

ist wegen der gefährlichen Kerbwirkung sorgfältig zu vermeiden. Gußeiserne Stützen und Anschlüsse werden durch Zwischenlegen eines Stemmblechtes aus weichem Eisen oder Kupfer, Abb. 455, das nach dem Einziehen der Niete verstemmt wird, abgedichtet.

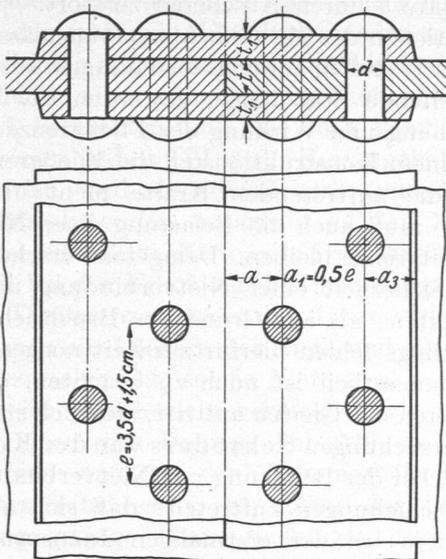


Abb. 451. Zweireihige, zweiseitige Zickzack-Laschennietung.

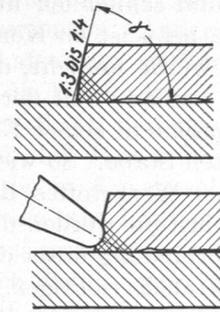


Abb. 452 und 453. Verstemmen von Blechen.

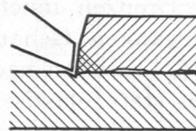


Abb. 454. Fehlerhaftes Verstemmen. Das Einkerben ist zu vermeiden.

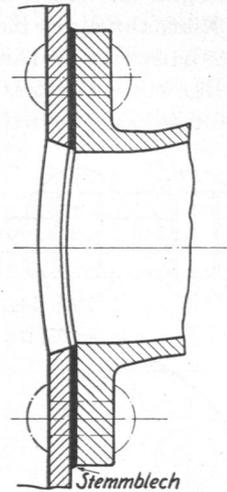


Abb. 455. Abdichtung mittels eines Stemmblech.

Auch die Nietköpfe müssen verstemmt werden, um das Durchtreten des Betriebsmittels längs des Schaftes zu verhüten. Nach den Versuchen von Bach erhöht das Verstemmen die Widerstandsfähigkeit der Verbindung. Keinesfalls dürfen aber locker gewordene Niete durch Verstemmen nachgezogen, sondern müssen stets durch neue ersetzt werden, da das Verstemmen im kalten Zustande den Gleitwiderstand, der durch Warmeinziehen entsteht, niemals ersetzen kann.

## II. Berechnung und Gestaltung der Nietverbindungen.

### A. Grundlagen.

Durch die Abkühlung warm eingezogener Niete entstehen in den Schäften beträchtliche Längskräfte, die die vernieteten Stücke fest aufeinanderpressen und zwischen denselben große Reibungskräfte erzeugen. Gleichzeitig vermindern sich aber auch die Schaftabmessungen in der Querrichtung, 1. durch die Abnahme der Temperatur, 2. infolge der Quersammenziehung durch die Längsspannungen. Der Schaft wird dünner und kann nach dem Erkalten nicht mehr anliegen, selbst wenn er bei der Herstellung im warmen Zustande das Loch vollständig ausfüllte. Auf eine Übertragung der Kräfte durch den Flächen- druck zwischen Schaft und Lochwandung, den Leibungsdruck und eine Beanspruchung der Niete auf Abscheren kann daher bei warm eingezogenen Nieten nicht gerechnet werden, wenigstens solange keine Verschiebung der vernieteten Teile eingetreten ist.

Entfernt man an einer Nietverbindung die Köpfe, so ist der Spielraum, besonders auf der Setzkopfseite oft unmittelbar sichtbar; es ist häufig möglich, ein dünnes Blech in den Spalt zu schieben.

Warm eingezogene Niete übertragen die Kräfte nur durch die Reibung, durch den Gleitwiderstand an den aufeinander gepreßten Flächen. Auf die Erzielung möglichst hohen Gleitwiderstands ist demnach sowohl beim Entwerfen, wie auch bei der Ausführung hinzuarbeiten.

An Nietverbindungen nach Abb. 456, die man in einer Festigkeitsprüfmaschine dem Zugversuch unterwirft, erhält man Schaulinien, Abb. 457, die das Gleiten der Bleche

durch die plötzliche Zunahme der Verlängerung der Probe bei  $a$  deutlich zeigen. Die ursprünglich mit Spielraum im Loch sitzenden Niete haben sich jetzt an die Lochwandung in der durch Abb. 458 verdeutlichten Weise angelegt, werden nunmehr stark auf Biegung beansprucht und schließlich im Punkte  $b$  durch Abscheren zerstört.

Schon das erste Gleiten bei  $a$  ist an Konstruktionen des Maschinenbaues unzulässig; die Nietnaht eines Kessels würde undicht, die Kraft- und Spannungsverteilung in einem Eisenbauwerke verändert werden, weil der betreffende Stab länger geworden ist.

Das erste Gleiten entspricht in seiner Erscheinung und Wirkung der Fließgrenze an einem auf Zug beanspruchten Stabe. So wie an einem Konstruktionsteil die Fließgrenze des Werkstoffes durch die auftretenden Kräfte nicht überschritten werden darf, so muß auch die Belastung einer Nietverbindung unter der Gleitgrenze bleiben. Demgemäß erscheint es auch richtiger, die Sicherheit einer Nietverbindung nach dem zu erwartenden Gleiten, als auf Grund der Bruchsicherheit zu beurteilen; allerdings fehlen hierfür zur Zeit noch ausreichende Grundlagen; namentlich ist auch zu beachten, daß die Grenzen, innerhalb deren das Gleiten auftritt, ziemlich stark schwanken. Genaue Untersuchungen Schröders van der Kolk [VI, 1] wiesen nach, daß bei der Belastung von Nietverbindungen stets elastische Verschiebungen auftreten, daß sich aber neben diesen, insbesondere bei der erstmaligen Inanspruchnahme schon bei geringen Kräften bleibende Verschiebungen zeigen, die, wenn die Niete an der Lochwandung anlagen, ausgeschlossen wären. Sie haben bei wiederholter Inanspruchnahme der Verbindung in ein und derselben Richtung keine

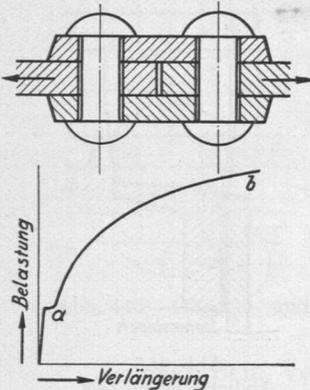


Abb. 456 und 457. Zugversuch an einer Nietverbindung.

schädlichen Folgen. Dagegen dürften bei wechselnder Kraftrichtung und hoher Belastung allmählich zunehmende Verschiebungen der Stücke gegeneinander auftreten, die das häufige Lockerwerden der Nietverbindungen bei wechselnden Kräften und Stößen erklären.

Die bleibenden Verschiebungen zeigten sich bei Maschinennietung bedeutend geringer als bei Handnietung. Nach Abnahme der Köpfe und Ausbohren der Kegel nahmen beide Arten von Verschiebungen beträchtlich zu, wiederum ein Beweis dafür, daß der durch die Längskräfte in den Nietschäften hervorgerufene Gleitwiderstand für die Festigkeit der Verbindungen maßgebend ist.

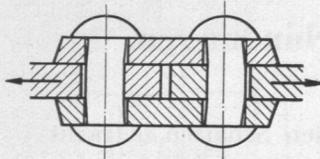


Abb. 458.

Den Gleitwiderstand auf Grund der üblichen Lehre von der Reibung zu ermitteln, bietet keine Aussicht auf Erfolg. Ist die Längskraft im Nietschaft  $Q'$ , so nimmt theoretisch die Reibung  $R$  und damit der Gleitwiderstand zwischen den aufeinanderliegenden Flächen der Zahl der Reibungsflächen entsprechend zu; es wäre

$$R = Q' \cdot \mu \text{ an einer einschnittigen,}$$

$$R = 2 \cdot Q' \cdot \mu \text{ an einer zweischnittigen Verbindung}$$

usw. Zur Längskraft  $Q'$  ist nun folgendes zu bemerken:

Der Schaft eines Flußstahlnietes sucht sich bei einer Abkühlung um  $100^\circ$  um  $\varepsilon = 1/800$  seiner Länge zu verkürzen. Wird er daran durch eine vollständig unnachgiebige Zwischenlage gehindert, so entsteht in ihm eine Längsspannung, die sich bei einer Dehnungszahl  $\alpha = \frac{1}{2000000}$  cm<sup>2</sup>/kg unter sinngemäßer Anwendung der Formel (4) zu

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{\alpha} = \frac{\frac{1}{800}}{\frac{1}{2000000}} = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

berechnet, die also die Fließgrenze des verwandten Werkstoffs überschreitet. Dabei ist freilich zu beachten, daß sowohl der Nietkopf, wie auch die zusammengenieteten Bleche, die der gleichen Kraft wie der Nietschaft ausgesetzt sind, elastische Formänderungen erleiden, und daß auch die Bleche beim Schließen der Niete erhitzt werden und sich bei der späteren Abkühlung wieder zusammenziehen. Andererseits ist aber die bei der Rechnung angenommene Abkühlung des Schaftes um  $100^{\circ}$  nach Schluß des Nietkopfes sicher zu niedrig, so daß man Niete als Teile, die bis an die Streckgrenze beansprucht sind, betrachten muß, wie auch Versuche von Bach und Baumann unmittelbar nachgewiesen haben [VI, 19]. Hervorgehoben sei, daß diese hohe Beanspruchung unbedenklich ist, weil sie ruhend wirkt und durch die in den gewöhnlichen Nietverbindungen aufzunehmenden, senkrecht zu den Nietachsen gerichteten Kräfte nicht erhöht wird. Dagegen sollten Niete, die Längskräften ausgesetzt sind, möglichst vermieden werden, weil bei der Erhöhung der Spannungen durch die Längskräfte die Gefahr vorliegt, daß die Fließgrenze überschritten wird. Die damit verbundenen bleibenden Formänderungen können ein Lockern der Niete und ein Undichtwerden der Verbindung zur Folge haben. Vorzuziehen ist, solche Nietungen durch Schraubenverbindungen zu ersetzen. Lassen sie sich jedoch nicht vermeiden, wie an den Kremen von Domen, Abb. 529, an Rohrstutzen und an den Kammerhälsen von Wasserrohrkesseln, so sollen der Berechnung geringe Beanspruchungen durch die Längskräfte zugrunde gelegt werden.

Da auch die Reibungsverhältnisse und die Reibungsziffern bei den hohen Flächen drücken, die an den Nietverbindungen auftreten und die wahrscheinlich die Oberflächen der vernieteten Teile stark ineinander eindringen lassen, noch nicht näher untersucht sind, lassen sich weder  $Q'$  noch  $\mu$  genügend sicher bestimmen. Es bleibt nur der Weg übrig, den Reibungswiderstand  $R$ , also das Produkt aus  $Q'$  und  $\mu$ , unmittelbar durch Versuche zu ermitteln, ein Weg, den Bach bei seinen grundlegenden Versuchen [VI, 9,10,11] eingeschlagen hat. Er stellte diejenigen Belastungen  $P_n$  an den Nietverbindungen fest, bei denen das erste Gleiten an irgendeiner Stelle stattfand. Um Vergleichswerte bei verschiedenen Nietdurchmessern  $d$  zu erhalten, wurden die Gleitwiderstände auf die Flächeneinheit des Nietquerschnitts zurückgeführt und ergaben damit den spezifischen Gleitwiderstand

$$K_n = \frac{P_n}{\pi d^2} \text{ in kg/cm}^2. \tag{109}$$

Die Hauptergebnisse dieser Versuche und die wichtigsten allgemeinen Gesichtspunkte für die Nietungen sind, soweit sie nicht schon erwähnt wurden, im folgenden zusammengestellt.

1. Länge der Niete. Bei größerer Länge steigt der Gleitwiderstand. Im Mittel aus je 5 Versuchen zeigten Verbindungen nach Abb. 459  $1115 \text{ kg/cm}^2$  Gleitwiderstand gegenüber  $1769 \text{ kg/cm}^2$  nach Abb. 460, bei welchen die Nietschäfte durch Hinzufügen zweier Blechstreifen künstlich verlängert waren. Ergänzend hierzu stellte Baumann [VI, 19] fest, daß die größten Spannungen in Nieten mittlerer Länge entstanden: in solchen von rund 28 mm Durchmesser betrug die Längsspannung

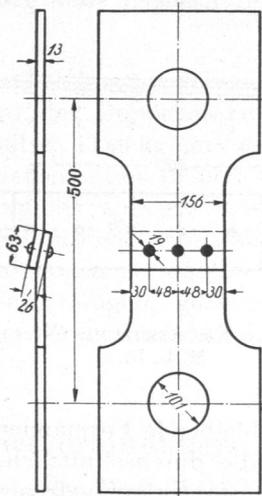


Abb. 459.  
Nietverbindung mit normalen Nieten.

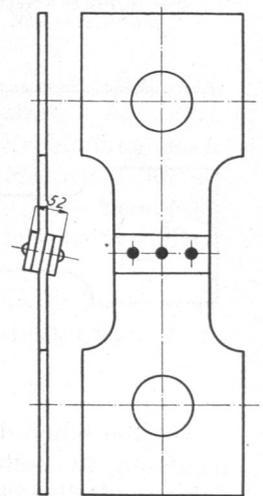


Abb. 460. Nietverbindung mit künstlich verlängerten Nieten (Bach).

bei etwa	40 mm	Länge	2310 kg/cm <sup>2</sup> ,	i. M. aus	2	Versuchen,
„ „	82 „	„	3260 „ „ „ „	3	„	„
„ „	159 „	„	3130 „ „ „ „	4	„	„

Die längeren Niete verkürzen sich beim Erkalten mehr und pressen die Bleche kräftiger aufeinander. Sehr lange Niete aber werden wahrscheinlich nicht lediglich längs ihrer Achse zusammengestaucht, sondern knicken seitlich aus und bleiben dadurch nachgiebiger. Längen über 3 bis 4  $d$  bei erhabenen, über 4 bis 5  $d$  bei versenkten Köpfen sollten deshalb vermieden werden. Derartige lange Niete sind besser durch sauber eingepaßte Schrauben oder kegelige Bolzen zu ersetzen.

2. Zahl der Nietreihen. Der Gleitwiderstand wächst nicht entsprechend der Zahl der Nietreihen. Am stärksten werden die äußeren Niete beansprucht; sie geben zuerst nach, während die weiter innen gelegenen erst bei höheren Belastungen gleiten. So lag an einem Bachschen Versuchsstücke nach Abb. 461 die Gleitgrenze der äußeren Niete 1 und 6 bei 6000 kg, die der Niete 2 und 5 bei 8000 kg, die der innersten 3 und 4 bei 11000 kg. Begründet ist die Erscheinung in der Elastizität der Bleche, denn wie Schröder van der Kolk zeigte, waren die elastischen Verschiebungen in den äußeren Reihen bei genügend kräftigen Laschen stets größer als die in den inneren.

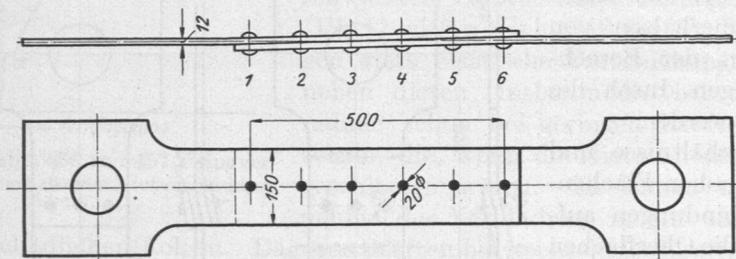


Abb. 461. Mehrreihige Nietverbindung (Versuch von Bach).  
M. 1 : 15.

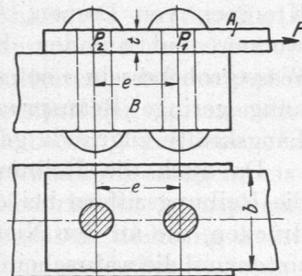


Abb. 462. Verbindung von Körpern sehr verschiedener Elastizität.

Da nun schon die bleibende Formänderung durch das Gleiten der äußeren Nietreihen unzulässig ist, sollte die durchschnittliche Belastung der Niete bei der Anordnung in mehreren Reihen hintereinander niedriger gewählt werden. Auf Grund von Versuchen läßt der englische Board of Trade Kesselnietungen mit mehr als drei vollen Nietreihen überhaupt nicht zu.

Ferner muß die Verbindung zweier Teile sehr verschiedener Elastizität durch mehrreihige Nietungen, Abb. 462, vermieden werden. Die Kraft  $P$  im Blech  $A$  verteilt sich auf die beiden Niete, so daß  $P_1 + P_2 = P$  ist.  $P_2$  beansprucht das zwischen den beiden Nieten liegende Stück des Körpers  $A$  von der Länge  $e$  und ruft eine Verlängerung  $\lambda$  und gemäß (6a) eine Spannung

$$\sigma = \frac{\lambda}{\alpha \cdot e}$$

hervor;  $P_2$  ist dann gleich

$$\sigma \cdot F = \frac{\lambda}{\alpha \cdot e} \cdot t \cdot b.$$

Ist nun Körper  $B$  nur in geringem Maße nachgiebig, so wird sich die Verlängerung von  $A$  weniger vollkommen ausbilden können. Nimmt man als Grenzfall an, daß der Körper  $B$  ganz unelastisch ist, so wird  $\lambda = 0$ , damit aber auch  $\sigma$  und  $P_2 = 0$ ; mithin muß das erste Niet im Grenzfall die ganze Kraft aufnehmen! Auch Verbindungen nach Abb. 463 mit 6 Nieten sind aus ähnlichen Gründen unzuweckmäßig. Unter der Annahme, daß jedes der Niete  $\frac{1}{6} P$  übertragen sollte, würde der Stab  $A$  zwischen Nietreihe 1 und 2 von  $\frac{2}{3} P$ , zwischen Reihe 2 und 3 von  $\frac{1}{3} P$  auf Zug beansprucht; der Stab  $B$  dagegen zwischen der 2. und 3. Nietreihe durch  $\frac{2}{3} P$ , zwischen der 2. und 1.

durch  $\frac{1}{3} P$ . Danach müßten sich dieselben Strecken an den beiden Stäben verschieden stark dehnen, z. B. der untere Stab zwischen Reihe 1 und 2 um das doppelte wie der obere. Das ist unmöglich und deshalb die vorausgesetzte Kraftverteilung ausgeschlossen. Die äußeren Niete werden stärker beansprucht als die mittleren. Zudem sind die Bleche in den Querschnitten 1 und 3 durch je 2 Nietlöcher geschwächt. Günstiger in bezug auf diesen Gesichtspunkt ist die Anordnung Abb. 464; dafür sind aber die Unterschiede der elastischen Formänderungen der beiden Bleche noch größer.

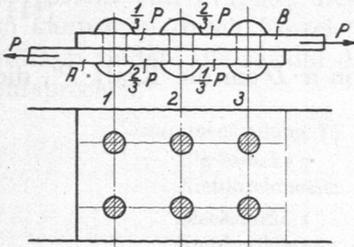


Abb. 463. Zur Kräfteverteilung in einer mehrreihigen Nietverbindung.

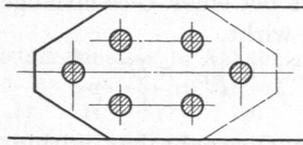


Abb. 464.

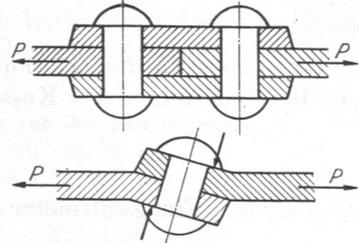


Abb. 465 und 466. Zwei- und einschnittige Nietverbindung.

3. Mehrschnittige Niete zeigen geringere Widerstandsfähigkeit als der Zahl der Schnitte entspricht. Die zweischnittigen Niete der Doppellaschenietung, Abb. 465, gaben z. B. 906 kg/cm<sup>2</sup> Gleitwiderstand gegenüber 1186 kg/cm<sup>2</sup> der Verbindung nach Abb. 466. Die Ursache liegt darin, daß Verschiedenheiten in den Blechstärken der zu verbindenden Enden die Laschen nicht vollkommen anliegen lassen. Außerdem fällt das auf Klemmung wirkende Kräftepaar weg. Es empfiehlt sich daher, bei mehrschnittigen Nietungen verhältnismäßig niedrigere Belastungen zu wählen.

4. Versenkte Niete haben geringere Schaftlängen, geben deshalb bedeutend niedrigeren Gleitwiderstand und sind auch wegen der teureren Ausführung entsprechender Verbindungen möglichst zu vermeiden.

## B. Feste und dichte Nietverbindungen.

Die wichtigsten Beispiele bieten die Nietnähte der Dampfkessel. Die einzelnen Teile der letzteren, die Schüsse, haben meist zylindrische Form; an ihnen unterscheidet man die Quernähte  $Q$ , Abb. 467, und die Längsnähte  $L$ , von denen die ersteren halb so stark beansprucht sind wie die letzteren. Denkt man sich nämlich aus einem Kessel vom Durchmesser  $D$ , Abb. 468, einen Streifen von der Breite  $e$  herausgeschnitten, so haben die Längsnähte auf der Länge  $e$  die von dem innern Überdruck  $p$  herführende Kraft von je

$$P_e = \frac{D \cdot e \cdot p}{2} \text{ kg} \quad (110)$$

auszuhalten, wie man aus der Gleichgewichtsbedingung in Richtung der Kräfte  $P_e$  erkennt.  $2 P_e$  muß gleich der Summe der Seitenkräfte der Drucke sein, die auf die einzelnen Flächenteile wirken. Greifen wir ein beliebiges Element von der Größe  $df$  unter dem Winkel  $\alpha$  gegenüber der Krafrichtung heraus, so wirkt auf dieses der Druck  $p \cdot df$ . Die Seitenkraft in Richtung von  $P_e$  ist  $p \cdot df \cdot \cos \alpha$ . Das Gleichgewicht verlangt, daß

$$2 P_e = \int p \cdot df \cdot \cos \alpha = p \cdot \int df \cdot \cos \alpha$$

sei. Nun ist aber  $df \cdot \cos \alpha$  die Projektion des Elementes auf die Ebene  $AB$ , während das Integral die gesamte Projektion der Halbzylinderfläche auf  $AB$ , das ist ein Rechteck

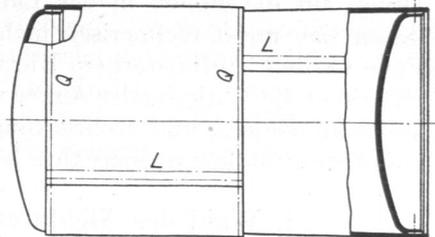


Abb. 467. Längs- und Quernähte an einem Kessel.