ist eine zwölfmalige Be- und Entlastung vorgenommen und alsdann an den Instrumenten erneut abgelesen worden. Hierbei hat sich ergeben, daß sich die ersten Ablesungen für die Wölbungen der Endflächen nicht verändert hatten, daß aber die Verschiebung der drei Eisen gegeneinander weiter vor sich gegangen war. Auf Abb. 7 sind die Messungen zeichnerisch aufgetragen. Man erkennt bei jedem Probekörper die Unstetigkeit, die sich bei $\alpha = 2,5$ eingestellt hat. Bei der Probe E_{a_2} ist sie ungewein groß, so daß sich bei dieser sehr wesentliche Veränderungen in der Niet-

verbindung vollzogen haben müssen. Beachtlich ist auch der weitere steile Verlauf des Linienzuges bei diesem Versuchskörper, der darauf schließen läßt, daß bei $a = 2,5$ eine so beträchtliche Verformung eintrat, die bei der nun folgenden Belastung zunächst keine weitere Formänderung mehr zuließ. Dieselbe Erscheinung trat ebenfalls bei allen anderen Probekörpern auf, wenn auch nicht so ausgeprägt, denn die Schaubilder lassen nach der zwölfmaligen Belastung bei $a = 2,5$ überall eine größere Steilheit der Kurven für die nächsten Laststufen erkennen. Es hat also die zwölfmalige Be- und Entlastung eine Stauchung oder Verfestigung des Materials zur Folge gehabt.

Es ist nun nicht leicht, über den kritischen Bereich auf Grund dieser Versuche eine bestimmte Angabe zu machen. Die Vorgänge bei $a = 2,5$ führen zu folgender Überlegung. Es wären zweckmäßig durch *neue Versuche* folgende Fragen zu klären:

1. Bei welchem kleinsten Wert von a schreitet die Verschiebung der drei Eisen gegeneinander bei wiederholter gleicher Belastung fort?
2. Welchen Grenzwert erreicht diese Verschiebung infolge Verfestigung bei derartiger Belastung?
3. Welche Grenzwerte ergeben sich auf diese Weise für höhere Werte von a ?

Aus der so ermittelten Grenzkurve ist alsdann das kritische a zu bestimmen, entweder aus der Knickstelle dieser Kurve oder aus einem zulässigen Größtmaß der Verschiebung, welches allerdings noch festzusetzen ist. Diese Fragen könnten also nur durch Dauerversuche beantwortet werden.

Auf Grund der bisher durchgeführten Versuche läßt sich jedenfalls sagen, daß die Größe der gegenseitigen Verschiebungen bei $a = 2,5$ bereits derartige Werte erreicht, die kaum noch zuzulassen sind.

Gruppe F

Nietverbindungen

Die Bezeichnung der Probekörper und die Art des Materials sind nachstehend zusammengestellt.

Zusammenstellung der Probekörper für die Gruppe F

Bezeichnung des Probe- körpers	Material der		Anzahl der Probekörper
	Versuchs- stäbe	Nieten	
Fa	Si-Ma	Si-Ma	1
Fb	Si-Bo	Si-Bo	1
Fc	St. 37	Si-Ma	1
Fd	St. 37	Si-Bo	1

Die Stabbreite betrug 120 mm und der Randabstand der Nieten 100 mm. Zu messen war bei stufenförmiger Belastung:

1. Die Spannungs-Dehnungs-Linie der Nietstrecke und
2. die Verschiebung des Mittelstabes gegen die Laschen in der Querschnittsebene des Niets.

Zur Bestimmung der Spannungs-Dehnungs-Linie dienen MARTENSSche Spiegel mit Übersetzung 1 : 1000. Diese Meßgeräte, die nur im mittleren Eisen saßen,

waren symmetrisch zum Stoß angebracht und hatten eine Feinmeßlänge von 330 mm. Sie umfaßten also mehr als die gesamte Nietstrecke.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Abb. 8 zeichnerisch veranschaulicht, wo außer den elastischen und bleibenden auch noch die gesamten Dehnungen eingetragen sind. In den Schaulinien sind noch weitere Geraden E und E' eingetragen. Die Gerade E ist die gerechnete elastische Linie des durch keine Bohrung geschwächten Flacheisens, bezogen auf 330 mm Länge bei einem Elastizitätsmodul von 210000 kg/qcm. Die Gerade E' stellt das gleiche für die unverschwächten Laschen dar. Die Versuche mußten schon bei 7, 8 und 9 t Belastung beendet werden, da Feinmessungen bei derart großen Skalenausschlägen keinen Sinn mehr gehabt hätten. Bei Betrachtung der Linienzüge ist es interessant zu beobachten, daß die Kurven für die bleibenden Dehnungen bei 4 t Belastung einen deutlich ausgeprägten Knick aufweisen und die Linien von da ab sehr flach verlaufen, wobei die einzelnen Neigungen kaum voneinander abweichen. Aus den Ergebnissen in Abb. 8 lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Das elastische Verhalten des ungeschwächten Flacheisens, wie es die Gerade E zeigt, bleibt in der Nietverbindung innerhalb des Meßbereiches nahezu bestehen, denn die Kurve der gemessenen elastischen Dehnung der Nietverbindung ist nahezu eine gerade Linie, die fast die gleiche Neigung hat wie E . Die Verstärkung durch die Laschen war bei diesen Nietverbindungen 33,3%.

2. Aus den Kurven der bleibenden Dehnung sieht man, daß die Nietverbindung kein einheitlicher Körper ist. Die einzelnen Elemente dieser Verbindung pressen sich gegeneinander; die ganze Verbindung rekt und streckt sich von 4 t Belastung an und führt von da an zu sehr deutlichen bleibenden Formänderungen. Die Scherspannung an den Knickstellen betrug für das doppelschnittige Niet 485 kg/qcm.

3. Dabei ist es gleichgültig, aus welchen Stählen eine derartige Verbindung besteht. Die Nachgiebigkeit ist anfangs überall gleich groß.

Die bleibenden Formänderungen, die sich auf die ganze Meßlänge von 330 mm beziehen, betragen bei

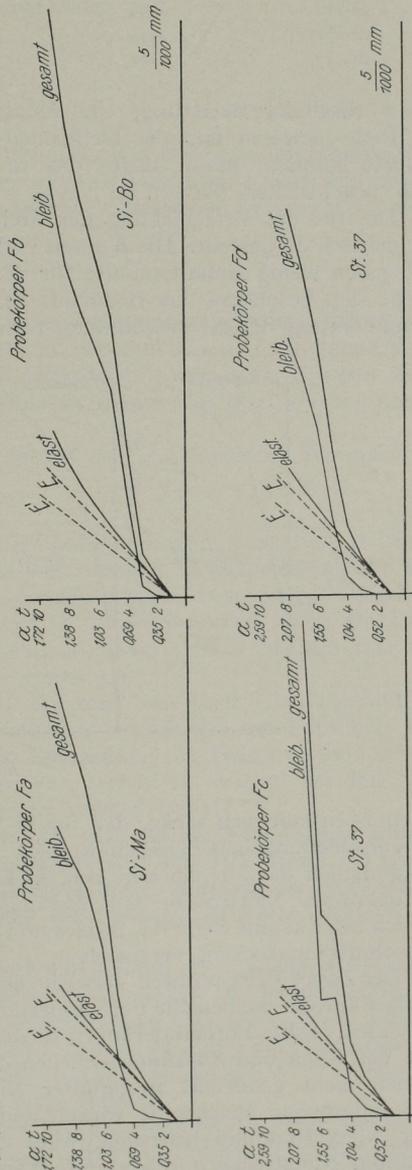


Abb. 8

Stahl	α	Bleibende Dehnung mm
Si-Ma	1,55	0,212
Si-Bo	1,55	0,291
St. 37	1,81	0,216

Diese dürften, wenn ihre Zunahme derartig fortschreitet, bei $\alpha = 2,5$ zu beachtlichen Werten angewachsen sein. Vergegenwärtigt man sich nun den Fall, daß sich bei Stäben

mit wechselnder Belastung, eine Möglichkeit, von der bis jetzt noch gar nicht die Rede gewesen ist, die bleibenden Dehnungen aller Voraussicht nach verdoppeln können, dann dürfte das in dieser Nietverbindung entstehende Spiel noch beachtlicher werden.

Die für die Verschiebung der drei Eisen gemessenen Werte sind in Abb. 9 zeichnerisch dargestellt. Die Kurven verlaufen ausnahmslos mit stetiger Krümmung und geben wenig Anhaltspunkte für den Beginn eines kritischen Bereiches. Hier macht sich besonders das Bedürfnis geltend, ein höchst zulässiges Maß für diese Formänderung der Nietverbindung festzusetzen. In Einklang mit den bisherigen

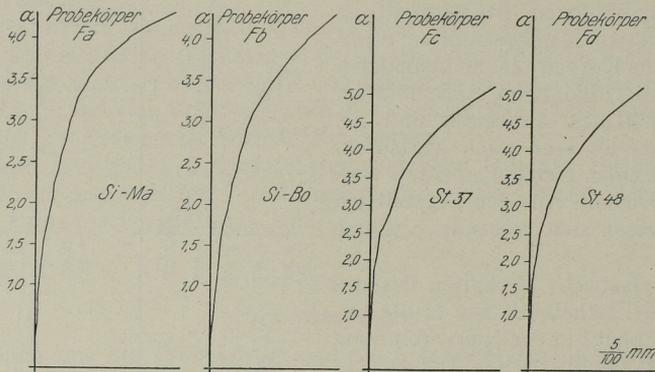


Abb. 9

Ergebnissen läßt sich sagen, daß für Si-St. bei $\alpha = 3,0$ und bei St. 37 bei $\alpha = 3,5$ die Verschiebungen bedenklich werden. Der Eindruck der Abb. 9 stellt sich also viel günstiger dar, als der der Abb. 8. Es sind demnach die Elastizitätsmessungen der gesamten Nietstrecke den Messungen für die Verschiebung der drei Eisen, die sich nur auf eine Seite des Stoßes und auf einen willkürlich angenommenen Stabquerschnitt erstrecken, vorzuziehen.

Der Zweck der gesamten Versuche bestand darin, den Einfluß des Lochleibungsdruckes auf die bleibenden Formänderungen einer Bolzen- oder Nietverbindung zu ergründen. Diese Formänderungen setzen sich aus der Erweiterung der Nietlöcher, dem Verbiegen und Zusammendrücken des Nietbolzens und schließlich den Hohlräumen nicht genügend ausgefüllter Nietlöcher zusammen. Da diese einzelnen Formänderungen gleichzeitig wirken und bei steigender Belastung zur Lockerung einer Nietverbindung beitragen, wäre es zweckmäßig, die Formänderungen der gesamten Nietstrecke durch weitere Versuche zu studieren.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußbemerkungen

Den Versuchen lagen bei Verwendung von St. 37, St. 48 und Si-St. doppelt verlaschte Flacheisen mit durchwegs nur einem Bolzen oder einem Niet auf jeder

Seite des Stoßes zugrunde. An diesen Stäben wurden bei steigender Belastung nach drei Verfahren Messungen durchgeführt, und zwar:

1. Erweiterung der Bolzenlöcher,
2. Verschiebung der drei Eisen gegeneinander und
3. Wölbung der Endflächen.

Dabei hat sich ergeben:

a) Zylindrische Bolzenverbindungen

Der kritische Bereich ließ sich bei den zylindrischen Bolzenverbindungen durch Messen der Locherweiterungen am frühesten erkennen. *Es konnte festgestellt werden, daß die bleibenden Locherweiterungen für sämtliche Stahlsorten bei $a = 2,0$ bedenklich werden.*

b) Konische Bolzenverbindungen

Bei diesen Verbindungen konnten die Locherweiterungen nicht ermittelt werden, so daß die Messungen für die Verschiebungen der drei Eisen gegeneinander zur Beurteilung des kritischen Bereiches zugrunde zu legen waren. *Als Ergebnis dieser Versuche ließ sich feststellen, daß Beanspruchungen, die zu dem Wert $a = 2,5$ führen, unzulässig sind.*

Bei sämtlichen Bolzenverbindungen betrug der Randabstand 100 mm.

c) Nietverbindungen

Da die Wölbungen der Endflächen erst bei höheren Lasten einsetzten, so kamen sie für die Angabe des kritischen Bereiches weit weniger in Betracht, als die Verschiebungen der drei Eisen gegeneinander. *Im allgemeinen konnte festgestellt werden, daß die Verschiebungen bei $a = 2,5$ bedenklich zu werden beginnen, wenn der Randabstand $2,5 d$ betrug.* Bei dem großen Randabstand von $4,4 d = 100$ mm trat dies etwas später ein, und zwar bei a ungefähr gleich 3,0.

Die Versuche haben demnach gezeigt, daß man von einer Überlegenheit der Nietverbindung gegenüber der Bolzenverbindung sprechen kann. Freilich darf dabei nicht übersehen werden, daß sich die Beurteilung der Bolzenverbindung auf die Messung der Locherweiterungen stützt, ein Verfahren, welches bei den Nietverbindungen bis jetzt noch nicht angewendet werden konnte.

Beachtung verdienen auch die Versuche, die sich auf die Elastizitätsmessungen der Nietstrecke beziehen. Es besteht die Möglichkeit, daß mit Hilfe dieses Verfahrens das kritische a noch früher erkannt wird, als durch die Ermittlung der gegenseitigen Verschiebung der drei Eisen. Bei Fortsetzung der Versuche sei daher nochmals auf diese Messungen hingewiesen.

Das kritische a wurde in der Regel an den Knickpunkten der Schaulinien abgelesen. Falls dies durch stetige Krümmung der Kurven nicht möglich ist, müßte ein höchstzulässiger Wert der gemessenen bleibenden Formänderungen festgesetzt werden. Freilich ist die Angabe eines derartigen Wertes nicht so einfach, da durch ihn zum Ausdruck kommen müßte, daß die bleibenden Formänderungen von diesem Wert ab eine gefährliche Lockerung der Verbindung zur Folge haben.

In den bisher ausgesprochenen kritischen Werten von a ist die *Frage der Sicherheit* noch nicht erwogen worden. Da diese unter allen Umständen eingeführt werden muß, so ergeben die vorliegenden Versuche, daß der *zulässige Wert $a = 2,5$ zu hoch* ist. Es trifft dies ganz besonders für die Bolzenverbindungen zu, und obwohl man sich bei den Nietverbindungen in etwas günstigerer Lage befindet, so ist doch auch für diese der zulässige Lochleibungsdruck zu verringern. Wie weit allerdings zurückzugehen ist, kann auf Grund der vorliegenden Versuche nicht mit

Bestimmtheit ausgesprochen werden, da diese Frage erst noch durch weitere Versuche geklärt werden muß. Bei den *neuen Versuchen* dürften vor allen Dingen folgende Gesichtspunkte nicht übergangen werden:

1. Es sind die bleibenden Formänderungen bei einem Bild mit mehreren Nieten hintereinander zu bestimmen, denn die Beteiligung derselben an der Kraftüber-

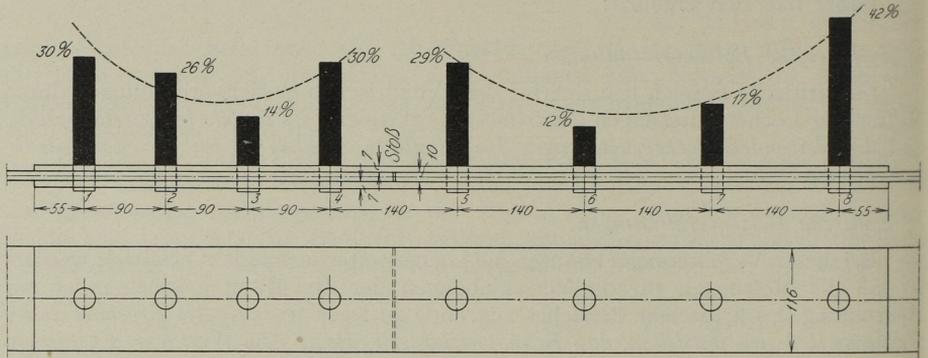


Abb. 10

tragung ist, wenigstens im elastischen Bereich, sehr ungleichmäßig, wie die Abb. 10 veranschaulicht.¹

2. Wie gestalten sich die bleibenden Formänderungen in einer Nietverbindung bei Stäben mit wechselnder Belastung?

3. Es ist der Einfluß dynamischer Kräfte auf die bleibenden Formänderungen einer Nietverbindung zu bestimmen.

Bei der Durchführung dieser Vorschläge ist in erster Linie an Dauerversuche gedacht.

¹ Vgl. BLEICH, Theorie und Berechnung der eisernen Brücken, Verlag von Julius Springer, Berlin, und FINDEISEN, Versuche über die Beanspruchungen in den Laschen eines gestoßenen Flacheisens bei Verwendung zylindrischer Bolzen. Forschungsheft 229, V. D. I.-Verlag.