

aber einwenden, daß nach der neueren Theorie ENGESSER-KÁRMÁN, und auch nach den neuesten Züricher Versuchen, die Knickfestigkeit bei einem Schlankheitsgrad  $\lambda = 40$  die Streckgrenze erreicht, so daß bei größeren Gurtquerschnitten am häufigsten vorkommenden Schlankheitsgraden  $\lambda = 45 - 50$  gegen Bruch nur eine Sicherheit  $n = 1,90$  bestände, welche allmählich wachsend nur bei  $\lambda = 100$  den Wert  $n = 3,0$  erreicht.

Es ist also wünschenswert, daß bei dem erwähnten, praktisch wichtigsten Schlankheitsgrad gegen Bruch eine 2,5fache, mindestens aber eine 2,3- bis 2,4fache Sicherheit vorhanden sein soll. Dies läßt sich nur erreichen, wenn wir von der parabolischen Formel zur älteren, von TETMAJER herrührenden Geradelinienformel zurückkehren.

Aus diesem Grunde wird jetzt von der Kommission die Rückkehr zu dieser Formel erwogen.

## Diskussion

Dr.-Ing. A. DÖRNEN, Derne:

Herr Dr. FINDEISEN wertet in seinem Referate „Versuche über Lochleibungsdruck“ die Versuche aus, welche die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft in den Jahren 1926 und 1927 hat durchführen lassen, um festzustellen, ob das Verhältnis  $a$  des zulässigen Lochleibungsdruckes zur zulässigen Normalspannung mit  $a = 2,5$  zu hoch wäre.

Der von Herrn Geheimrat SCHAPER unter dem Vorsitze von Herrn Oberbaurat WEIDMANN berufene und mit der Durchführung der Versuche betraute Ausschuß ist bezüglich der Versuche aus dem Jahre 1926 mit St. 37 und St. 48 einmütig zu dem Ergebnis gekommen, daß gegen  $a = 2,5$  Bedenken nicht erhoben werden können. Im Jahre 1927 wurden die Versuche des Jahres 1926 ergänzt und auf St. Si ausgedehnt. Auch hier ist der Versuchsausschuß bezüglich St. 37 und St. 48 zum gleichen Ergebnis gekommen; bezüglich St. Si hat indessen Übereinstimmung nicht erzielt werden können.

FINDEISEN folgert in seinem Referate: „Im allgemeinen konnte festgestellt werden, daß die Verschiebungen bei  $a = 2,5$  bedenklich zu werden beginnen“ und schreibt weiter: „Das kritische  $a$  wurde in der Regel an den Knickpunkten der Schaulinien abgelesen“. Ich darf wohl annehmen, daß er damit in erster Linie die Schaulinien seiner Abb. 9 meint, die die Verschiebungen zwischen den verbundenen Teilen in den untersuchten Versuchsstücken bei den verschiedenen Werten für  $a$  darstellen. Meines Erachtens ist der Verlauf dieser Kurven durchweg mindestens bis  $a = 3,5$  so, daß von einem Knick, der auf bedenkliche Verschiebungen schließen läßt, nicht gesprochen werden kann, um so weniger als auch für noch höhere Werte von  $a$  die Schaulinien stetig und ziemlich steil verlaufen und damit auf große Reserve schließen lassen.

Bei der Beurteilung der Verschiebungen in Nietverbindungen ist zu unterscheiden, ob es sich um den Anschluß von Wechselstäben handelt oder um Stäbe, die nur aus einer Richtung beansprucht werden. Bei letzteren sind gewisse Verschiebungen ohne Bedeutung. Sie sind Voraussetzung dafür, daß sich die Nietschäfte satt gegen die Lochleibungen legen und sind umso größer, je weniger sorgfältig die Nietarbeit ist und je größere Kräfte von dem einzelnen Niet aufgenommen werden. Wir können noch so sorgfältig nieten, es wird kaum möglich sein, das Nietloch vollkommen mit ungeschwächtem Nietmaterial zu füllen. Schon durch den Temperaturunterschied zwischen Niet und Konstruktion bei Beendigung der Staucharbeit

entsteht infolge der anschließenden stärkeren Abkühlung des Nietschaftes ein Zwischenraum zwischen ihm und der Lochleibung. Auch ist der äußerste Mantel des Nietschaftes rau und nie mehr ganz vollwertig, wenn man auch noch so sorgfältig allen Zunder entfernt. Bis zur satten Anlage sind also gewisse Verschiebungen unvermeidlich. Anschließend wird an bestimmten Stellen der Nietlöcher nach Überwindung des Reibungswiderstandes schon bei niedrigen Beanspruchungen die Fließgrenze überschritten. Diese Überschreitungen treten aber nur örtlich auf und wirken sich hier anders aus wie beispielsweise dann, wenn sie sich schwächend über einen ganzen Stabquerschnitt erstrecken. Alle diese Verschiebungen tragen dagegen zu einer ausgleichenden Verteilung der Kraftanteile auf die einzelnen Niete bei und sind in gewissen Grenzen ohne Bedenken bei nur aus einer Richtung beanspruchten Stäben. Dies gilt auch für Wechselstäbe, bei denen das Verhältnis der Größtkräfte aus Haupt- und Gegenrichtung zahlenmäßig so ist, daß letztere die Reibung im Anschluß nicht überwindet. Bei Wechselstäben besteht sonst die Gefahr, daß sie sich loshämmern; sie ist umso größer, je mehr die Haupt- und Gegenkräfte einander gleich werden. Wechselstäbe müssen daher so angeschlossen werden, daß Gleitbewegungen in ihnen nur in einem Sinne, in der Hauptrichtung, eintreten und daß die Kraft aus der Gegenrichtung den verbleibenden Gleitwiderstand nicht zurücküberwindet. Dem ungünstig wirkenden Richtungswechsel der Stabkräfte etc. wird meistens dadurch Rechnung getragen, daß man von der Kraft aus der Gegenrichtung einen gewissen Prozentsatz der Hauptkraft zuschlägt; in den Vorschriften der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft 30%. Dieser Zuschlag setzt den Wert  $\alpha$  im ungünstigsten und kaum vorkommenden Fall, daß nämlich die Größtkräfte aus beiden Richtungen gleich sind, auf  $\left(\frac{2,5}{1,3} = \right) \sim 1,9$ , in dem Fall, daß sie sich wie 2 : 1 verhalten, für die Gegenkraft auf  $\left(\frac{2,5}{1,15} \cdot 0,5 = \right) \sim 1,1$  herab. Es bleibt zu erwägen, ob die Form eines festen prozentualen Zuschlages richtig ist. Zur Erläuterung ein Beispiel. Wechselstab: Größtkraft aus der Hauptrichtung = 1000 t und aus der Gegenrichtung = 100 t. Diese 100 t sind nicht in der Lage, die verbleibende Reibung im Nietanschluß zu überwinden. Es dürfte sich in diesem Falle erübrigen, den Anschluß für  $1000 + 100 \cdot 0,3 = 1030$  t zu bemessen.

Die meisten Bauvorschriften für Brücken berücksichtigen die dynamischen Wirkungen der Betriebslasten durch Einführung einer Stoßziffer  $\rho$ . Stoßwirkungen verlieren sich aber um so mehr, je mehr elastische Konstruktionselemente sie durchlaufen müssen. Ich halte es für unwahrscheinlich, daß sie sich bis zur Beanspruchung der Lochwandungen in den Nietverbindungen durchfinden, weil ihnen hier der Reibungswiderstand als wirksamer Stoßdämpfer vorgeschaltet ist. Ist dem so, dann erhöht der Faktor  $\rho$  die rechnungsmäßige Sicherheit dieser Nietverbindungen mit seinem vollen Wert. Für den Wert  $\alpha$  ergibt dies bei einer mittleren Stoßziffer von 1,4 eine Verminderung auf  $\left(\frac{2,5}{1,4} = \right) \sim 1,8$ . Für den behandelten ungünstigsten Fall der Wechselstäbe bedeutet es eine weitere Herabsetzung auf  $\left(\frac{2,5}{1,3 \cdot 1,4} = \right) \sim 1,4$ ; für den Fall, daß sich die Kräfte aus Haupt- und Gegenrichtung wie 2 : 1 verhalten, auf  $\left(\frac{2,5}{1,15 \cdot 1,4} \cdot 0,5 = \right) \sim 0,8$ .

GERBER und ENGESSER haben jahrzehntelang mit  $\alpha = 2,5$  gerechnet; die sich dabei ergebenden örtlichen Überschreitungen der Streckgrenzen sind ihnen kaum unbekannt geblieben. Sie haben aber die Selbsthilfe des Materials, die wir heute erkennen, intuitiv geahnt und in Ansatz gebracht. Die Darlegungen, die hier Professor MEIER-Leibnitz gebracht hat, zeigen, wie wunderbar weit diese Selbsthilfe gehen kann. Vorgänge wie in dem von ihm behandelten Balken auf 3 Stützen

gehen analog in jedem Nietloch nach örtlicher Überschreitung der Fließgrenze vor sich.

Nach diesen Erwägungen können meines Erachtens Bedenken gegen einen Wert  $a = 2,5$  nicht erhoben werden; die Sicherheit, die er läßt, genügt auch weitgehenden Ansprüchen. Es ist selbstverständlich, daß der höheren Beanspruchung eine gesteigert sorgfältige Arbeit am Zeichentisch, in der Werkstatt und auf der Baustelle entsprechen muß und daß die Ansprüche, die an diese Arbeit gestellt werden, recht hoch geschraubt werden müssen.

H. FRÖLICH, Ingenieur der SBB. in Bern:

Der nachfolgende Bericht behandelt Zugversuche mit Nietverbindungen aus gewöhnlichem Flußeisen und aus Siliziumstahl, Versuche, welche in den Jahren 1927 und 1928 an der Eidg. Materialprüfungsanstalt in Zürich auf Veranlassung der Schweiz. Bundesbahnen und mit Unterstützung des Verbandes Schweiz. Brückenbauanstalten durchgeführt worden sind. Beim Siliziumstahl handelt es sich um Material aus dem Bosshardt-Ofen, das von der Aktiengesellschaft J. C. FREUND in Charlottenburg zur Verfügung gestellt wurde; es ist in den Tafeln und Zusammenstellungen als St. F. bezeichnet. Das Flußeisen war von der Qualität St. 37.

### 1. Probestäbe und Versuchsanordnung

#### Abbildung 18

Es sind zwei Reihen doppelseitiger Stoßverbindungen untersucht worden.

In Reihe I *verhältnismäßig dünne Breiteisenstäbe*, Stäbe und Laschen gleich stark und je 10 mm dick; Zugbelastung erfolgte auf einer Werderschen Zerreißmaschine (100 t Höchstbelastung).

In Reihe II *verhältnismäßig dicke Flacheisenstäbe* mit ebenfalls gleich starken Laschen, Dicke je 16 mm bei St. 37 bzw. 16,5 mm bei St. F., Belastung mit einer Zerreißmaschine Amsler-Laffon.

Von beiden Materialsorten sind die auf der Tafel aufgezeichneten Nietverbindungen in je zwei Probestäben angefertigt worden; im ganzen waren also je 12 Stäbe aus St. 37 und aus St. F. vorhanden. Die Nietung erfolgte mit Lufthammer bei St. 37 und von Hand bei St. F. Der Durchmesser der Rohnieten war 17, bzw. 22 mm und 1 mm kleiner als der Lochdurchmesser; die Bezugsquerschnitte sind auf den Durchmesser des Nietloches bezogen. Das Material hatte die auf der Tafel angegebenen Zugfestigkeiten.

An diesen Probestäben wurde nun mit in Stufen von 1 bis 5 t steigender Belastung die *Ausweitung der Stoßfuge* gemessen mit einem MARTENSSchen Spiegelmeßgerät an jeder Stabkante, das auf 5 cm Meßlänge eingestellt war. Vom Beginn der größeren Bewegungen ab erfolgte die Messung mit Zirkel zwischen Körnern. Für eine Anzahl Laststufen ist durch Entlasten auch die *bleibende Fugenausweitung* bestimmt worden. Die Wiederbelastung und Entlastung ist auch mehrmals wiederholt worden, wobei meistens schon die erste Wiederholung nur noch eine vergleichsweise sehr geringe weitere Zunahme der bleibenden Ausweitung ergeben hat.

Zu dem Verfahren, das Verhalten der Nietverbindung aus der verhältnismäßig sehr einfach auszuführenden Beobachtung der Fugenausweitung festzustellen, sind noch einige Bemerkungen und Begründungen vorzuschicken. In Anlehnung an den Längenausdehnungskoeffizienten des einachsigen Spannungszustandes

$a = \frac{1}{E} = \frac{\epsilon}{\sigma} = \text{Dehnung auf } 1 \text{ t/qcm, bzw. } 1000 \text{ kg/qcm}$  wird der *Fugenausweitungskoeffizient*  $2a$  eingeführt als Fugenausweitung, gemessen in Millimetern, für 1000 kg/qcm Nietscherbeanspruchung. Genauer gesprochen ist  $2a$  zu vergleichen

mit einer Längenänderung, d. h. mit dem Produkt  $L \cdot a = \Delta L =$  Längenänderung eines Zugstabes für 1000 kg/qcm Beanspruchung.

Der Faktor 2 wird allen Auswertungen der Fugenausweitung beigelegt, um zum Ausdruck zu bringen, daß die relativen Verschiebungen des links- und rechtsseitigen Nietanschlusses zusammen in der Beobachtungsgröße und den daraus abgeleiteten Zahlenwerten enthalten sind. Es ist nun von Interesse, die Stab-längen  $L$  von Zugstäben festzustellen, welche beispielsweise bei 1000 kg/qcm Zugbeanspruchung eine Längenänderung erfahren, welche äquivalent ist der Fugen-

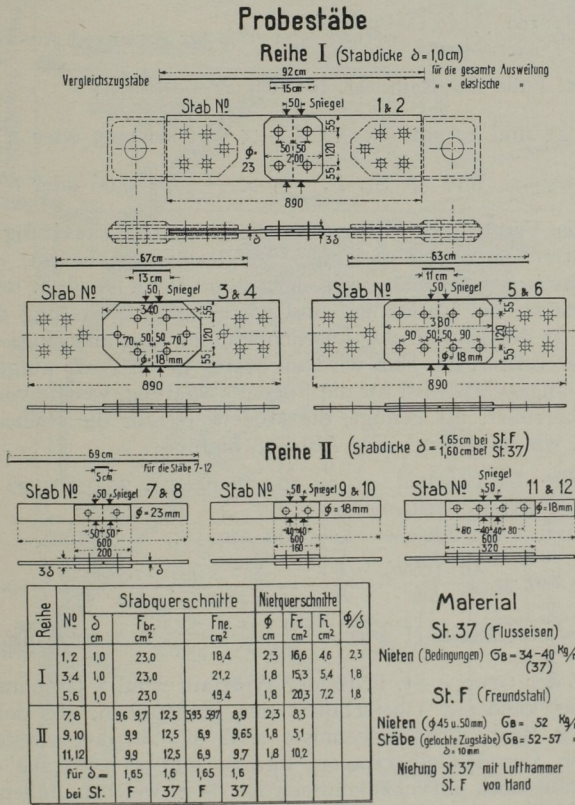


Abb. 18

ausweitung unserer Nietverbindungen bei 1000 kg/qcm Nietscherbeanspruchung; es wird also eine Beziehung aufgestellt auf der Basis gleicher Zug- und Nietscherbeanspruchung. Wir gehen aus von den Koeffizienten  $2a$  der gesamten Fugenausweitung und entnehmen den Tafeln der Versuchsergebnisse folgende Werte, welchen die Länge  $L$  der Vergleichszugstäbe beigelegt wird.

Mittel der Probestäbe Nr. 1 und 2	$2a = 44/100$ mm	hiesu $L = 920$ mm
„ „ „ „ 3 „ 4	$= 32/100$ mm	„ „ $L = 670$ mm
„ „ „ „ 5 „ 6	$= 30/100$ mm	„ „ $L = 630$ mm
„ „ „ „ 7 bis 12	$= 33/100$ mm	„ „ $L = 690$ mm.

Diese Stablängen sind auf der Abb. 18 über den Nietbildern eingetragen und erreichen recht erhebliche Längenmaße. Dem gegenüber ist das mittlere Laschenstück, dessen Längenänderung zwischen den inneren Nietreihen in der Fugenausweitung fälschlicherweise mitgemessen wird, nur von geringer Ausdehnung. Um den Fehler der Messung bei angespannter Lasche infolge dieser Ursache festzustellen, ist das Produkt aus dem Verhältnis dieser beiden Längen noch multipliziert mit dem umgekehrten Verhältnis der maßgebenden Querschnitte, nämlich Nietscherquerschnitt dividiert durch Bruttoquerschnitt der Laschen, zu bilden. Dies ergibt nun die folgenden Beiträge aus der Laschendehnung allein: Im ungünstigsten Falle der Reihe I, bei den Probestäben:

$$\text{Nr. 5 und 6 } \frac{100}{63,0} \times \frac{20,3}{46,0} = 0,07 \text{ oder } 7\% \text{ der gesamten Ausweitung.}$$

Im ungünstigsten Falle der Reihe II, bei den Probestäben:

$$\begin{aligned} \text{Nr. 11 und 12, für St. 37 } & \frac{80}{690} \times \frac{10,2}{25,0} = 0,05 \text{ oder } 5\% \\ \text{und „ St. F. } & \frac{80}{690} \times \frac{10,2}{19,8} = 0,06 \text{ oder } 6\%. \end{aligned}$$

Die unterhalb den Vergleichszugstäben für die gesamte Ausweitung eingetragenen viel kürzeren Strecken zeigen diejenigen Vergleichszugstäbe an, deren Längenänderung den *elastischen* Fugenausweitungen äquivalent ist, d. h. den Änderungen der Stoßfuge, wie sie bei Entlastung und wiederholter Belastung der Probestäbe auftraten. Hier ist der Einfluß der Laschendehnung nun allerdings ein verhältnismäßig viel bedeutenderer. Ein Maß wird am besten in der Form aufgestellt, daß der Koeffizient  $2 a_L$  angegeben wird für die Fugenausweitung, welche von der Laschendehnung allein herrührt. Es genügt, die Mittelwerte für die Reihen I und II zu bestimmen, und wir entnehmen der Abb. 18 hierfür

$$\begin{aligned} F^{\text{br.}} \text{ der Laschen} &= 46,0 \text{ qcm bzw. } 25,0 \text{ qcm} \\ F \tau \text{ (Nietscherfläche)} &= 17,5 \text{ „ „ } 7,5 \text{ „} \\ \text{und } \lambda \text{ der Lasche} &= 100 \text{ mm „ } 80 \text{ mm.} \end{aligned}$$

$$\text{Hieraus } 2 a_L = \frac{\lambda \sigma \cdot (1000)}{E} \cdot \frac{F \tau}{F^{\text{br.}}} = \frac{100 \times 1}{2100} \cdot \frac{17,5}{46,0} = 1,8/100 \text{ mm} \quad (I)$$

$$\text{bzw. für Reihe II } 2 a_L = \frac{80 \times 1}{2100} \cdot \frac{7,5}{25,0} = 1,2/100 \text{ mm.}$$

Für die Reihe II der Gruppe St. F. ist der Wert auf rund  $1,5/100$  mm zu erhöhen, zufolge des etwas kleineren Querschnitts der Stoßlaschen. In den graphischen Auftragungen der Beobachtungsergebnisse sind die zu den vorstehenden  $2 a_L$ -Werten gehörigen Geraden eingetragen, und es läßt sich daraus ohne weiteres erkennen — worauf noch zurückzukommen ist — in welchen Fällen allenfalls die Korrektur der Laschendehnung in Betracht kommen könnte. Wir haben von dieser Korrektur der Meßwerte jedoch grundsätzlich Umgang genommen, da von vorneherein an das Fugenausweitungsmeßverfahren nicht der Anspruch gestellt werden sollte, daraus die absolut genauen Werte der relativen Verschiebungen in den Nietverbindungen zu gewinnen. Der Zweck unserer Versuche lag vielmehr darin, mit verhältnismäßig einfachen Mitteln die charakteristischen Vorgänge im Verlaufe der Belastung einer Nietverbindung zum Ausdruck zu bringen und zeichnerisch zu veranschaulichen. Ein Umstand ist allerdings noch von wesentlicher Bedeutung. Die Laschen sollten verhältnismäßig sehr kräftig gewählt werden, nämlich so stark, daß ihre Materialstreckgrenze, oder besser noch die  $E$ -Grenze desselben nicht erreicht wird, damit der Störungseinfluß der Laschendehnung nicht aus dem Proportionalitätsbereich heraustritt.

## 2. Schaulinien der Fugenausweitung

Abbildungen 19 bis 21

Für die Probestäbe aus St. 37 sind die Ergebnisse der Reihe I und II in zwei Tafeln getrennt aufgetragen.

a) Abb. 19 für Reihe I aus St. 37.

Auf der Abszissenachse sind die Fugenausweitungen  $2\Delta$  in Millimetern aufgetragen und als zugehörige Ordinaten die Nietscherspannungen  $\tau$  gemäß dem

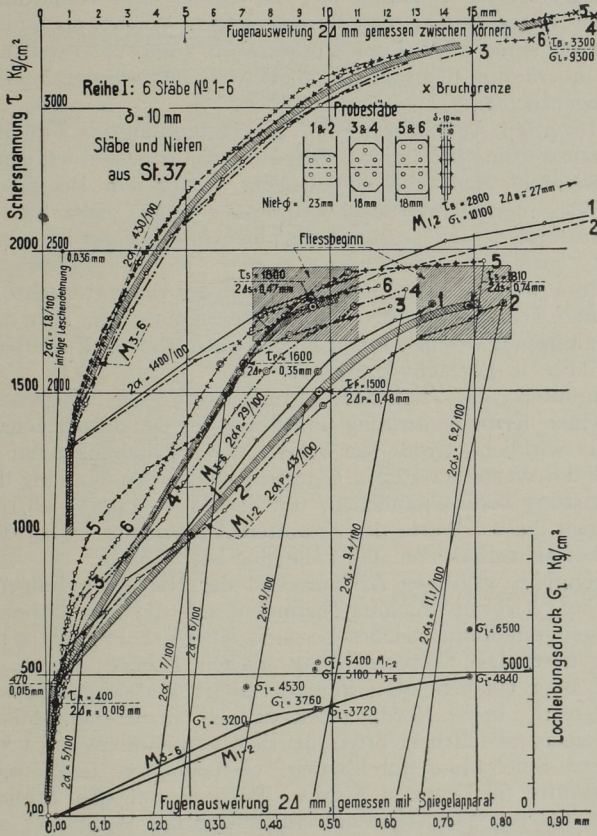


Abb. 19

großen Maßstab links, und in einer Nebenfigur unten der Lochleibungsdruck  $\sigma_l$  in zehnmal kleinerem Ordinatenmaßstab. Der Verlauf der Schaulinien läßt deutlich vier Bereiche erkennen.

1. Einen kurzen, geradlinigen und sehr steilen Anfangsast, welcher dem Bereiche des reinen Reibungswiderstandes entspricht; wir haben die obere Grenze desselben, im Mittel für die sechs Probestäbe, bei etwa 400 kg/qcm Nietscherspannung aufgefunden.

2. Einen sehr ausgedehnten mittleren Bereich, welcher schematisiert durch die ausgemittelten Geraden  $M_1$  und  $2$  und  $M_3$  bis  $6$  gekennzeichnet ist; also auch hier

noch im wesentlichen mit der Belastung proportional wachsende Fugenausweitung mit den Fugenausweitungskoeffizienten  $2a = 43/100$  bzw.  $29/100$ . Die Kraftübertragung erfolgt durch das Anliegen des Nietschaftes an den Lochwandungen, die Nietverbindung ist in den Normalarbeitszustand eingetreten.

3. Von einer gewissen *Proportionalitätsgrenze* ab, welche im Mittel bei etwa 1500 bis 1600 kg/qcm gefunden worden ist, nimmt die Fugenausweitung wachsend rascher zu, die Spiegel des Meßgerätes stehen mit dem Erreichen einer Laststufe öfters noch nicht ganz still. An der Grenze, welche bei 1800 kg/qcm mit *Fließbeginn* bezeichnet wurde, ist die Zunahme der Bewegung eine verhältnismäßig außerordentliche. Die Spiegel kommen auch nach einigem Warten noch nicht vollständig zur Ruhe, oder sie sind, wie bei den Probestäben 1 und 2, so weit abgerückt, daß eine Ablesung überhaupt nicht mehr möglich ist. Die Spiegelmessung wird auf dieser Stufe abgebrochen.

4. Der Bereich der Auflockerung der Nietverbindung bis zum Bruch.

Die Fugenausweitung  $2\Delta$  ist zwischen Körnern gemessen worden und in einem zwanzigmal kleinerem Maßstabe aufgetragen. Schon am Beginn dieses letzten Bereiches ist der Fugenausweitungskoeffizient  $2a$  ein Vielfaches desjenigen im Normalarbeitszustand der Nietverbindung, die Auflockerung ist unverkennbar im Gange.

Die steile, nur wenig geneigte Gerade neben der Ordinatenachse gibt den Verlauf der Fugenausweitung infolge der Laschendehnung an, also den Fehler der Versuchsanordnung, auf welchen schon hingewiesen wurde. Eine Berücksichtigung kann in zwei Fällen in Betracht kommen:

Erstens müßten die  $2\Delta$ -Beobachtungswerte der Fugenausweitung im Bereiche der reinen Reibungswirkung unbedingt um den Lascheneinfluß korrigiert werden, um die wirkliche Größe der relativen Verschiebungen zu erhalten, und sodann sind die  $2a$ -Werte der steilen Geraden, welche den Vorgang der Entlastung und Wiederbelastung veranschaulichen, um den Wert  $2a_L = 1,8/100$  zu groß — wie übrigens auch die  $2a$ -Werte der gesamten Ausweitung — bei denen aber der Abminderungsbetrag verhältnismäßig belanglos ist.

In dem technisch wichtigen Arbeitsgebiet der Nietverbindungen von 500 bis 1000 kg/qcm Nietscherbeanspruchung befinden sich die hier untersuchten Stäbe in einem Übergangsstadium, welches besonders bei der Probe 5 sehr ausgeht in Erscheinung tritt. Die Nietverbindung erscheint, sei es durch nachwirkende Reibungskräfte oder Unebenheiten am Nietschaft und an den Lochwandungen, noch gehindert, restlos in den Normalarbeitszustand einzutreten. Meistens geschieht dies dann mit einem plötzlichen, öfters deutlich vernehmbaren Ruck, indem etwa noch vorhandene Spielräume durchlaufen, Unebenheiten zerquetscht und wohl auch Reibungskräfte überwunden werden. Bezogen auf den Stand der Fugenausweitung im späteren Normalarbeitsbereich war die Hemmung ohne Gewinn; die Nietverbindung hätte ebenso gut an der Reibungsgrenze unvermittelt in den Normalarbeitszustand treten können, welcher durch die nach unten verlängerten Geraden schematisiert wird.

Für die Erkenntnis der Natur der Formänderungen sehr wesentlich ist der Vorgang der Entlastung und Wiederholung der Belastung. Die Fugenausweitung verläuft dabei, wenn von Zwischenlaststufen Umgang genommen wird, nach den steil gestellten Geraden, welche wir als Ausdruck der elastischen Arbeitsweise der Nietverbindung unterhalb einer einmal erreichten Höchstbelastung zu betrachten haben. Beiläufig sei bemerkt, daß die Neigung dieser Geraden, besonders anfangs, fast vollständig mit den geradlinigen Anfangsstäten im Reibungsbereich übereinstimmt. Ist diese Auffassung von der elastischen Arbeitsweise aber richtig, so bedeutet dies, daß eine im Normalarbeitsbereich mit den Fugenausweitungs-

koeffizienten  $2\alpha p = 29/100$  bzw.  $43/100$  erstmals ansteigende Belastung im überwiegenden Maße bleibende relative Verschiebungen zur Folge hat, welche bis auf 80% zu bewerten sind. Die absolute Größe ist allerdings kaum bedenklich, handelt es sich doch, beispielsweise bei 1500 kg/qcm Nietscherbeanspruchung der ungünstigen Probestäbe 1 und 2, um höchstens  $1/5$  mm, auf eine Anschlußseite bezogen. Die bleibenden Deformationen sind örtlicher Natur, insbesondere dürfte es sich um Quetschung der Lochränder infolge der Biegungsbeanspruchung der Nietschäfte handeln. Diese bleibenden relativen Verschiebungen dürften aber auch der Grund

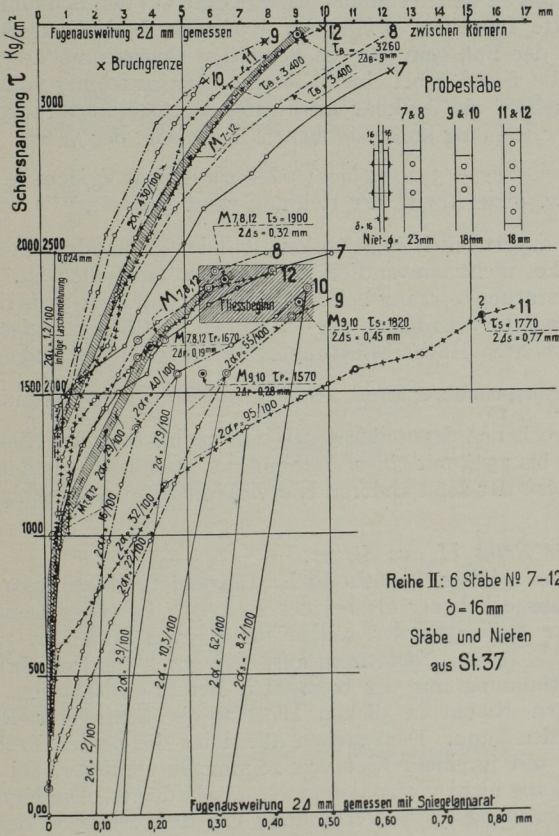


Abb. 20

für die sehr wertvolle Ausgleichsmöglichkeit der Beanspruchung auf die einzelnen Nieten sein, bevor die Nietverbindung als Ganzes in ein kritisches Stadium tritt.

Um nun noch kurz auf die Frage nach dem Einfluß des Lochleibungsdruckes einzugehen, ist in erster Linie auf das unterschiedliche Verhalten der Probestäbe 1 und 2 mit Nieten von 23 mm Durchmesser gegenüber den vier anderen Proben Nr. 3 bis 6 mit Nieten von 18 mm hinzuweisen. Die Proben Nr. 1 und 2 haben um rund 50% größere Fugenausweitungskoeffizienten sowohl für die gesamte als auch für die elastische Ausweitung. Daß die relativen Verschiebungen in sehr erheblichem,



wahrscheinlich sogar überwiegendem Maße vom Lochleibungsdruck abhängig sind, geht nun besonders aus den unteren Schaulinien  $M_1$  und 2 und  $M_3$  bis 6 hervor. Hier sind die *Lochleibungsdrücke* als Ordinaten aufgetragen, und diese Linien sind einander viel näher gerückt, auch verhältnismäßig, als es oben mit den Nietscher-*spannungen* als Ordinaten der Fall ist. Beiläufig sei noch bemerkt, daß für die Auftragung der beiden Schaulinien  $M_1$  und 2 und  $M_3$  bis 6 im Lochleibungsmaßstab die Belastung bis zur Reibungsgrenze in Abzug gebracht worden ist; die Lochleibungsdrücke ohne diesen Abzug sind an den höherliegenden Einzelpunkten für einige charakteristische Laststufen angeschrieben. Es kann nun die Frage gestellt werden, ob und an welcher Stelle, insbesondere auf den Schaulinien  $M_1$  und 2, sich Anhaltspunkte für einen *minimalen kritischen Lochleibungsdruck* vorfinden. Dies könnte nun der Fall sein für die vorzeitige Begrenzung des Normalarbeitsbereiches der Stäbe 1 und 2 bei einer Nietscherbeanspruchung von nur rund 1500 kg/qcm. Hiezu gehört als denkbar niedrigster Lochleibungsdruck, nämlich nach Abzug der von der Reibung aufgenommenen Belastung, der Wert

$$\sigma_1 = 3720 \text{ kg/qcm oder rund } 3700 \text{ kg/qcm} \\ \text{bzw. ohne Abzug der Reibung rund } 5400 \text{ ,,}$$

Hiezu ist indessen ausdrücklich zu bemerken, daß das Vorhandensein eines kritischen Lochleibungsdruckes nicht einwandfrei als erwiesen anzusehen ist.

Über den Zerstörungsvorgang bei den Stäben 1 und 2 ist zu berichten, daß am gebrochenen Stabteil die Stirnfläche vor den beiden Nietlöchern aufgespalten wurde. Der im Mittel erreichten Höchstbelastung entsprechen die folgenden Spannungen:

Nietscherbeanspruchung rund 2800; Lochleibungsdruck rund 10100.

An den nicht gebrochenen Stabteilen ergab sich nach Lösen der Nieten eine größte Lochverlängerung bis 75% mit einer Wölbung der Stirnkante bis 9 mm. Als Mittel der *Nietscherfestigkeit* der zehn anderen Nietverbindungen ist 3280 kg/qcm gefunden worden.

b) *Abb. 20 für Reihe II aus St. 37.*

Die Ergebnisse dieser mehrheitlich Einzelnietverbindungen umfallenden Reihe II sind unausgeglichener als bei der Reihe I. In erster Linie fällt auf die beträchtlich höhere *Reibungsgrenze*, welche für die drei Stäbe Nr. 7, 8 und 12 im Mittel bei rund 700 kg/qcm Nietscherbeanspruchung gefunden worden ist. Dies steht in Übereinstimmung mit der bekannten Erfahrungstatsache, daß mit verhältnismäßig langen Nieten in dicken Blechen ein kräftigerer Reibungsschluß hervorgerufen werden kann. Dem stehen allerdings die beiden Probestäbe Nr. 9 und 10 gegenüber mit je einem Niet von 18 mm Durchmesser, bei welchem eine reine Reibungswirkung nicht vorhanden gewesen sein dürfte. Die Kraftübertragung scheint schon von Anfang an in Verbindung mit dem Anliegen des Nietschaftes an die Lochwandungen erfolgt zu sein. Auch unter diesen, im einzelnen sehr ungleichen Bedingungen ist kein wesentlicher Unterschied für den *Fließbeginn* festgestellt worden, welcher im Mittel bei rund 1850 kg/qcm Nietscherbeanspruchung liegt. Eine ausgesprochene Ausreißerprobe liegt mit Nr. 11 vor, trotzdem steht ihre *Bruchgrenze* mit 3400 kg/qcm Nietscherspannung an höchster Stelle, indem das Mittel aus allen sechs Proben nur 3260 beträgt.

c) *Abb. 21 für Reihe I und II aus St. F. zusammen.*

Die Reibungsgrenzen stimmen praktisch überein mit den bei St. 37 gefundenen Werten, rund 400 kg/qcm für die Reihe I und 700 bis 800 für die Reihe II. Wie zu erwarten war, reicht der Normalarbeitszustand der Nietverbindung zu bedeutend höheren Laststufen als bei St. 37, zu rund 2500 kg/qcm Nietscherbeanspruchung,

soweit allerdings keine außerordentlichen Verhältnisse vorliegen. Letzteres ist der Fall bei den Stäben Nr. 1 und 2 mit Nieten von 23 mm Durchmesser in 10 mm dicken Blechen und bei den beiden Proben Nr. 7 und 8 ebenfalls mit 23 mm-Nieten, jedoch in 16,5 mm starken Stäben. Gegenüber dem *Fließbeginn* der anderen Stäbe, welcher als Mittel von acht Proben bei  $2870 \text{ kg/qcm}$  gefunden wurde, beträgt er als Mittel der Stäbe Nr. 1 und 2 nur  $2420 \text{ kg/qcm}$ . Der Stab Nr. 8 mit einem noch tieferen Werte ist eine ausgesprochene Ausreißerprobe; hingegen ist unerklärlich, warum beim Stab Nr. 7 die Auflockerung der Nietverbindung verhältnismäßig früh

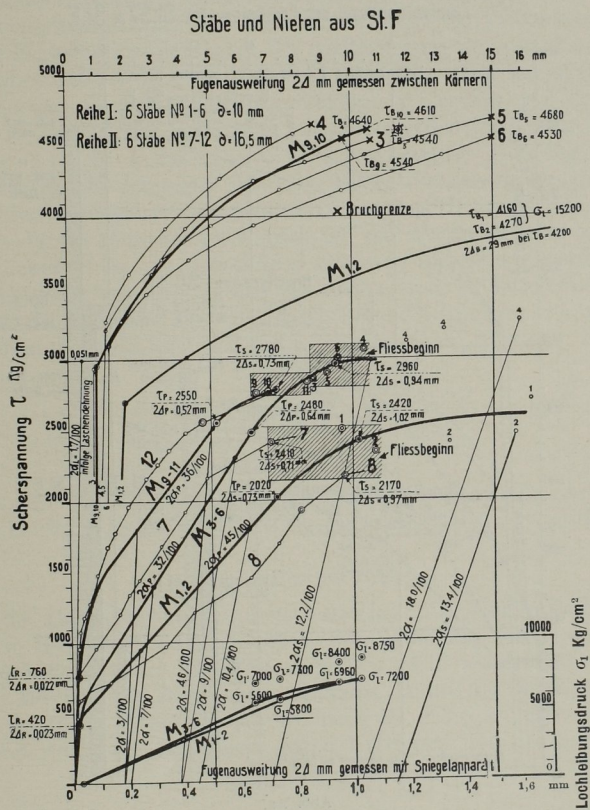


Abb. 21

und plötzlich eingetreten ist. Für das abweichende Verhalten der Stäbe Nr. 1 und 2 gilt zunächst das schon früher bei St. 37 über den Lochleibungsdruck Gesagte und auch zu den Lochleibungsdiagrammen am Fuße der Tafel ist nichts weiteres beizufügen. Als neue Erscheinung kommt nun aber in Betracht, daß der frühere Fließbeginn und die auf einer etwas tieferen Laststufe beginnende Einleitung in ausgesprochenerem Maße, als es bei St. 37 der Fall ist, auf einen kritischen Lochleibungsdruck zurückzuführen sind. Es darf deshalb auch mit mehr Bestimmtheit angenommen werden, daß mit der Einleitung zum Übergang in den Fließbeginn der *kleinste kritische Lochleibungsdruck* erreicht worden ist. Hierzu gehört ein Wert  $\sigma_l = 5800 \text{ kg/qcm}$  mit Abzug des Lastanteils der Reibung, bzw.  $\sigma_l = 7300 \text{ kg/qcm}$

ohne Abzug desselben, womit wiederum nur Grenzwerte genannt werden können, da bestimmte Angaben über die Größe der noch vorhandenen Reibung fehlen.

Der weitere Verlauf der Fugenausweitung bis zur Bruchgrenze ist im oberen Teil der Tafel in einem zehnmal kleineren Abszissenmaßstab aufgetragen. Als Mittel von sechs Probestäben, welche durch Abscheren der Nieten zerstört worden sind, ist eine *Bruchgrenze* von rund  $4600 \text{ kg/qcm}$  gefunden worden. Hier muß beigefügt werden, daß vier Probestäbe der Reihe II, Nr. 7, 8, 11 und 12, an Stabbruch zugrunde gegangen sind. Auch bei den Stäben Nr. 1 und 2 ist das Lösen der Ver-

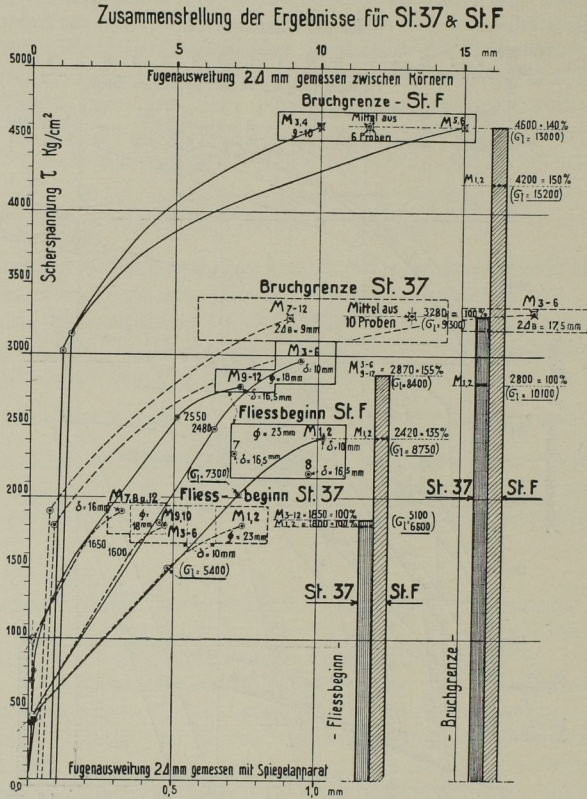


Abb. 22

bindung durch das Abscheren je eines Nietes herbeigeführt worden. Der im Mittel erreichten Höchstbelastung entsprechen die folgenden Spannungen:

Nietscherbeanspruchung rund  $4200 \text{ kg/qcm}$   
 Lochleibungsdruck „  $15200$  „

Die Verlängerung des Nietloches betrug bis 50% mit einer Wölbung der Stirnkante des mittleren Bleches von 5 mm.

### 3. Zusammenfassung der Ergebnisse

#### Abbildung 22

Die Probestäbe gleicher Bauart zeigen für St. 37 und St. F. in bemerkenswertem Maße gleiche Eigenschaften, sowohl in bezug auf den anfänglichen Reibungsschluß,

als auch in bezug auf bleibende relative Verschiebungen und elastische relative Verschiebungen im Innern der Nietverbindung. Die Höherwertigkeit des St. F. gegenüber St. 37 kommt zum Ausdruck in einer Hebung des Fließbeginns und der Bruchgrenze um rund 50, bzw. 40%. Auch die Laststufe, welche als die obere Begrenzung des Normalarbeitszustandes der Nietverbindung bezeichnet wurde, ist bei St. F. um mindestens 50% höher gefunden worden. Die Nietverbindungen aus St. F. besitzen also gerade auch in dem Bereiche, wo sich die praktischen Arbeitsvorgänge abspielen, eine der Hochwertigkeit des Materials entsprechendermaßen gesteigerte Aufnahmefähigkeit. Eine Ausnahme ist indessen in dem Falle festzustellen, wo der Lochleibungsdruck — wir bezeichnen ihn als den kritischen Lochleibungsdruck — für die Einleitung zum Beginn der Auflockerung entscheidend wird. Soweit die wenigen Probestäbe (es sind die Nummern 1 und 2 jeder Materialsorte), welche uns an Verbindungen solcher Bauart zur Verfügung standen, ein Urteil gestatten, ergibt sich das Verhältnis des kritischen Lochleibungsdruckes  $\sigma_l$  zur Materialfestigkeit des Bleches  $\sigma_B$  für St. F. zu  $\sigma_l/\sigma_B = 1,0$  mit Abzug der Reibung, bzw. 1,3 ohne Abzug derselben, wobei letzteres für den Berechnungsvorgang maßgebend ist. Für St. 37 würden die Verhältniszahlen nicht wesentlich verschieden lauten, doch kann, wie schon darauf hingewiesen worden ist, das Vorhandensein eines kritischen Lochleibungsdruckes nicht als einwandfrei erwiesen angesehen werden.

Die charakteristischen Laststufen, als solche sind zu bezeichnen: Einleitung zum Beginn der Auflockerung ( $\tau_p$ ), der eigentliche Fließbeginn ( $\tau_s$ ) und die Bruchgrenze ( $\tau_B$ ), stehen in einem ziemlich festen Verhältnis zu einander. Die Verhältniszahlen betragen:

$$\begin{aligned} \tau_p : \tau_s &= 0,85 \text{ bis } 0,90 \text{ für St. 37 und St. F., und} \\ \tau_s : \tau_B &= 0,55 \text{ ,, } 0,58 \text{ ,, St. 37, bzw.} \\ &= 0,60 \text{ ,, } 0,64 \text{ ,, St. F.} \end{aligned}$$

Das Verhältnis der Nietscherfestigkeit der Nietverbindung zur Materialzugfestigkeit der Nieten beträgt 0,85 bis 0,90 (kleinere Ziffer eher für St. 37, größere für St. F.).

#### 4. Schlußfolgerungen

Nach Art der Durchführung handelt es sich im vorliegenden Falle um Versuche statischer Natur. Es gestattet dies eine Anwendung der Ergebnisse auf die *normalerweise im Hochbau bestehenden Verhältnisse*, soweit nicht ausnahmsweise ein stärkerer und rascher Wechsel der Belastung vorkommt. Heute dürfte allgemein im Hochbau eine etwa dreifache Sicherheit gegen Bruch als Regel zu betrachten sein. Dies ergibt eine rund zweifache Sicherheit gegen Erreichen der Streckgrenze. Mit der Beziehung

$$\tau_{zul} = 0,8 \sigma_{zul}$$

erreicht man für die Nietverbindung eine 1,8- bis 1,9fache Sicherheit gegen den Fließbeginn, wobei die untere Grenze eher für St. 37 und die obere für St. F. gültig ist. Diese geringe Abminderung gegenüber der Sicherheit im Stab gegen das Erreichen der Streckgrenze ist begründet, indem die Zusatzkräfte, welche bei der Bemessung des Stabquerschnittes von dem Rechnungsvorgang nicht erfaßt werden, für die Nietanschlüsse von geringerer Bedeutung sind. Auch ist das Konstruktionsmaterial durch die Bearbeitung in der Werkstätte einer gewissen Härtung unterworfen.

Bezogen auf die Laststufe, welche den Normalarbeitszustand nach oben begrenzt, d. h. als *Einleitung zum Beginn der Auflockerung* anzusehen ist, beträgt der Sicherheitsgrad rund 1,6. Es wird nun der Vorschlag gemacht, daß *derselbe Sicherheitsgrad* auch gegen das *Erreichen des kritischen Lochleibungsdruckes* vorhanden sein soll. Die Größe des zu wählenden zulässigen Lochleibungsdruckes  $\sigma_l$  hängt nunmehr ab:

1. von dem Verhältnis des kritischen Lochleibungsdruckes  $\sigma_l$  zur Materialfestigkeit  $\sigma_B$ ;  
vorläufige Feststellung  $\sigma_l = 1,3 \sigma_B$ ;
2. von der Sicherheit  $n''$  gegen das Erreichen des kritischen Lochleibungsdruckes, Festsetzung  $n'' = 1,6$ ;
3. von dem Verhältnis  $n$  der Materialzugfestigkeit  $\sigma_B$  zur zulässigen Anstrengung  $\sigma_{zul}$ ,  $n = \sigma_B : \sigma_{zul}$ ;  
für St. 37 mit  $\sigma_{zul} = 1300$   $n \geq 3$ ;  
„ St. F „  $\sigma_{zul} = 1950$   $n = 2,8$ .

Der zulässige Lochleibungsdruck  $\sigma_l$  berechnet sich demnach

$$\text{zul } \sigma_l = \frac{1,3 \times \sigma_B}{1,6} = \frac{1,3}{1,6} \times n \times \sigma_{zul} = 0,81 n \times \sigma_{zul}$$

für St. 37  $\text{zul } \sigma_l \geq 2,44 \sigma_{zul} \approx 2,5 \sigma_{zul}$

für St. F.  $\text{zul } \sigma_l = 2,3 \sigma_{zul}$ .

Zu demselben Ergebnis für  $\text{zul } \sigma_l$  bei St. 37 gelangt man aus dem Mittelwert der Lochleibungsfestigkeit für die Versuchsgruppe  $e = 2,5 d$  der Deutschen Reichsbahn unter den folgenden Annahmen:

1. Verhältnis der Lochleibungsfestigkeit  $\sigma_l$  zur Materialfestigkeit  $\sigma_B$ ,  $\sigma_l = 1,6 \times \sigma_B$  ( $\sigma_l \approx 6200$ ).
  2. Sicherheit  $n'$  gegen das Erreichen der Lochleibungsfestigkeit  $n' = 1,9$ .
  3.  $\sigma_B : \sigma_{zul} = n = 3$ .
- Hieraus

$$\text{zul } \sigma_l = \frac{1,6 \times \sigma_B}{1,9} = 0,84 \times n \times \sigma_{zul} = \underline{2,5 \sigma_{zul}}$$

Derselbe Rechnungsgang, angewendet auf den Mittelwert der Lochleibungsfestigkeit der Nietverbindungen aus St. 48 der Deutschen Reichsbahn mit  $\sigma_l = 1,4 \times \sigma_B$  ( $\sigma_l \approx 7600$ ),  $n' = 1,9$  und  $n = 3$ , ergibt:

$$\text{zul } \sigma_l = \frac{1,4 \times \sigma_B}{1,9} = 0,74 \times n \times \sigma_{zul} = \underline{2,2 \sigma_{zul}}$$

Wird auch für unsere Siliziumstahlversuche als maßgebende Größe die Lochleibungsfestigkeit (Fließbeginn) an Stelle des kritischen Lochleibungsdruckes in die Rechnung eingeführt, so ergibt sich, mit  $\sigma_l = 1,6 \times \sigma_B$  ( $\sigma_l = 8750$ ),  $n' = 1,9$  und  $n = 2,8$

$$\text{zul } \sigma_l = \frac{1,6 \times \sigma_B}{1,9} = 0,84 \times n \times \sigma_{zul} = \underline{2,35 \sigma_{zul}}$$

Der Beiwert 0,84 zum Faktor  $n \times \sigma_{zul}$  ist für St. 37 und St. F. derselbe, der Lochleibungsdruck darf also im gleichen Verhältnis wie die Materialzugfestigkeit erhöht werden. Dies ist indessen für Nietverbindungen aus St. 48 nicht der Fall, die Lochleibungsfestigkeit nimmt in geringerem Maße zu als die Materialzugfestigkeit.

Sowohl die Nietscherspannung als auch der Lochleibungsdruck sind übernommene Spannungsbegriffe, welche den wirklichen Spannungszustand der belasteten Nietverbindung, der in sehr starkem Maße noch von Biegungsvorgängen abhängig ist, nur sehr unvollkommen erfassen. Immerhin ist der Abschervorgang die äußerlich sichtbare Begrenzung der Tragfähigkeit für die Mehrzahl der praktisch vorkommenden Nietverbindungen. Für dieselben ist auch der Fließbeginn, d. h. der Beginn der Auflockerung der Nietverbindung, wie die bisherigen Versuche erwiesen haben, eine verhältnismäßig sehr stabile Grenze, ausgedrückt als Nietscherspannung. Zu dieser Grenze, welche unmittelbar festzustellen ist, steht die technisch wichtige Laststufe der *Einleitung zum Beginn der Auflockerung* in einem festen

Verhältnis, das zu 0,85 bis 0,90 gefunden worden ist. Diesen Nietverbindungen, für welche der Nietscherspannungsbegriff allein als maßgebend in Betracht kommt, sind die Nietverbindungen gegenüberzustellen, welche durch den Begriff des Lochleibungsdruckes maßgebend beeinflußt werden. Der Fließbeginn (Lochleibungsfestigkeit in den Versuchsergebnissen der Deutschen Reichsbahn) ist veränderlich und insbesondere abhängig vom Randabstand der Nieten. Bei unseren Versuchen ist auch die Einleitung zum Beginn der Auflockerung festgestellt worden, und diese Laststufe wird als der *kritische Lochleibungsdruck* bezeichnet.

Die bisherigen Ergebnisse haben zu einer Festlegung der Festigkeitszahlen und insbesondere auch des Fließbeginns im *statischen Versuch* geführt, woraus für die normalen Verhältnisse im Hochbau Rückschlüsse in bezug auf Sicherheit und zulässige Beanspruchungen gefolgert werden dürfen. Noch unabgeklärt ist das Verhalten der Nietverbindungen gegenüber oftmals wechselnder Belastung, sowie dynamischen Einflüssen. Damit sei das weitere Versuchsprogramm nur angedeutet, welches noch seiner Durchführung harrt, bevor die Frage der Sicherheit und der zulässigen Beanspruchung auf breiter Grundlage zur Diskussion herangezogen werden kann.

Reichsbahnoberrat G. WEIDMANN, München:

Zu den Ausführungen des Herrn Dr. FINDEISEN ist zu bemerken:

Die von den drei Hochschulen München, Dresden und Karlsruhe ausgeführten Versuche über die Größe des zulässigen Lochleibungsdruckes von einnietigen Laschenverbindungen umfassen in ihrer zeichnerischen Darstellung die bei den einzelnen Laststufen gemessenen *Gesamtverschiebungen* des Mittelstabes gegenüber den Laschen. Diese Gesamtverschiebung setzt sich aber aus der elastischen und bleibenden Formänderung zusammen. Die bleibende Formänderung ist allein bei dem Lochleibungsproblem von Wichtigkeit. Bei den Münchner Versuchen betrug sie bei  $a = 1,5$ ,  $a = 2,0$  und  $a = 2,5$  rd.  $\frac{3}{4}$  der gemessenen und in den Diagrammen zusammengestellten *Gesamtverschiebung*. Die letztere bewegte sich bei 35 Probestäben bei  $a = 2,5$  zwischen 0,10 und 0,56 mm und betrug im *Mittel* 0,29 mm.

Die größte Gesamtverschiebung tritt aber schon ein bei  $a = 0,5$  bis  $a = 1,5$ , und zwar lediglich durch die *Überwindung des Gleitwiderstandes* zwischen den Blechen (BACHScher Gleitwiderstand) und beträgt hier 0,1 bis 0,2 mm.

Die Zunahme der Verschiebung nach 12maliger Belastung bei  $a = 2,5$  beträgt 0,0 bis 0,05 mm, im Mittel 0,025 mm bei 35 *Versuchsstäben*. Dieser Wert ist gegenüber der ersten Verschiebung mit 0,1 bis 0,2 mm und gegenüber der Gesamtverschiebung mit 0,29 mm verschwindend klein. Es kann nicht als sicher angenommen werden, daß diese geringe Zunahme der Verschiebung um wenige Hundertstel Millimeter auf eine bleibende Verdrückung des Materials zurückzuführen ist. Es ist viel eher anzunehmen, daß diese Verschiebungen die letzten Ausklänge der Überwindung des Gleitwiderstandes sind (z. B. infolge Verdrückens des Zunders am Nietbolzen), denn die Kurve der Verschiebungen läuft fast steiler wie vor der Belastung mit  $a = 2,5$  weiter und biegt erst bei Werten von  $a = 3,1$  (bei Si Stahl) bis  $a = 4,0$  (bei St. 37) stark um. Erst diese starke Umbiegung wird durch das starke Fließen hervorgerufen und ist für die Beurteilung des zulässigen Lochleibungsdruckes maßgebend.

Der von Herrn Dr. FINDEISEN angeführte Fall mit einem Versuchsstab aus Siliciumstahl (Si Ma), der eine besonders große Verschiebung aufweist, ist unter 36 Stäben der einzige geblieben. Die Gesamtverschiebung beträgt hier bei  $a = 2,5$  etwa 1,5 mm. Schon bei der Besprechung über die Auswertung der Versuche ist er als Fehlversuch — sei es infolge mangelhafter Ausführung des Versuchsstabes oder Versagens der Meßinstrumente — erkannt und bezeichnet worden. Keinesfalls kann er zur Auswertung herangezogen werden.

Nach dem Kurvenverlauf können die bis  $a = 2,5$  eingetretenen Verschiebungen in der Hauptsache auf die Überwindung des Gleitwiderstandes zurückgeführt werden. Die Verschiebungen infolge des Lochleibungsdruckes sind gegenüber ersteren nur sehr gering. Von einer Locherweiterung kann also kaum die Rede sein und eine vielleicht stattgehabte kleine örtliche Verdrückung würde bei dem Baustahl auch sofort eine Verfestigung des Materials hervorrufen, also für die folgenden Belastungen nur günstig wirken.

Die in der Abhandlung von Herrn Dr. FINDEISEN aufgetragenen Lastdehnungskurven (Abb. 8) beruhen ebenfalls lediglich auf der Überwindung des Gleitwiderstandes, da der horizontale Verlauf schon bei  $a = 0,6$  bis  $a = 1,0$  einsetzt. Herr Dr. FINDEISEN hat zur Aufzeichnung der Diagramme einen sehr großen Maßstab angewendet und die Messungen nach Überwindung des Gleitwiderstandes nicht mehr weiter fortgeführt. In München und Karlsruhe wurden diese Kurven bis zu hohen Laststufen ermittelt ( $a = 3,5$ ) und zeigen infolge eines kleineren Maßstabes für die Dehnungen einen ganz anderen Verlauf. Der horizontale Verlauf der Dresdener Kurven zeigt bei München und Karlsruhe bei  $a = 0,6$  bis  $a = 1,5$  eine Unstetigkeit der Kurve.

Bezüglich der Versuche mit zylindrischen Bolzen ist zu bemerken, daß die Ergebnisse nur rein theoretische Bedeutung hatten, da die Bolzen nur lose, d. h. ohne Verschraubungen oder sonstige Befestigungen in die Versuchsstäbe eingesteckt waren. Die Versuchsergebnisse mit den konischen Bolzen verhielten sich besser, blieben aber auch nicht unwesentlich hinter den Nietverbindungen zurück.

Bei den von GERBER ausgeführten, im bayerischen Netz der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft noch in größerer Anzahl im Betriebe befindlichen Brücken ergibt die rechnerische Nachprüfung bei einzelnen Brücken sowohl in den Gelenkbolzen als auch bei den zum Anschluß in den Knotenpunkten dienenden, beiderseits mit Muttern versehenen Stahlbolzen Lochleibungsdrücke bis  $a = 3,25$ , ohne daß dies im Verlaufe von mehr als 50 Jahren zu Lockerungen der Konstruktionen geführt hätte.

Erst vom Jahre 1881 ab hat GERBER seinen Berechnungen den Lochleibungsdruck sowohl bei Nietungen als Bolzenverschraubungen mit  $a = 2,5$  zugrunde gelegt und es sind von da ab im bayerischen Netze ausnahmslos alle Brücken so berechnet und ausgeführt worden.

Auf Grund der in München, Dresden und Karlsruhe durchgeführten Versuche und des einwandfreien Verhaltens aller mit dem Lochleibungsdruck von  $a = 2,5$  im Betriebe befindlichen Brücken des bayerischen Netzes ist die Aufrechterhaltung eines zulässigen Lochleibungsdruckes von  $a = 2,5$  bei Nietverbindungen vollaufberechtigt. Auch bei den mit Muttern befestigten konischen Bolzenverbindungen könnte auf Grund der praktischen Bewährung  $a = 2,5$  unbedenklich zugelassen werden. Bei den Nietverbindungen aus Si-Stahl geht der Sicherheitsgrad in der Lochleibung gegenüber dem von St. 37 um etwa 20% zurück. Der Sicherheitsgrad spielt aber hier nicht dieselbe wichtige Rolle wie im freien Stabe, da es sich hier nur um kleine örtliche *Verdrückungen* des äußeren Lochrandes handelt, die sich nur im geringen Maße in das Innere des Materials erstrecken und sich dort rasch verlieren. Der Sicherheitsgrad ist immer nach der Beanspruchungsart der einzelnen Konstruktionsglieder zu bewerten. (Wie dies im übrigen im Maschinenbau schon längst eingeführt ist, wo z. B. bei einem Lasthaken eines Hebezeuges für den Querschnitt in der Krümmung eine wesentlich geringere Beanspruchung als im geraden Schaft zugelassen wird.)

Nur auf diese Weise ist eine gute wirtschaftliche Ausnutzung der Materialeigenschaften eines Baustoffes gewährleistet.

Es wäre ein unverständlicher Krebsgang, wenn man nach den im fortschritt-

lichen Geiste erfolgten Erhöhungen der zulässigen Beanspruchungen des Baustoffes eine Änderung in dem Werte des zulässigen Lochleibungsdruckes vornahme.

Gegen die im praktischen Gebrauche des Gesamtnetzes der vormaligen bayrischen Staatseisenbahnen in mehr als fünf Jahrzehnten bestens bewährte Erfahrung  $\sigma_e = 2,5 \cdot \sigma_{zul}$  müssen auch auf breiter Basis angelegte Laboratoriumsversuche zurückstehen.

Professor Dr.-Ing. W. GEHLER, Dresden:

Da ich 1925 die Anregung zu den von Herrn FINDEISEN erörterten Versuchen gegeben habe, fühle ich mich hier verpflichtet, die Grundgedanken darzulegen, die mich hierzu veranlaßt haben.

1. Die Nietverbindungen sind, wie aus meinen Darlegungen in der Aussprache zu meinem Referat B<sub>1</sub> hervorgeht, nicht ein statisches, sondern ein *plastisches Problem*. Leider sind nun proportionale Beziehungen bei diesen plastischen Erscheinungen nicht mehr vorhanden. Deshalb ist es m. E. auch nicht zulässig, in folgender Weise zu schließen: Weil für St. 37 der Lochleibungsdruck  $\sigma_l = 2,5 \sigma_{zul}$  sein darf, muß diese Beziehung auch für St. Si zutreffen, für den also  $\sigma_l = 2,5 \cdot 2100 = 5250$  kg/qcm sein müßte. Vom praktischen Standpunkt aus betrachtet, besteht die Kernfrage darin, ob bei derartigen Beanspruchungen die Nietlöcher unrund und die Niete im Betrieb locker werden können, sodaß sie vorzeitig erneuert werden müßten.

2. Zwischen *Bolzen und Nieten* ist ein wesentlicher Unterschied. Der Schaft, der beiden gemeinsam ist, wird wie Abb. 23 zeigt, im plastischen Bereich verbogen. Aus Abb. 24 geht hervor, daß die Verbiegungen beim Niet infolge der sogenannten Klammerwirkung der Nietköpfe wesentlich kleiner als beim Bolzen sein müssen. Die Nietköpfe pressen sich nämlich in die äußeren Flächen der Laschen ein und bewirken somit eine Art Einspannung des Nietschaftes. Diese günstige Wirkung verleiht dem Niet eine etwa um 75 % höhere Tragfähigkeit, als sie der Bolzen hat. Die in Abb. 24 angedeutete wahrscheinliche Verteilung der Pressungen ist eine Fortbildung der Gedanken von Dr. BLEICH in seinem bekannten Buch „Theorie und Berechnung der eisernen Brücken“, Berlin 1924, Verlag Julius Springer, Seite 318.

3. Benutzt man die Ergebnisse der *neueren Plastizitätsforschung* nach GIRTLEK, MISES und SCHLEICHER, so erhält man eine Darstellung, in der als Ordinaten die Werte  $y = \sigma_e = \sqrt{2 \cdot E \cdot A}$  und als Abszissen die Werte des hydrostatischen Druckes  $p = \frac{1}{3} \cdot (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ .<sup>1</sup>

Mit Hilfe dieser Darstellung (s. Abb. 25) ist es mir gelungen, die Ergebnisse unserer Nietversuche hinsichtlich des Beginns des Fließens vorauszusagen.

4. Unsere bisherigen Versuche haben jedenfalls schon das eine *Ergebnis* gezeigt, daß bei *Bolzen* und insbesondere auch bei *konischen Bolzen* erhöhte Vorsicht geboten ist. Hier sind die Bedenken, die ich in Übereinstimmung mit Dr. BLEICH erhoben habe, voll berechtigt. Für Bolzen darf m. E. als höchster vertretbarer Wert des Lochleibungsdruckes  $\sigma_l = 1,5 \sigma_{zul}$  angenommen werden.

5. Ferner ergibt sich aus unseren Nietversuchen die Mahnung, den *Endabstand der Niete* nicht zu klein zu wählen. Nach Abb. 26 und 27 bildet sich in der Druckzone ein scharf umrissenes Gebiet plastischer Verformung aus, das etwa von einer Ellipse begrenzt wird. Der äußerste Punkt, also der Ellipsenscheitel, liegt bei den hier untersuchten zweischnittigen Nietverbindungen im Stabe etwa um  $1,5 d$  von der Lochmitte entfernt. Somit ist als Randabstand  $2,0 \cdot d$ , besser  $2,5 \cdot d$  dringend zu empfehlen. Abb. 27 zeigt die bemerkenswerten Fließfiguren bei starker plastischer Verformung.

<sup>1</sup> Siehe W. GEHLER, Taschenbuch für Bauingenieure, 5. Aufl., Kap. Festigkeitslehre, S. 251.



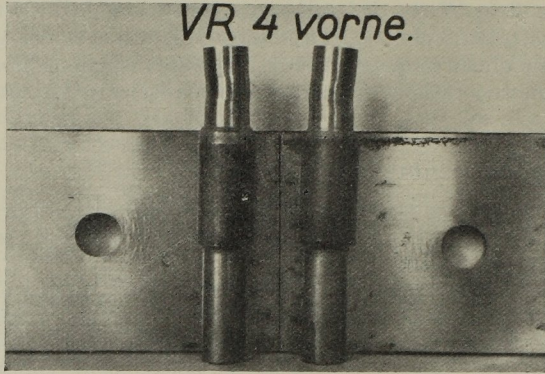


Abb. 23

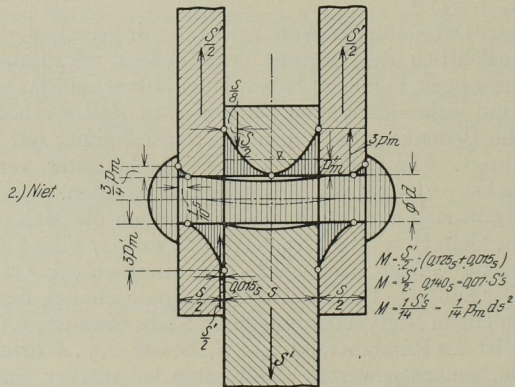
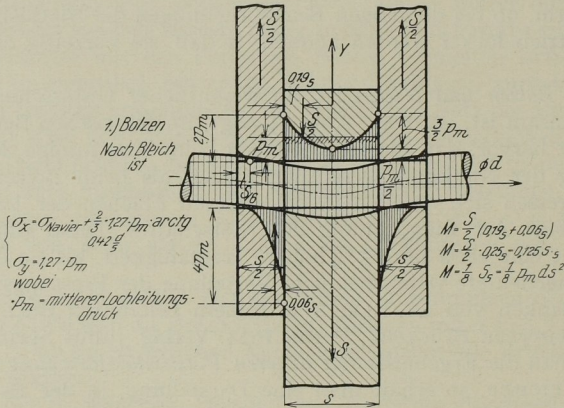


Abb. 24

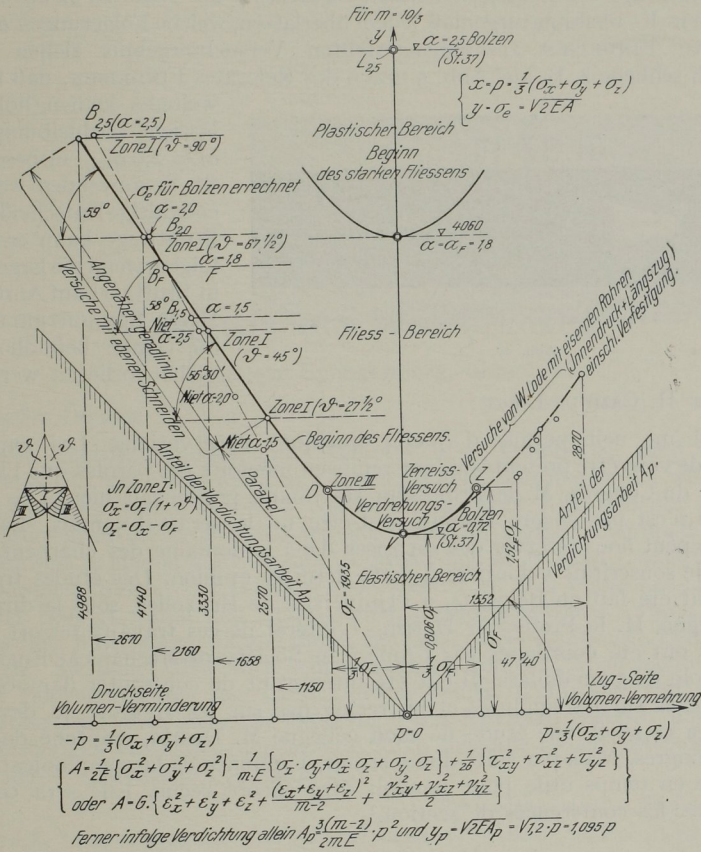


Abb. 25

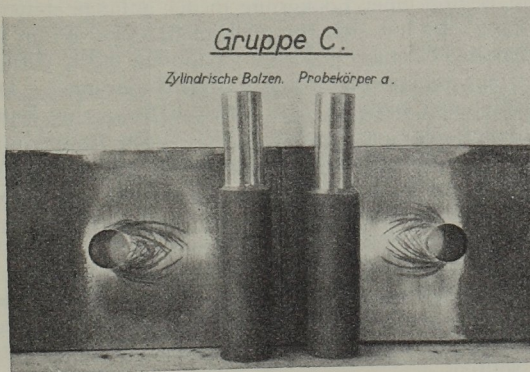


Abb. 26

6. Die Frage des zulässigen Lochleibungsdruckes der Niete ist heute noch nicht entschieden. Es bleibt naturgemäß jedem überlassen, welche Folgerungen er aus dem von Herrn FINDEISEN zusammengestellten Versuchsergebnis ziehen will. Ich persönlich schließe z. B. aus Abb. 5 und 6 des Referates FINDEISEN, daß ich bis auf

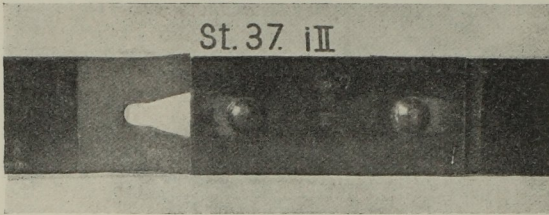


Abb. 27

weiteres keinen höheren zulässigen Lochleibungsdruck als  $\sigma_l = 2,0 \sigma_{zul}$ , insbesondere für St. Si anwenden werde. Eine endgültige Entscheidung dieser Streitfrage kann erst dann erfolgen, wenn die Ergebnisse der in Stuttgart auf Anregung von Herrn SCHÄCHTERLE zur Zeit im Gange befindlichen Versuche vorliegen werden.

Professeur H. CAMPUS-LIÈGE:

Qu'il me soit permis d'ajouter quelques observations. Les exposés qui viennent de vous être présentés m'ont remis en mémoire ces paroles que l'honorable Président du Congrès, M. le Professeur Hartmann prononçait hier: « Le problème des rivets n'est pas encore résolu; peut-être ne le sera-t-il jamais. La soudure électrique peut nous réserver des surprises dans le domaine des charpentes métalliques. » Je souscrirais volontiers à cette dernière opinion. Des études très approfondies ont été fait en Belgique, à l'Université de Bruxelles, sous la direction de mon collègue, M. le Professeur Dustin. L'intérêt de ces travaux ressort assez du fait qu'ils ont été couronnés par l'American Society of Mechanical Engineers du Prix Lincoln de 5000 dollars. Il eut été intéressant de confronter dans ce congrès les recherches sur les soudures et les recherches sur les rivures. Je devais vous présenter à ce sujet une étude de mon collègue M. Dustin, empêché de prendre part au Congrès. Mais par suite d'une erreur, l'annonce de la communication n'est pas arrivée en temps utile pour pouvoir être encore reçue. Elle sera cependant publiée avec les conférences de section.<sup>1</sup>

FINDEISEN:

Ich habe die Aufgabe darin erblickt, diejenigen Beanspruchungen zu ermitteln, bei denen von dem Beginn einer Lockerung in der anfangs steifen Verbindung gesprochen werden kann. Es hat sich für mich nicht etwa darum gehandelt, welche Sicherheit gegen Bruch bei einer gewissen Spannung noch vorhanden wäre ohne Rücksicht auf die inzwischen eingetretenen Formänderungen. Die ersten Knickpunkte in den Schaulinien bildeten den Maßstab für meine Beurteilung der Ergebnisse. In Schaulinien ohne ausgeprägte Knickpunkte habe ich diese Anschauung sinngemäß übertragen. Ich erachte beispielsweise eine bleibende Verschiebung der drei Eisen gegeneinander oder eine Erweiterung des Bolzenloches von 0,25 mm, die schon durch eine einmalige Belastung entstanden ist, bereits für sehr bedenklich. Denn durch dieses Spiel besteht die Gefahr, daß die Nietlöcher bei wiederholter und insbesondere bei wechselnder stoßartiger Belastung ausgeschlagen werden können. Über die endgültige Festlegung des Wertes  $\alpha$  habe ich deshalb keinen Vorschlag gemacht, weil die von mir besprochenen Versuche hierzu nicht ausreichen und erst noch die Ergebnisse der in Stuttgart im Gange befindlichen Untersuchungen abgewartet werden sollten.

<sup>1</sup> Regardez à la page 639.