

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.

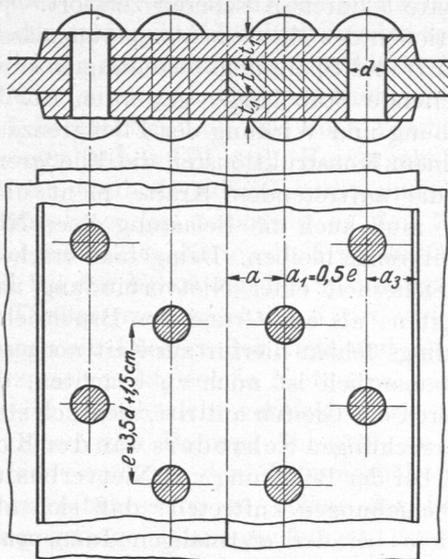


Abb. 451. Zweireihige, zweiseitige Zickzack-Laschennietung.

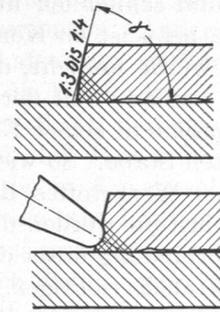


Abb. 452 und 453. Verstemmen von Blechen.

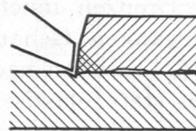


Abb. 454. Fehlerhaftes Verstemmen. Das Einkerben ist zu vermeiden.

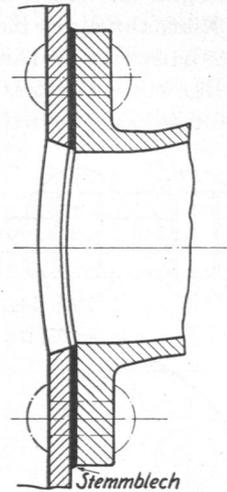


Abb. 455. Abdichtung mittels eines Stemmblech.

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

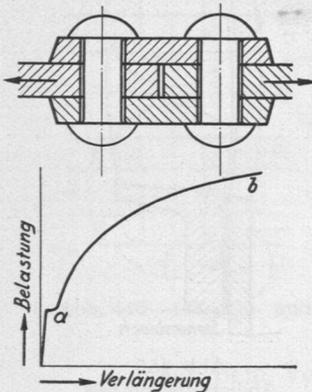


Abb. 456 und 457. Zugversuch an einer Nietverbindung.

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

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.

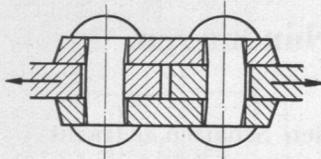


Abb. 458.

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° 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 $\alpha = \frac{1}{2000000}$ cm²/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° 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 μ genügend sicher bestimmen. Es bleibt nur der Weg übrig, den Reibungswiderstand R , also das Produkt aus Q' und μ , 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 kg/cm^2 Gleitwiderstand gegenüber 1769 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 Nietten mittlerer Länge entstanden: in solchen von rund 28 mm Durchmesser betrug die Längsspannung

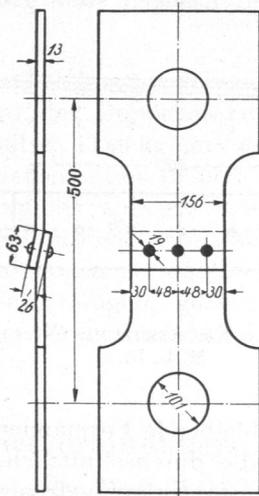


Abb. 459.
Nietverbindung mit normalen Nieten.

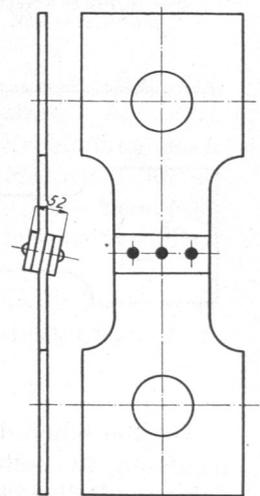


Abb. 460. Nietverbindung mit künstlich verlängerten Nieten (Bach).

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|---------------------------|-----------|---|------------|
| bei etwa | 40 mm | Länge | 2310 kg/cm ² , | 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.

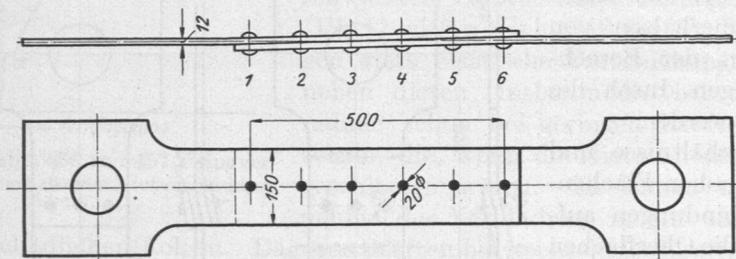


Abb. 461. Mehrreihige Nietverbindung (Versuch von Bach).
M. 1 : 15.

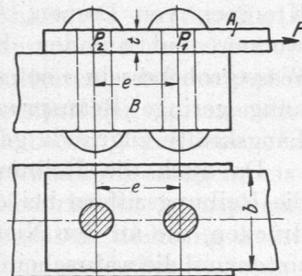


Abb. 462. Verbindung von Körpern sehr verschiedener Elastizität.

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 λ 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 σ 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.

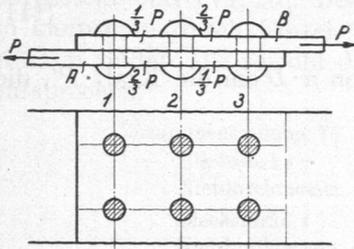


Abb. 463. Zur Kräfteverteilung in einer mehrreihigen Nietverbindung.

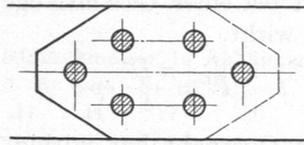


Abb. 464.

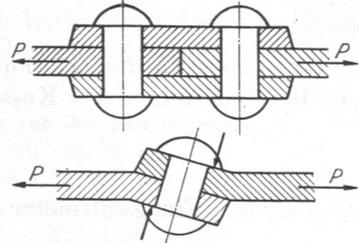


Abb. 465 und 466. Zwei- und einschnittige Nietverbindung.

3. Mehrschnittige Niete zeigen geringere Widerstandsfähigkeit als der Zahl der Schnitte entspricht. Die zweischnittigen Niete der Doppellaschenietung, Abb. 465, gaben z. B. 906 kg/cm² Gleitwiderstand gegenüber 1186 kg/cm² 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 α 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

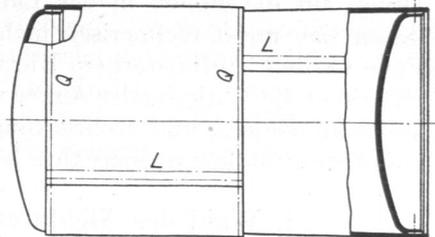


Abb. 467. Längs- und Quernähte an einem Kessel.

von der Größe $D \cdot e$, darstellt; daher ist

$$2 P_e = D \cdot e \cdot p$$

und

$$P_e = \frac{D \cdot e \cdot p}{2}.$$

Auf jeden Zentimeter Nietnaht kommen

$$P_{1\text{cm}} = \frac{D \cdot p}{2} \text{ kg.} \quad (111)$$

Dagegen muß die Quernaht bei einer Gesamtlänge von $\pi \cdot D$ cm die Kraft P' , die auf die Endflächen des Kessels wirkt,

$$P' = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p$$

aufnehmen. Ein Zentimeter der Quernaht hat mithin

$$P'_{1\text{cm}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p}{4 \pi D} = \frac{D \cdot p}{4} \text{ kg,} \quad (112)$$

d. i. nur halb so viel wie ein solcher der Längsnaht, zu übertragen. Es genügt daher oft, die Längsnahte zylindrischer Kessel und Rohre zu berechnen. Verlangen diese z. B. zweireihige Nietung, so reicht für die Quernahte einreihige mit den gleichen Nieten

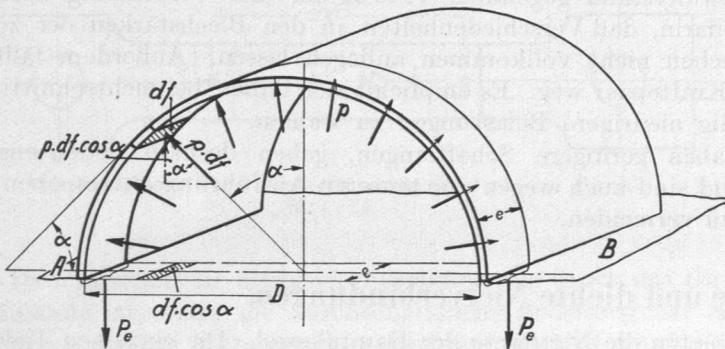


Abb. 468. Zur Ermittlung der Belastung der Längsnaht.

und der gleichen Teilung aus. Die Beanspruchung in der Quernaht kann verringert werden, wenn die Kraft P' auf die Endflächen des Kessels teilweise durch Anker oder Feuerrohre aufgenommen wird, andererseits aber beträchtlich erhöht werden, wenn Flammrohre, die stärker erhitzt werden als die Mantelbleche, durch ihre Ausdehnung einen

Druck auf die Böden in der Längsrichtung des Kessels ausüben. Diese Zusatzkräfte lassen sich meist rechnerisch nicht sicher ermitteln; im zweiten der eben aufgeführten Fälle werden häufig stärkere Nietungen als rechnerungsmäßig nötig, ausgeführt, im ersten Falle aber die Wirkung der Anker vernachlässigt. Durch zu große Entfernung der Stützen an Dampfkesseln und Rohrleitungen treten Biegebeanspruchungen in den Wandungen auf, die ebenfalls die Quernahte höher belasten und Undichtigkeiten hervorrufen können.

1. Wahl des Nietdurchmessers im Verhältnis zur Blechstärke.

Je größer die Nietquerschnitte sind, desto bedeutender werden naturgemäß die Gleitwiderstände, weil die Bleche stärker aufeinander gepreßt werden. Erfahrungsgemäß pflegen die Nietdurchmesser bei starken Blechen etwa gleich der Blechstärke t , bei schwächeren dagegen verhältnismäßig größer genommen zu werden.

Bach gibt für den Durchmesser d die folgenden Erfahrungsformeln:

- A. bei einschnittigen Nietungen $d = \sqrt{5} t - 0,4 \text{ cm,}$
- B. bei zweisechnittigen, einreihigen $d = \sqrt{5} t - 0,5 \text{ cm,}$
- C. bei zweisechnittigen, zweireihigen $d = \sqrt{5} t - 0,6 \text{ cm,}$
- D. bei zweisechnittigen, dreireihigen $d = \sqrt{5} t - 0,7 \text{ cm.}$

Die Verminderung der Nietdurchmesser bei den zweischnittigen oder Doppellaschenverbindungen, die durch die letzten Glieder der Formeln angedeutet ist, erklärt sich daraus, daß die Niete nur die Aufgabe haben, die dünneren Laschen an die Bleche anzudrücken.

Trägt man die Werte zeichnerisch auf, und zwar die Blechstärken als Abszissen, die zugehörigen Nietdurchmesser als Ordinaten, so erhält man die Linien *A* bis *D* der Abb. 469. Dieckhoff gibt nach praktischen Ausführungen Zahlen, die durch die gestrichelte Fläche dargestellt sind [VI, 20]. Beschränkt man sich nun auf die Nietdurchmesser der DIN 123, so kann man durch Einzeichnen der wagrechten Strecken leicht die folgenden Blechstärken finden, die sowohl den Bachschen wie auch den Dieckhoffschen Zahlen gut entsprechen.

Zusammenstellung 75. Nietdurchmesser in Abhängigkeit von der Blechstärke.

| | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| Blechstärke <i>t</i> | 5—6 | 6—8 | 8—12 | 11—15 | 14—19 | 18—23 mm |
| Nietdurchmesser <i>d</i> | 11 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 mm |
| Blechstärke <i>t</i> | 22—27 | 27—31 | 31—35 | 35—38 | 38—41 mm | |
| Nietdurchmesser <i>d</i> | 29 | 32 | 35 | 38 | 41 mm | |

Soweit zu den einzelnen Blechdicken zwei Nietdurchmesser angegeben sind, wird man den kleineren im Falle zweischnittiger oder vielreihiger Nietungen nehmen.

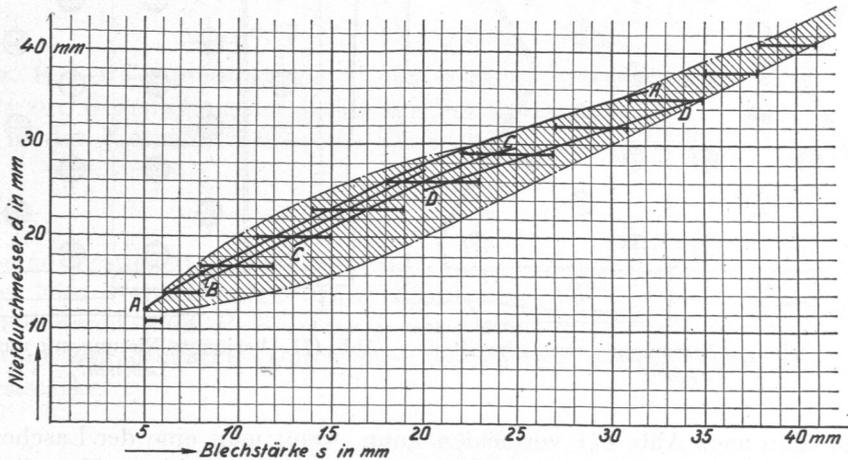


Abb. 469. Beziehung zwischen Nietdurchmesser und Blechstärke.

Sind mehr als zwei übereinanderliegende Bleche zu verbinden, so wird man den Nietdurchmesser etwas größer als der Dicke der einzelnen Bleche entspricht, wählen.

An ein und demselben Konstruktionsteil sollen möglichst nur Niete gleichen Durchmessers Verwendung finden. Beispielweise nimmt man an allen Nähten eines zylindrischen Kessels die gleichen Niete, selbst wenn die Belastung der Quernaht geringere Abmessungen zulassen würde.

2. Allgemeines zur Wahl der Nietteilung.

An festen und dichten Verbindungen ist bei der Wahl der Entfernung der einzelnen Niete voneinander zu berücksichtigen:

- die Möglichkeit, die Nietköpfe zu bilden,
- die Dichtheit der Naht,
- die Schwächung des Bleches.

Aus der Bedingung a) ergibt sich die untere Grenze

$$e_{\min} = 2d,$$

eine Entfernung, die bei Verwendung der üblichen, erhabenen Kopfformen zum Aufsetzen des Schellhammers oder des Stempels der Nietmaschine nötig ist.

Zu b. Für die Dichtheit der Naht ist die Möglichkeit, die Blechkante zu verstemmen, entscheidend; ist die Nietteilung zu groß, so federt das Blech. Als Grenze darf $e_{\max} = 8 t_1$ gelten, wenn t_1 die Stärke des zu verstemmenden Bleches oder der Lasche bedeutet. Den Abstand der ersten Nietreihe von der Blechkante wählt man meist zu $1,5 \dots 1,6 d$, an dünnen Laschen geht man auf $1,35 d$ herunter.

Punkt c) verlangt möglichst große Teilung, namentlich in den äußeren Nietreihen und führt zu den verjüngten Nietungen, Abb. 470.

Wird dabei die Entfernung der Niete größer als nach Bedingung b) zulässig ist, so müssen die Bleche oder Laschen ausgeschweift werden. Eine teure und umständliche

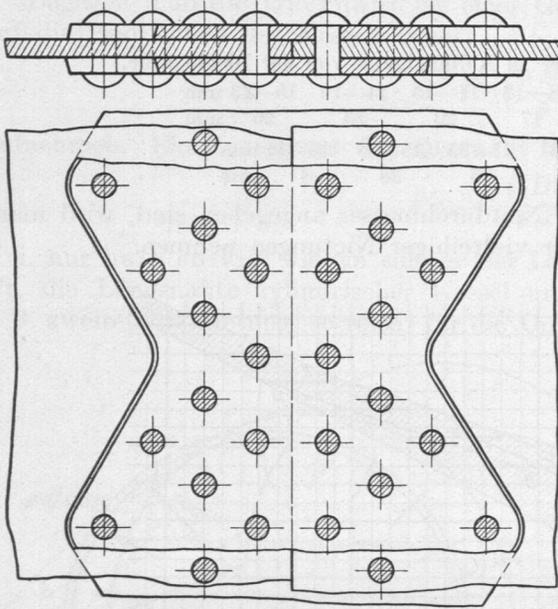


Abb. 470. Verjüngte Nietung mit ausgeschweiften Laschen.

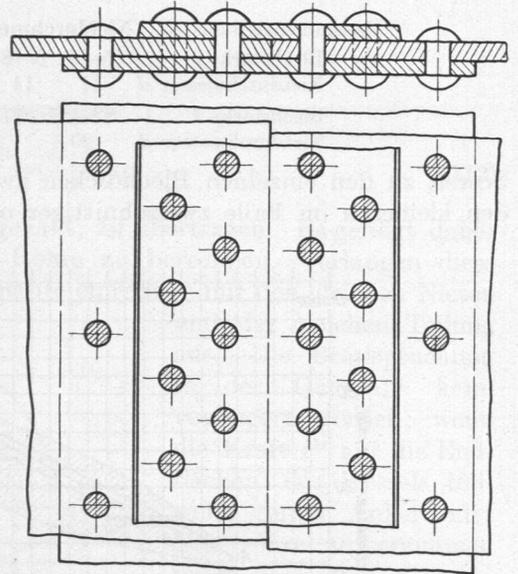


Abb. 471. Verjüngte Nietung mit ungleichbreiten Laschen.

Arbeit, die man nach Abb. 471 vermeiden kann, wenn man eine der Laschen schmaler hält, wobei allerdings die äußersten Niete einschnittig werden. Nur die schmalere Lasche, die die inneren, engeren Nietreihen umfaßt, kann verstemmt werden.

Kesselbleche. Über Anforderungen in bezug auf Festigkeit und Proben, vgl. S. 84, über den Wert großer Zähigkeit bei Kesselbaustoffen S. 5.

Bei der Ermittlung der Blechstärken sind für Schweißstahl und die drei Flußstahl-sorten I, II, III die folgenden einheitlichen Berechnungsfestigkeiten zu benutzen, deren Berechtigung aus dem Umstande hergeleitet wird, daß alle Bleche einer Gruppe, z. B. mit 3400 bis 4100 kg/cm² Festigkeit annähernd das gleiche Arbeitsvermögen haben.

$K_z = 3300 \text{ kg/cm}^2$ bei Schweißstahl,

$K_z = 3600 \text{ kg/cm}^2$ bei Flußstahl I von 3400 bis 4100 kg/cm² Zugfestigkeit.

$K_z = 4000 \text{ kg/cm}^2$ bei Flußstahl II von 4000 bis 4700 kg/cm² Zugfestigkeit.

$K_z = 4400 \text{ kg/cm}^2$ bei Flußstahl III von 4400 bis 5100 kg/cm² Zugfestigkeit.

3. Einschnittige Nietverbindungen.

Sie können als Überlappungs- oder als einseitige Laschennietungen, Abb. 472 und 473, ausgeführt werden. Bei der ersten Art sind die Bleche unmittelbar übereinander gelegt und müssen dementsprechend vorgebogen sein. Die zweite Verbindung ist durch die Bearbeitung einer besonderen Lasche und durch die doppelt so große Zahl der Niete teurer und wegen des Wegfalls des auf Klemmung wirkenden Kräftepaars ungünstiger.

Sie wird deshalb selten angewendet. Bei beiden Arten treten Biegemomente im Blech oder in der Lasche auf, welche die Wahl einer geringeren Beanspruchung auf Zug oder eine Zugabe zur Wandstärke, namentlich bei dünneren Blechen verlangen. Bezüglich der Berechnung beider Nietungen besteht kein Unterschied.

a) **Einschnittige, einreihige Vernietung**, Abb. 449. Wird die Teilung e zwischen den einzelnen Nieten nach Bach zu

$$e = 2d + 0,8 \text{ cm} \quad (113)$$

angenommen, so läßt sich die Schwächung des Bleches für die verschiedenen Nietdurchmesser im voraus berechnen. Auf einen Blechstreifen von der Breite e kommt ein Nietloch, daher ist das Verhältnis φ des Blechquerschnittes in der Nietnaht zum ungeschwächten Bleche, die Schwächungszahl,

$$\varphi = \frac{e-d}{e} = \frac{d+0,8}{2d+0,8}. \quad (113a)$$

| | | | | | |
|------|------------------|------|------|------|--------|
| Für | $d = 1,1$ | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,3 cm |
| wird | $\varphi = 0,63$ | 0,61 | 0,59 | 0,58 | 0,57, |

so daß z. B. bei Verwendung von 11 mm starken Nieten nur noch 63% des Blechquerschnittes zur Übertragung der Kraft zur Verfügung stehen.

Der in der Nietnaht vorhandene Querschnitt muß nach Formel (110) die Kraft

$$P_e = \frac{D \cdot e \cdot p}{2}$$

durch seine Festigkeit aufnehmen, falls man sicherheitshalber den Gleitwiderstand vor dem Niet vernachlässigt. Unter Einführung des Wertes φ ist dieser Querschnitt $t \cdot e \cdot \varphi$, und damit muß $P_e = t \cdot e \cdot \varphi \cdot k_z$ sein, wenn k_z die zulässige Beanspruchung des Bleches auf Zug bedeutet. Durch Gleichsetzen der beiden Werte für P_e findet man die Blechstärke

$$t = \frac{D \cdot p}{2\varphi k_z}. \quad (114)$$

Diese Grundformel läßt sich auch an einem aus dem Kessel herausgeschnittenen Streifen von einem Zentimeter Breite leicht ableiten. Die zu übertragende Kraft ist

$$\frac{D \cdot 1 \cdot p}{2}$$

und die Widerstandsfähigkeit des im Verhältnis φ geschwächten Querschnittes $1 \cdot t \cdot \varphi \cdot k_z$; daraus folgt, wie oben:

$$t = \frac{D \cdot p}{2\varphi \cdot k_z}.$$

Nach den polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Kesseln [VI,3,4] soll zur errechneten Blechstärke ein Zuschlag von 0,1 cm gegeben werden, so daß die Formel für die Berechnung der Wandstärke von Dampfkesseln lautet:

$$t = \frac{D \cdot p}{2\varphi \cdot k_z} + 0,1 \text{ cm}. \quad (115)$$

Für φ wird man bei der ersten Berechnung, um sicher zu gehen, einen der kleineren Werte, z. B. 0,58, wählen, wenn der Nietdurchmesser nicht geschätzt und damit φ genauer festgelegt werden kann.

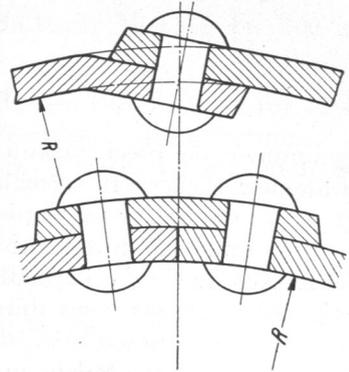


Abb. 472 und 473. Einschnittige Überlappungs- und einseitige Laschennietung.

Die Zugbeanspruchung k_z darf nach den polizeilichen Bestimmungen, wenn K_z die Zugfestigkeit der Bleche bedeutet, und die Löcher gebohrt sind,

$$\text{bei Handnietung zu } \frac{K_z}{4,75},$$

$$\text{bei Maschinennietung zu } \frac{K_z}{4,5}$$

genommen, die Blechstärke also, ohne Berücksichtigung des Zuschlages, mit $\zeta = 4,75$ - und $4,5$ facher Sicherheit errechnet werden. Sind die Nietlöcher an schwächeren Blechen ($t \leq 27$ mm) gelocht worden, so ist der Sicherheitsgrad um $0,25$ zu erhöhen. Bei gelochten und mindestens um $\frac{1}{4}$ des Nietlochdurchmessers aufgebohrten Löchern kann dieser Zuschlag auf $0,1$ ermäßigt werden. Auch zu befürchtendes starkes Abrosten oder sonstige Abnutzungen sind durch entsprechende Zuschläge auszugleichen. Ausschnitte für Mannlöcher, Stutzen usw., durch welche die Wandung geschwächt wird, können stärkere Bleche verlangen. Solche unter 7 mm Dicke sollen für gewöhnliche Kessel nicht Verwendung finden; sie sind nur an kleinen Kesseln für Feuerspritzen, Kraftfahrzeuge u. dgl. zulässig.

Mit der Blechstärke t ist auch der Nietdurchmesser d nach der Zusammenstellung 75 S. 273 und die Teilung e nach der Formel (113) gegeben. Letztere wird abgerundet oder bei bestimmter Länge der Naht so gewählt, daß eine ganze Zahl von Teilungen entsteht. Schließlich ist die Verbindung auf Gleiten und, da φ zunächst geschätzt war, die Zugbeanspruchung in dem schwächsten Blechquerschnitt nochmals nachzurechnen und gegebenenfalls abzuändern, wobei die tatsächliche Beanspruchung unter Abzug des Zuschlags von $0,1$ cm zur Blechstärke aus

$$\sigma_z = \frac{P_e}{(t-0,1)(e-d)} = \frac{D \cdot e \cdot p}{2(t-0,1)(e-d)} \quad (116)$$

folgt, einer Formel, die sich auch durch Umformen von (115) unter Benutzung von (113a) ergibt. σ_z darf das in den Bestimmungen festgelegte k_z nicht überschreiten.

Der Gleitwiderstand der vorliegenden Verbindung beträgt, da auf die Breite e ein Niet kommt,

$$\frac{\pi d^2}{4} k_n \text{ kg.}$$

Durch Gleichsetzen mit der zu übertragenden Kraft

$$P_e = \frac{D \cdot e \cdot p}{2}$$

ergibt sich die spezifische Belastung auf Gleiten

$$k_n = \frac{D \cdot e \cdot p}{2 \frac{\pi}{4} d^2} \quad (117)$$

k_n darf nach den polizeilichen Bestimmungen [VI, 3, 4] unabhängig von der Zahl der Nietreihen bei einschnittigen Nieten höchstens 700 kg/cm^2 betragen, sofern keine höhere Zugfestigkeit des Werkstoffes der Niete als 3800 kg/cm^2 nachgewiesen wird. Trifft das aber zu, so kann die Beanspruchung entsprechend der Wurzel aus dem Quotienten der nachgewiesenen Festigkeit und der Zahl 3800 erhöht werden. Da z. B. nach den Vorschriften Nieteisen bis zu 4700 kg/cm^2 Zugfestigkeit zugelassen ist, so folgt die zulässige Höchstbeanspruchung der aus solchem Stahl gefertigten Niete:

$$700 \cdot \sqrt{\frac{4700}{3800}} = 777 \text{ kg/cm}^2.$$

Bach empfiehlt, bei einreihigen, einschnittigen Nietungen $k_n = 600$ bis 700 kg/cm^2 zu nehmen.

Um einen Vergleich der einzelnen Nietverbindungen untereinander zu ermöglichen, ist es zweckmäßig, die Kraft anzugeben, welche ein Zentimeter Nahtlänge nach Formel (111) übertragen kann. $P_{1\text{cm}} = \frac{D \cdot p}{2}$ darf bei einreihiger, einschnittiger Nietung bis 500 kg betragen.

Zahlenbeispiel. Längsnaht an einem Dampfrohr von 500 mm Durchmesser für 12 at Überdruck. Werkstoff: Flußstahlblech von 3800 kg/cm² Festigkeit. Handnietung.

Da für die Berechnung nach S. 274, $K_z = 3600$ kg/cm², gesetzt werden muß, ist

$$k_z = \frac{K_z}{\zeta_H} = \frac{3600}{4,75} = 758 \text{ kg/cm}^2.$$

Blechstärke gemäß (115):

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \varphi \cdot k_z} + 0,1 = \frac{50 \cdot 12}{2 \cdot 0,58 \cdot 758} + 0,1 = 0,78 \text{ cm.}$$

Wegen Abrostens werde gewählt:

$$t = 9 \text{ mm.}$$

Nietdurchmesser: $d = 17$ mm, Teilung $e = 2d + 0,8 = 2 \cdot 1,7 + 0,8 = 4,2$ cm.

Kraft, die auf eine Teilung entfällt:

$$P_e = \frac{D \cdot e \cdot p}{2} = \frac{50 \cdot 4,2 \cdot 12}{2} = 1260 \text{ kg.}$$

Beanspruchung auf Gleiten:

$$k_n = \frac{P_e}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{1260}{\frac{\pi}{4} \cdot 1,7^2} = 555 \text{ kg/cm}^2,$$

Beanspruchung in der Nietnaht (116):

$$\sigma_z = \frac{P_e}{(t - 0,1)(e - d)} = \frac{1260}{(0,9 - 0,1)(4,2 - 1,7)} = 630 \text{ kg/cm}^2.$$

b) Einschnittige, zweireihige Vernietung. Abb. 474: Parallelnietung, Abb. 475: Zickzacknietung.

Die Teilung kann bei letzterer etwas größer gewählt werden, weil durch die gegeneinander versetzten Niete die Dichtheit besser gewährleistet ist. Bach gibt an:

$$\text{für Parallelnietung} \quad e = 2,6d + 1,0 \text{ cm,} \quad (118)$$

$$\text{für Zickzacknietung} \quad e = 2,6d + 1,5 \text{ cm.} \quad (119)$$

Der Gang der Berechnung entspricht ganz dem voranstehenden. Die Schwächung des Bleches ist dargestellt durch:

$$\text{für Parallelnietung} \quad \varphi_p = \frac{e - d}{e} = \frac{1,6d + 1,0}{2,6d + 1,0},$$

$$\text{für Zickzacknietung} \quad \varphi_z = \frac{e - d}{e} = \frac{1,6d + 1,5}{2,6d + 1,5}.$$

| | | | | | |
|------|--------------------|------|------|------|--------|
| Bei | $d = 1,7$ | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 2,9 cm |
| wird | $\varphi_p = 0,69$ | 0,68 | 0,67 | 0,67 | 0,66 |
| | $\varphi_z = 0,71$ | 0,70 | 0,69 | 0,69 | 0,68 |

Im Mittel kann man für die erste Berechnung

$$\varphi_p = 0,67, \quad \varphi_z = 0,69$$

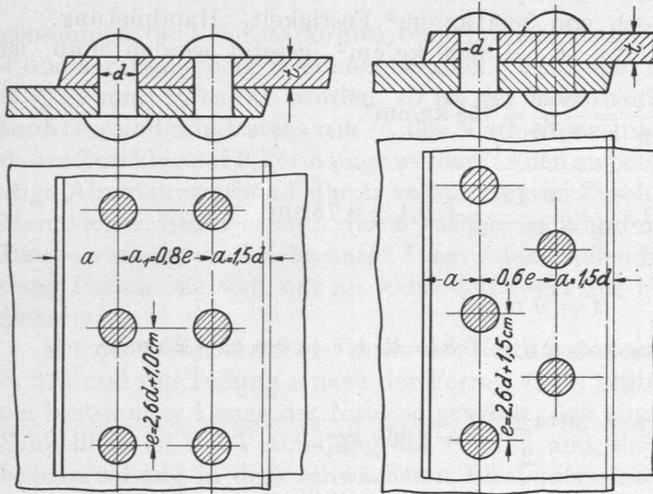
annehmen. Damit ergibt sich die Blechstärke zu

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + 0,1 \text{ cm,} \quad (115)$$

wobei wiederum im Falle gebohrter Löcher $k_z = \frac{K_z}{4,75}$ bei Handnietung und $= \frac{K_z}{4,5}$ bei

Maschinennietung gesetzt werden darf.

Aus t folgt an Hand der Zusammenstellung 75, S. 273 der Nietdurchmesser d , aus Formel (118 oder 119) die Teilung e . Für die Nachrechnung auf Gleiten kommen zwei Querschnitte in Betracht; daher wird:



$$k_n = \frac{P_e}{2 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{D \cdot e \cdot p}{4 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} \quad (120)$$

k_n soll nach den polizeilichen Bestimmungen [VI, 3, 4] 700 kg/cm² nicht überschreiten. Bach empfiehlt wegen des geringeren Gleitwiderstandes, den zweireihige Nietungen auf Grund seiner Versuche ergaben, k_n zwischen 550 und 650 kg/cm² zu nehmen.

Für die Nachrechnung der Zugbeanspruchung des Bleches gilt Formel (116).

Abb. 474 und 475. Einschnittige, zweireihige Parallel- und Zickzacknietung.

Einschnittige zweireihige Verbindungen gestatten im Vergleich

mit einreihigen die Übertragung größerer Kräfte auf einen Zentimeter Nietnaht:

$$P_{1cm} = \frac{D \cdot p}{2} = \begin{array}{l} 390 \text{ bis } 950 \text{ kg bei Zickzacknietung,} \\ 390 \text{ bis } 1000 \text{ kg bei Parallelnietung.} \end{array}$$

Angaben über weitere einschnittige Verbindungen sind in der Zusammenstellung 76 enthalten.

4. Zweischnittige Verbindungen, doppelseitige Laschennietungen.

Die Herstellung zweier Laschen verteuert die Verbindungen, die deshalb nur für größere Drücke und Durchmesser bei Blechstärken von mehr als 12 mm verwendet werden. Ein wichtiger Vorteil ist, daß das Biegemoment im Bleche an der Nietstelle wegfällt, so daß die Mantelbleche, wenn sie genau zylindrisch sind, nur auf Zug beansprucht werden, und daß deshalb geringere Sicherheitsgrade \mathcal{S} gegen Bruch eingesetzt werden können. Nach den polizeilichen Bestimmungen [VI, 3, 4] gilt für \mathcal{S} in der Formel

$$k_z = \frac{K_z}{\mathcal{S}}, \quad (2)$$

gebohrte Löcher vorausgesetzt,

$\mathcal{S} = 4,35$ bei zweireihigen, doppeltgelaschten, handgenieteten Nähten, deren eine Lasche nur einreihig genietet ist, Abb. 471,

$\mathcal{S} = 4,25$ bei doppeltgelaschten, handgenieteten Nähten,

$\mathcal{S} = 4,1$ bei zweireihigen, doppeltgelaschten, maschinengenieteten Nähten, deren eine Lasche nur einreihig genietet ist, Zusammenstellung 76, lfde Nr. 7,

$\mathcal{S} = 4,0$ bei doppeltgelaschten, maschinengenieteten Nähten.

Die Werte $\mathcal{S} = 4,25$ und $4,0$ können auch dann in die Rechnung eingeführt werden, wenn bei drei- und mehrreihigen Doppellaschennietungen die eine Lasche eine Nietreihe weniger besitzt als die andere.

Wegen der im Falle gestanzter Löcher vorgeschriebenen Erhöhung des Sicherheitsgrades vgl. S. 276.

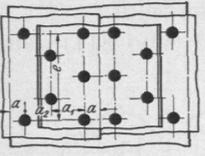
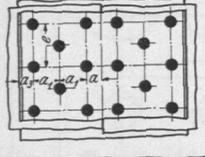
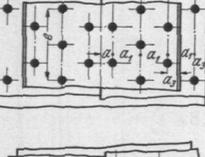
Zusammenstellung 76. Feste und dichte Nietverbindungen nach Bach u. a.

| Lfd. Nr. | Reihen- zahl | $P_{1\text{cm}} = \frac{D \cdot p}{2} \text{ kg}$ | $\mathcal{S}_H^{(1)}$ | $\mathcal{S}_M^{(1)}$ | φ | d cm | e cm | k_n kg/cm ² | a cm | a_1 cm | a_2 cm | a_3 cm | Lasche t_1 cm |
|---------------------------------------|------------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------|--------------|---|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| Einschnittige Überlappungsnietzungen | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | bis 500 | 4,75 | 4,5 | 0,58 | $\sqrt{5s}-0,4$ | $2d + 0,8$ | 700 (600 bis 700) ²⁾ | $1,5d$ | — | — | — | — |
| 2 | 2 | 390—950 | 4,75 | 4,5 | 0,69 | $\sqrt{5s}-0,4$ | $2,6d + 1,5$ | 700 (550 bis 650) ²⁾ | $1,5d$ | $0,6e$ | — | — | — |
| 3 | 2 | 390—1000 | 4,75 | 4,5 | 0,67 | $\sqrt{5s}-0,4$ | $2,6d + 1$ | 700 (550 bis 650) ²⁾ | $1,5d$ | $0,8e$ | — | — | — |
| 4 | 3 | 700—1350 | 4,75 | 4,5 | 0,74 | $\sqrt{5s}-0,4$ | $3d + 2,2$ | 700 (500 bis 600) ²⁾ | $1,5d$ | $0,5e$ | — | — | — |
| Zweischrittige Laschen- nietzungen | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 1 | 350—850 | 4,25 | 4,0 | 0,68 | $\sqrt{5s}-0,5$ | $2,6d + 1$ | 1400 (1000 bis 1200) ²⁾ | $1,5d$ | — | — | $1,35d$ | $0,6-0,7t$ |
| 6 | 1 ^{1/2} | 850—1600 | 4,25 | 4,0 | 0,82 | $\sqrt{5s}-0,6$ | $5d + 1,5$ | 1400 (950 bis 1150) ²⁾ | $1,5d$ | $0,4e$ | — | $1,5d$ | $0,8t$ |
| 7 | 1 ^{1/2} | 850—1600 | 4,35 | 4,1 | 0,82 | $\sqrt{5s}-0,6$ | $5d + 1,5$ | 1400 bzw. 700 (950 bis 1150 bzw. 700) ²⁾ | $1,5d$ | $0,4e$ | — | $1,5d$ | $0,8t$ |
| 8 | 2 | 650—1350 | 4,25 | 4,0 | 0,76 | $\sqrt{5s}-0,6$ | $3,5d + 1,5$ | 1400 (950 bis 1150) ²⁾ | $1,5d$ | $0,5e$ | — | $1,35d$ | $0,6-0,7t$ |

¹⁾ \mathcal{S}_H ist die Sicherheit im Falle von Handnietung, \mathcal{S}_M im Falle von Maschinennietung, beide Male unter Voraussetzung gebohrter Nietlöcher.

²⁾ Die eingeklammerten Werte nach Bach.

Zusammenstellung 76 (Fortsetzung).

| Lfd. Nr. | Reihen- zahl | $P_{1\text{cm}} = \frac{D \cdot p}{2} \text{ kg}$ | $\left(\frac{1}{S}\right)_H$ | $\left(\frac{1}{S}\right)_M$ | φ | d cm | e cm | k_n kg/cm ² | a cm | a_1 cm | a_2 cm | a_3 cm | Lasche t_1 cm | |
|----------|---|---|------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-----------------------------|--|-------------|-------------|-------------|--------------------|---------|
| 9 |  | 2 ¹ / ₂ | 1300—2300 | 4,25 | 4,0 | 0,85 | $\sqrt{5}s - 0,7$ | $6d + 2$ | 1400 bzw. 700 (900 bis 1100 bzw. 700) ²) | 1,5 d | 0,38 e | 0,3 e | 1,5 d | 0,8 t |
| 10 |  | 3 | 1100—2400 | 4,25 | 4,0 | 0,81 | $\sqrt{5}s - 0,7$ | $3d + 1$ | 1400 (900 bis 1100) ²) | 1,5 d | 0,6 e | — | 1,5 d | 0,8 t |
| 11 |  | 3 ¹ / ₂ | 1900—3100 | 4,25 | 4,0 | 0,87 | $\sqrt{5}s - 0,8$ | $6d + 2$ | 1400 bzw. 700 (850 bis 1050 bzw. 700) ²) | 1,5 d | 0,38 e | — | 1,5 d | 0,8 t |
| 12 |  | 4 | 1800—3200 | 4,25 | 4,0 | 0,83 | $\sqrt{5}s - 0,8$ | $3d + 1$ | 1400 (850 bis 1050) ²) | 1,5 d | 0,6 e | — | 1,5 d | 0,8 t |

a) Zweischnittige, einreihige Vernietung, einreihige Laschennietung.

Zusammenstellung 76, lfde Nr. 5.

Theoretisch würde als Laschenstärke $t_1 = t/2$ genügen; wegen des Verstemmens, des größeren Einflusses des Abrostens und wegen etwaiger ungleichmäßiger Übertragung der Kräfte pflegt sie etwas größer:

$$t_1 = 0,6 \dots 0,7 \dots 0,8 t \quad (121)$$

gewählt zu werden.

Bei der Herstellung der Laschen soll beachtet werden, daß nicht allein die Art und Beschaffenheit des Werkstoffs, sondern daß auch die Walzrichtung der Lasche die gleiche ist wie im Hauptbleche, letzteres, weil die Elastizität in der Walzrichtung und quer dazu verschieden ist. Als Teilung kann nach Bach

$$e = 2,6 d + 1 \text{ cm}, \quad (122)$$

als Abstand der Nietreihe von der Laschenkante wegen der geringeren Stärke der zu verstemmenden Lasche $1,35 d$ genommen werden. Für einreihige Laschennietungen kommen Nietdurchmesser von 1,7 bis 2,6 cm in Betracht; damit berechnet sich die Schwächungszahl

$$\varphi = \frac{e - d}{e} = \frac{1,6 d + 1}{2,6 d + 1},$$

| | | | |
|---------------------|------|------|---------|
| für $d = 1,7$ | 2,0 | 2,3 | 2,6 cm, |
| zu $\varphi = 0,69$ | 0,68 | 0,67 | 0,67 |

In der Formel für die Blechstärke

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_s} + 0,1 \text{ cm} \quad (115)$$

darf $\varphi = 0,68$ als Mittelwert eingesetzt werden, da die größeren Nietdurchmesser selten verwendet werden.

¹) S_H ist die Sicherheit im Falle von Handnietung, S_M im Falle von Maschinennietung, beide Male unter Voraussetzung gebohrter Nietlöcher.

²) Die eingeklammerten Werte nach Bach.

Für die Nachrechnung auf Gleiten betrachten wir wiederum einen Streifen von der Breite der Teilung e , auf welchen ein Niet kommt; daher ist k_n nach der Gleichung

$$k_n = \frac{P_e}{\pi d^2} = \frac{D \cdot p \cdot e}{2 \cdot \pi d^2} \quad (117)$$

nachzurechnen. k_n darf nach den polizeilichen Bestimmungen [VI, 3, 4] das doppelte wie bei einschnittigen Nieten, also bis zu 1400 kg/cm² betragen. Nach den oben erwähnten Versuchen [VI, 9 bis 11] zeigen freilich mehrschnittige Niete verhältnismäßig geringeren Gleitwiderstand als einschnittige. Bach empfiehlt daher bei zweisechnittigen einreihigen Nietungen k_n nur zwischen 1000 und 1200 kg/cm² zu nehmen.

Die Berechnung der wirklichen Beanspruchung des Bleches in der Naht unter Berücksichtigung des Zuschlages von 0,1 cm erfolgt nach Formel (116). Auf einen Zentimeter Nahtlänge lassen sich 350 bis 850 kg übertragen.

b) Zweisechnittige, mehrreihige Verbindungen.

Angaben über mehrreihige zweisechnittige Verbindungen enthält die Zusammenst. 76.

Bei mehrreihigen Nietungen werden häufig die verjüngten in sehr mannigfaltigen Anordnungen angewendet. Sie haben den Vorteil geringerer Schwächung des Bleches, verlangen aber, daß die zu verstemmende Lasche ausgeschweifert oder schmaler gehalten wird, Abb. 470 und 471. Im zweiten Falle umfaßt sie nur die inneren Nietreihen, um die Entfernung der Niete $8t_1$ nicht überschreiten zu lassen. Bei derartigen Verbindungen dürfen für den Gleitwiderstand in den inneren Reihen 1400, nach Bach 950 bis 1150, in den äußeren mit einschnittigen Nieten versehenen Reihen 700 kg/cm² angenommen werden. Vgl. Berechnungsbeispiel Nr. 1, S. 298.

Daß die 1½-reihige, zweisechnittige Nietung nach der Übersicht größere Kräfte zu übertragen vermag, ist in der geringeren Schwächung des Bleches begründet.

Zur Berechnung einer Nietverbindung, für die eine bestimmte Anordnung von vornherein nicht vorgeschrieben ist, kann vorteilhafterweise die Zusammenstellung 76 benutzt werden. Die Gebiete der einzelnen Nietungsarten, gekennzeichnet durch die Kraft $P_{1\text{cm}}$, die sie auf einen Zentimeter Nahtlänge zu übertragen vermögen, übergreifen einander, so daß z. B. eine Verbindung für $P_{1\text{cm}} = 480$ kg auf vier verschiedene Arten, nämlich als ein- oder zweireihige Zickzack- oder Parallelnietung oder als einreihige, zweisechnittige Nietung ausgeführt werden kann. Zu diesen verschiedenen Möglichkeiten ist allgemein das Folgende zu bemerken. Die Bleche fallen um so dünner und die Beschaffungskosten um so niedriger aus, je mehr Nietreihen angeordnet werden, weil das Blech in geringerem Maße geschwächt wird. Dagegen steigt die Zahl der Niete; die Ausführung der Verbindungen wird teurer. Bei den zweisechnittigen Nietungen werden die Blechstärken geringer, da die zulässige Beanspruchung höher sein darf; dafür steigen die Arbeitskosten durch die Herstellung der Laschen und durch die größere Zahl von Löchern und Nieten. Die Entscheidung, welche Verbindung auszuführen ist, muß nach den Gesamtkosten, in manchen Fällen aber auch nach dem Gewicht, so z. B. im Falle schwieriger Beförderungsverhältnisse oder in Rücksicht auf den Zoll getroffen werden. Ein Beispiel geben die folgenden Zahlen für die vier Arten, nach denen die Belastung $P_{1\text{cm}} = 480$ kg aufgenommen

| | k_z kg/cm ² | t mm | d mm | e mm | Anzahl der Niete auf 1 m |
|---|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|
| Einschnittige, einreihige Nietung | $\frac{K_z}{4,75} = 758$ | 11,9 | 20 | 48 | 20,8 |
| „ zweireihige Zickzacknietung | $\frac{K_z}{4,75} = 758$ | 10,2 | 17 | 59 | 34 |
| „ „ Parallelnietung | $\frac{K_z}{4,75} = 758$ | 10,5 | 17 | 54 | 37 |
| Zweisechnittige, einreihige Nietung | $\frac{K_z}{4,25} = 847$ | 9,4 | 17 | 54 | 37 |

werden kann. Die Festigkeit des Bleches ist mit $K_z = 3600 \text{ kg/cm}^2$ angenommen, ferner Handnietung vorausgesetzt und die berechnete Blechstärke auf Zehntelmillimeter genau angegeben, um die Unterschiede deutlicher zu machen.

5. Auf Zug beanspruchte Niete.

Auf Zug beanspruchte Niete, wie sie an Domen, Stützen usw. vorkommen, sollen nur gering, mit höchstens 150 bis 200 kg/cm^2 , belastet werden. Das ist, wie schon oben erörtert, darin begründet, daß sich die Beanspruchung des Schaftes aus den Spannungen, die beim Einziehen und Verstemmen entstehen und aus der Zugbeanspruchung durch die Belastung zusammensetzt. Da die Niete schon durch die ersteren bis nahe an die Fließgrenze in Anspruch genommen sind, können große zusätzliche Beanspruchungen leicht bleibende Verlängerungen der Nietschäfte und Undichtwerden der Naht hervorrufen.

6. Die Teile einfacher Kessel.

Im Anschluß an die Berechnung der Vernietungen seien die wichtigeren Teile, aus denen sich Kessel einfacher Gestalt zusammensetzen, kurz besprochen. Wegen der Einzelheiten über Flamm- und Siederohre, Rohrplatten, Platten ungewöhnlicher Form usw. muß auf das einschlägige Schrifttum verwiesen werden [VI, 18].

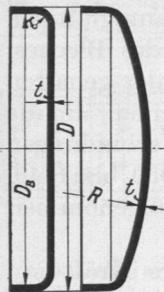


Abb. 476 u. 477. Ebener und gewölbter voller Kesselboden.

a) Kesselböden und ihre Berechnung.

Die Endflächen der Kessel werden je nach den Umständen durch ebene Bleche, gekrempte flache oder gewölbte Böden gebildet, deren Hauptformen die Abb. 476 bis 481 zeigen und deren normale Abmessungen Zusammenstellung 77 angibt. Ebene Böden sind ungünstiger beansprucht als die nach einer Kugelfläche gewölbten, bieten aber den Vorteil, daß sie sich besser bohren lassen und daß die Wasser- oder Feuerrohre die gleiche Länge bekommen und leichter eingezogen werden können.

Zusammenstellung 77. Normalböden (Schulz-Knaudt, Essen).

1. Volle Böden, für einreihige Rundnaht (Abb. 476 und 477).
(Werden auf Bestellung auch mit eingepreßten Mannlöchern versehen.)

| D | h ¹⁾ | H _{fl.} ¹⁾ | H _{gew.} ¹⁾ | R | t ²⁾ | D | h ¹⁾ | H _{fl.} ¹⁾ | H _{gew.} ¹⁾ | R | t ²⁾ |
|------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|------|-----------------|------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|------|-----------------|
| 300 | 65 | 90 | 110 | 400 | 6—16 | 1450 | 80 | 125 | 240 | 1700 | 8—26 |
| 350 | 65 | 90 | 115 | 500 | 6—16 | 1500 | 80 | 125 | 270 | 1800 | 9—26 |
| 400 | 65 | 90 | 120 | 550 | 6—16 | 1550 | 80 | 125 | 270 | 1800 | 9—26 |
| 450 | 65 | 95 | 125 | 600 | 6—16 | 1600 | 80 | 125 | 270 | 2000 | 10—26 |
| 500 | 65 | 95 | 135 | 650 | 6—16 | 1650 | 80 | 125 | 275 | 2000 | 10—26 |
| 550 | 65 | 105 | 135 | 700 | 6—16 | 1700 | 80 | 125 | 275 | 2200 | 10—26 |
| 600 | 65 | 105 | 160 | 750 | 6—16 | 1750 | 80 | 130 | 275 | 2200 | 11—26 |
| 650 | 65 | 105 | 175 | 800 | 6—26 | 1800 | 80 | 130 | 275 | 2400 | 11—26 |
| 700 | 65 | 105 | 175 | 850 | 6—26 | 1850 | 85 | 130 | 275 | 2400 | 12—26 |
| 750 | 65 | 105 | 175 | 900 | 6—26 | 1900 | 85 | 130 | 290 | 2600 | 12—26 |
| 800 | 70 | 110 | 185 | 950 | 6—26 | 1950 | 85 | 130 | 300 | 2600 | 13—26 |
| 850 | 70 | 110 | 185 | 1000 | 6—26 | 2000 | 90 | 130 | 300 | 2800 | 13—26 |
| 900 | 70 | 110 | 200 | 1100 | 6—26 | 2100 | 90 | 130 | 300 | 3300 | 13—26 |
| 950 | 70 | 110 | 200 | 1200 | 6—26 | 2200 | 90 | 130 | 300 | 3300 | 14—26 |
| 1000 | 70 | 110 | 200 | 1300 | 6—26 | 2300 | 90 | 130 | 315 | 3300 | 15—26 |
| 1050 | 70 | 110 | 205 | 1400 | 6—26 | 2400 | 90 | 130 | 330 | 3300 | 15—26 |
| 1100 | 70 | 115 | 215 | 1400 | 6—26 | 2500 | 90 | 130 | 350 | 3300 | 15—26 |
| 1150 | 70 | 115 | 215 | 1450 | 6—26 | 2600 | 90 | 130 | 370 | 3300 | 15—26 |
| 1200 | 75 | 115 | 230 | 1500 | 6—26 | 2700 | 90 | 130 | 380 | 3500 | 15—26 |
| 1250 | 75 | 115 | 230 | 1600 | 7—26 | 2800 | 90 | 130 | 400 | 3500 | 15—26 |
| 1300 | 75 | 115 | 230 | 1600 | 7—26 | 2900 | 90 | 130 | 420 | 3500 | 15—26 |
| 1350 | 75 | 120 | 235 | 1700 | 8—26 | 3000 | 90 | 130 | 445 | 3500 | 15—26 |
| 1400 | 75 | 120 | 235 | 1700 | 8—26 | | | | | | |

¹⁾ h ist die Höhe des zylindrischen Teils der Krempe, H_{fl.} die lichte Höhe des flachen, H_{gew.} die lichte Scheitelhöhe des gewölbten Bodens. Für Blechstärken unter 9 mm sind h, H_{fl.}, H_{gew.} um 25 mm kleiner.

²⁾ Die angegebenen Werte sind normale Blechstärken, für die der Grundpreis für Böden gilt.

2. Böden für Einflammrohrkessel mit einreihiger Rundnaht (Abb. 478 und 479).

| D | H | H_1 | a | h | h_1 | R | t |
|------|-----|-------|-----|-----|-------|------|---------|
| 1300 | 230 | 340 | 45 | 70 | 75 | 1600 | 15 — 20 |
| 1350 | 235 | 340 | 45 | 70 | 75 | 1700 | 15 — 20 |
| 1400 | 235 | 340 | 45 | 70 | 75 | 1700 | 15 — 20 |
| 1450 | 235 | 350 | 45 | 70 | 75 | 1700 | 15 — 20 |
| 1500 | 270 | 365 | 50 | 70 | 80 | 1800 | 16 — 23 |
| 1550 | 270 | 375 | 55 | 70 | 80 | 1800 | 16 — 23 |
| 1600 | 270 | 390 | 65 | 70 | 80 | 2000 | 17 — 23 |
| 1650 | 275 | 390 | 65 | 75 | 80 | 2000 | 17 — 23 |
| 1700 | 275 | 400 | 65 | 75 | 80 | 2200 | 17 — 24 |
| 1750 | 275 | 400 | 65 | 75 | 80 | 2200 | 17 — 24 |
| 1800 | 275 | 400 | 70 | 75 | 80 | 2400 | 18 — 25 |
| 1850 | 275 | 405 | 70 | 75 | 85 | 2400 | 18 — 25 |
| 1900 | 290 | 410 | 75 | 75 | 85 | 2600 | 18 — 25 |
| 1950 | 300 | 410 | 75 | 75 | 85 | 2600 | 18 — 25 |
| 2000 | 300 | 410 | 75 | 80 | 90 | 2800 | 18 — 25 |
| 2100 | 310 | 410 | 75 | 80 | 90 | 3000 | 18 — 25 |
| 2200 | 325 | 410 | 75 | 80 | 90 | 3000 | 18 — 25 |
| 2300 | 345 | 420 | 75 | 80 | 90 | 3000 | 18 — 25 |
| 2400 | 365 | 425 | 75 | 80 | 90 | 3000 | 18 — 25 |
| 2500 | 385 | 430 | 75 | 80 | 90 | 3000 | 18 — 25 |

Die Maße b , c und d werden nach Angabe ausgeführt.

3. Böden für Zweiflammrohrkessel mit einreihiger Rundnaht (Abb. 480 und 481).

| D | 1800 | 1900 | 2000 | 2100 | 2200 | 2300 | 2400 | 2500 |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| d | 650 | 725 | 750 | 775 | 825 | 875 | 925 | 975 |
| | 625 | 700 | 725 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 |
| | 600 | 675 | 700 | 725 | 775 | 825 | 875 | 925 |
| | 575 | 650 | 675 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 |
| | 600 | 650 | 650 | 675 | 725 | 775 | 825 | 875 |
| H | 295 | 330 | 320 | 335 | 355 | 375 | 395 | 400 |
| H_1 | 445 | 465 | 455 | 470 | 490 | 515 | 535 | 545 |
| H' | 285 | 310 | 295 | 305 | 320 | 340 | 355 | 360 |
| h | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 80 | 80 | 80 |
| h_1 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| a | 60 | 65 | 65 | 65 | 60 | 55 | 55 | 55 |
| b | 110 | 115 | 130 | 140 | 150 | 160 | 160 | 160 |
| c | 825 | 875 | 925 | 970 | 1040 | 1085 | 1140 | 1180 |
| e | 220 | 230 | 260 | 260 | 350 | 390 | 425 | 470 |
| f | 600 | 650 | 700 | 700 | 750 | 810 | 810 | 925 |
| R | 2400 | 2500 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| t | 20 — 22 | 20 — 22 | 20 — 25 | 20 — 25 | 20 — 25 | 20 — 25 | 20 — 25 | 22 — 25 |
| w | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 | 450 |

Für zweireihige Rundnaht werden H H_1 H' h_1 und a um 35 mm größer.

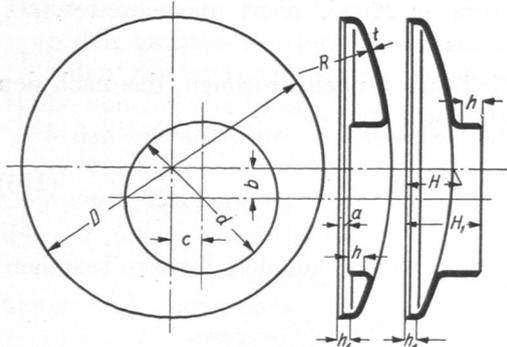


Abb. 478 und 479. Gewölbte Böden mit Ein- und Aushalsung für Einflammrohrkessel.

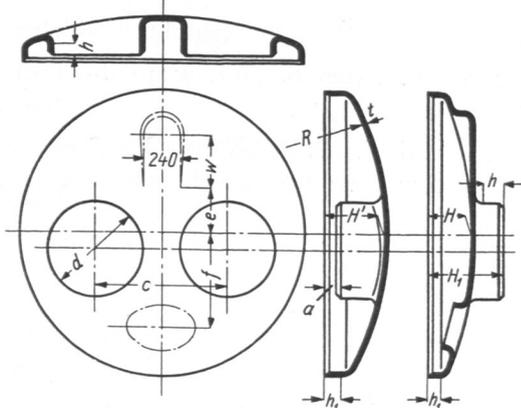


Abb. 480 und 481. Gewölbte Böden mit Ein- und Aushalsungen für Zweiflammrohrkessel.

4. Domböden mit Mannloch (Abb. 529).

| | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Durchmesser | 500 | 600 | 650 | 700 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 |
| Wölbungshalbmesser . | 650 | 750 | 800 | 850 | 900 | 950 | 1000 | 1100 | 1200 |

Der gewölbte, volle Boden, Abb. 477, von innen durch den Überdruck p beansprucht, darf näherungsweise als Teil einer Kugel mit dem Halbmesser R betrachtet werden und, solange seine Wandstärke t gegenüber R klein ist, nach der Näherungsformel

$$t = \frac{p \cdot R}{2 k_z} \quad (123)$$

berechnet werden. Vgl. (51).

Die Spannung in einer undurchbrochenen Kugelfläche ist überall gleich groß. Bei Kesselböden treten aber an der Krepfung Nebenbeanspruchungen auf Biegung und Schub auf, die sich rechnerisch schwierig verfolgen lassen, jedenfalls aber mit zunehmender Schärfe des Übergangs rasch wachsen und die Wahl eines mäßigen Wertes für k_z begründen. Nach den polizeilichen Bestimmungen [VI, 3, 4] sind für k_z unter der Voraussetzung, daß der Krepfungshalbmesser ausreichend groß gewählt wird,

an weichem Schweißstahl bis zu 500 kg/cm²,

an weichem Flußstahl bis zu 650 kg/cm²

an Kupfer, wenn die Dampftemperatur 200° C nicht überschreitet, bis zu 400 kg/cm² zulässig. Auch für gewölbte Flammrohrböden nach Abb. 478 bis 481 (ein- und zweihalsig) darf dieselbe Formel mit k_z bis zu 750 kg/cm² im Falle weichen Flußstahls benutzt werden, unter der Voraussetzung ausreichend großer Krepfungshalbmesser der Böden und genügend großen Abstandes der Flammrohre von den Krepfen, sowie der Verwendung von Flammrohren, die in Richtung ihrer Achse elastisch genug sind, so daß die Böden durch dieselben keine erheblichen Zusatzspannungen erfahren.

Des bequemen Nietens und Verstemmens wegen werden häufig gewölbte Böden nach Abb. 467 rechts so angeordnet, daß sie äußerem Überdruck ausgesetzt sind. So kann an dem Windkessel Abb. 531, der zu eng ist, um durch ein Mannloch hindurch befahren zu werden, nur an einem Ende ein nach außen gewölbter Boden benutzt werden, während am andern ein nach innen gewölbter verwendet werden muß, damit sich die Niete auf seinem Umfange einziehen lassen. Die Wandstärke derartiger Böden ist unter der Annahme gleichmäßiger Spannungsverteilung nach der ähnlich wie Gleichung (123) abgeleiteten Formel

$$t = \frac{p \cdot R}{2 \cdot k} \quad (124)$$

zu berechnen, wobei die Beanspruchung auf Druck k

für geglühten weichen Flußstahl bis 650 kg/cm²,

für gehämmertes Kupfer, wenn die Dampftemperatur 200° C nicht überschreitet, bis 400 kg/cm²

betragen darf. Die Böden sind außerdem auf Einbeulen nachzurechnen, das nach den Untersuchungen von Bach bei einer Druckspannung

$$k_0 = A - B \sqrt{\frac{R}{t}} \quad (125)$$

eintritt, wobei

„für kugelförmige, stark gehämmerte Kupferböden, welche aus dem Ganzen bestehen,

$$A = 2550, \quad B = 120,$$

für geglühte Flußeisenböden, welche aus dem Ganzen bestehen,

$$A = 2600, \quad B = 115,$$

für Flußeisenböden, welche aus einzelnen Teilen mit Überlappungsnetzung hergestellt sind,

$$A = 2450, \quad B = 115$$

zu setzen ist“.

k_0 soll $\frac{k}{0,4}$ nicht überschreiten, mit anderen Worten, es muß eine mindestens 2,5fache Sicherheit gegen Einbeulen vorhanden sein.

Die Berechnung der Nietungen in kugeligen Böden oder Wänden bietet keine Schwierigkeiten, wenn man auf die Belastung auf einen Zentimeter Nietnahtlänge zurückgeht. Sie ergibt sich aus Abb. 482, wenn P den gesamten Druck auf die Halbkugelfläche, U den Umfang der Kugel bedeutet, zu

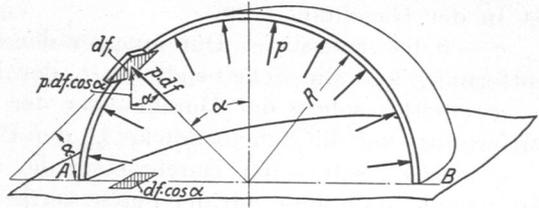


Abb. 482. Zur Berechnung kugeliger Wandungen.

$$P_{1 \text{ cm}} = \frac{P}{U} = \frac{\pi R^2 \cdot p}{2 \pi R} = \frac{R \cdot p}{2}. \quad (126)$$

b) Ebene Wandungen.

In ihnen treten durch die Belastung Biegespannungen auf. Je nachdem, ob die Platten am Umfange eingespannt sind oder frei aufliegen, stellt sich die größte Inanspruchnahme am Rande oder in der Mitte ein. In den meisten Fällen liegt aber die Art der Beanspruchung zwischen den genannten beiden Grenzfällen, vgl. [VI, 13]. Verlangt die Rechnung nach den unten angeführten Formeln eine zu große Wandstärke, so läßt sich diese durch Verankerungen, Stehbolzen, Eckversteifungen, aufgenietete Verstärkungsplatten usw. verringern. Die polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Kesseln schreiben für die Berechnung folgendes vor:

„1. Für gekrempte, ebene Böden ohne Anker, Abb. 476, gilt

$$t = \frac{1}{98} \left[D_B - r \left(1 + \frac{2r}{D_B} \right) \right] \sqrt{p}, \quad (127)$$

wenn t die Blechdicke in cm,

p den größten Betriebsüberdruck in at,

r den Wölbungshalbmesser der Krempe in cm,

D_B den inneren Durchmesser der Krempe in cm

bedeuten.

2. Sind in einer flußeisernen Wand die Anker regelmäßig, wie in Abb. 483, verteilt, so ist die Blechstärke t in cm zu nehmen:

$$t = c \sqrt{p(a^2 + b^2)}. \quad (128)$$

Dabei bezeichnet

p den größten Betriebsüberdruck in at,

a den Abstand der Stehbolzen oder Anker innerhalb einer Reihe voneinander in cm,

b den Abstand der Stehbolzen- oder Ankerreihen voneinander in cm,

c einen Zahlenwert,

der wie folgt zu wählen ist:

$c = 0,017$ bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und vernietet sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,

$c = 0,015$, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,

$c = 0,0155$ bei Platten, in welche die Stehbolzen oder Anker eingeschraubt und außen

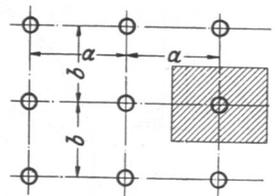


Abb. 483.

mit Muttern oder gedrehten Köpfen versehen sind, und welche von den Heizgasen und vom Wasser berührt werden,

$c = 0,0135$, wenn solche Platten nicht von den Heizgasen berührt werden,

$c = 0,014$ bei Platten, welche durch Ankerröhren versteift sind.

3. Bei Platten, deren Anker mit Muttern und Verstärkungsscheiben versehen sind, ist in der Gleichung (128)

$c = 0,013$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{2}{5}$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $\frac{2}{3}$ der Plattendicke,

$c = 0,012$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{3}{5}$ der Ankerentfernung und die Scheibendicke $\frac{5}{6}$ der Plattendicke,

$c = 0,011$, sofern der Durchmesser der äußeren Verstärkungsscheibe $\frac{4}{5}$ der Ankerentfernung, auch diese mit der Platte vernietet und die Scheibendicke gleich der Plattendicke ist, vgl. (Abb. 516.)

und die Platten nicht vom Feuer berührt sind. Werden sie dagegen auf der einen Seite von den Heizgasen, auf der anderen vom Dampf gespült, dann sind sie, falls sie nicht durch Flammenbleche geschützt werden, um $\frac{1}{10}$ stärker zu nehmen, als die Rechnung ergibt.

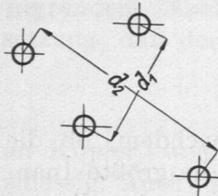


Abb. 484.

4. Bei unregelmäßig verteilten Verankerungen wie in Abb. 484 ist

$$t = c \cdot \frac{1}{2} (d_1 + d_2) \sqrt{p}. \quad (129)$$

Der Wert von c ist je nach der Art der Verankerung aus Ziffer 1 oder 2 zu entnehmen.

5. Für Verstärkungen nicht dem ersten Feuer ausgesetzter ebener Platten durch Doppelungsplatten können $12,5\%$ von den für die ebenen Platten sich ergebenden Blechdicken in Abzug gebracht werden, wenn die Dicke der Doppelungsplatten mindestens $\frac{2}{3}$ der berechneten Blechdicke beträgt und die Doppelungen gut mit den Platten vernietet sind.

6. Rechteckige Platten, die am Umfang befestigt sind, erhalten die Wanddicke

$$t = 0,053 b \sqrt{\frac{p}{k_z \left[1 + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right]}} \quad (130)$$

wobei bedeuten:

a die größere Rechteckseite in cm,

b die kleinere Rechteckseite in cm,

p den größten Betriebsüberdruck in at,

k_z die zulässige Zugbeanspruchung des Werkstoffs in kg/cm^2 , für welche bis $\frac{1}{4}$ der rechnermäßigen Zugfestigkeit eingeführt werden kann.

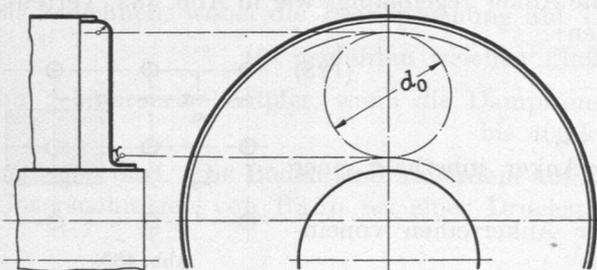


Abb. 485. Zur Berechnung ebener Kesselwandungen.

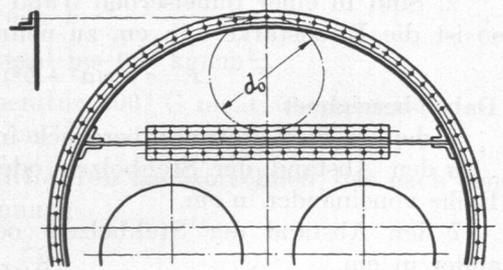


Abb. 486. Versteifung einer ebenen Kesselwand durch ein Querblech.

7. Bei Platten, die nicht durch Stehbolzen oder Längsanker, sondern durch Eckanker oder in anderer Weise ausreichend unterstützt werden, ist die Wanddicke nach

$$t = 0,017 d_0 \sqrt{p} \quad (131)$$

zu bemessen, sofern nicht nachgewiesen wird, daß eine geringere Wanddicke zulässig ist.

Hierin bedeutet:

p den größten Betriebsüberdruck in at,

d_0 den Durchmesser des größten Kreises in cm, der auf der ebenen Platte nach Maßgabe der Abb. 485 bis 487 durch die Befestigungsstellen gehend, beschrieben werden kann.

Werden keine Angaben über das Maß des Krempungshalbmessers der Stirnplatten gemacht, so ist es zu 50 mm anzunehmen.

8. Vorstehende Ausführungen gelten nur für flußeiserne Wandungen.

Durch Stehbolzen oder Anker unterstützte Kupferplatten erhalten die folgenden Wanddicken, und zwar bei regelmäßig verteilten Verankerungen, wie in Abb. 483:

$$t = 5,83 c \sqrt{\frac{p}{K_z} (a^2 + b^2)}, \tag{132}$$

bei unregelmäßig verteilten Verankerungen, wie in Abb. 484,

$$t = 5,83 c \frac{1}{2} (d_1 + d_2) \sqrt{\frac{p}{K_z}}. \tag{133}$$

Der Wert von K_z kann, wenn größere Festigkeit nicht nachgewiesen wird, bei Temperaturen bis 120° C zu 2200 kg/cm² angenommen werden. Im Falle höherer Temperatur ist die Zugfestigkeit für je 20° C um 100 kg/cm² niedriger zu wählen. c ist je nach der Art der Verankerung aus Ziffer 1 oder 2 zu entnehmen.“

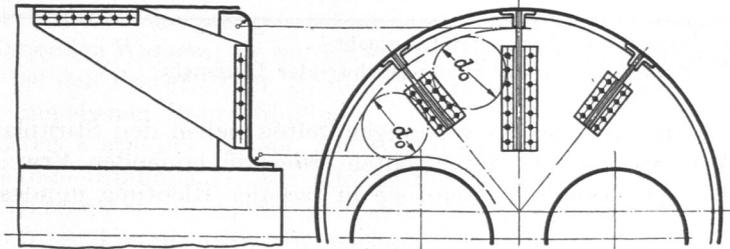


Abb. 487. Versteifung einer ebenen Kesselwand durch Eckanker.

Versteifungen werden größerer Sicherheit wegen, unter Vernachlässigung der Tragfähigkeit der Wandungen, so berechnet, daß sie die Belastung der zugehörigen Flächen allein aufnehmen können; z. B. ist diejenige eines Ankers oder Stehbolzens der Abb. 483 durch den Druck auf die gestrichelte Fläche $a \cdot b \cdot p$ oder die Belastung der Deckenträger A , Abb. 488, durch die Kräfte $P_1 = \left(\frac{c}{2} + c_1\right) \cdot d \cdot p$ und $P_2 = c \cdot d \cdot p$ kg gegeben. Die erwähnten

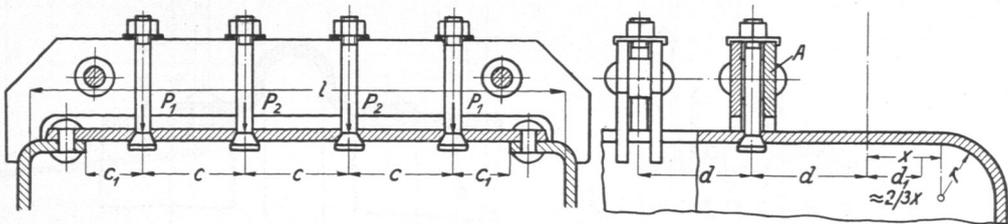


Abb. 488. Versteifung einer ebenen Wand durch Deckenträger.

Stehbolzen, Anker und Schrauben sind auf Zug, die Deckenanker auf Biegung zu berechnen — die letzteren als Balken von der Stützlänge l , belastet durch die Einzelkräfte in den Schrauben. Die Beanspruchung soll nach den Bestimmungen über die Anlegung von Kesseln

- „bei geschweißten Anker und Stehbolzen aus Schweißeisen 350 kg/cm²,
 - bei ungeschweißten Anker und Stehbolzen aus Schweißeisen 500 kg/cm²,
 - bei ungeschweißten Anker und Stehbolzen aus Flußeisen 600 kg/cm²,
 - bei Anker und Stehbolzen aus Kupfer für Dampftemperaturen bis 200° C 400 kg/cm²
- nicht überschreiten“.

Die Biegebeanspruchung k_b im Deckenträger darf zu 900 kg/cm^2 oder falls die Zugfestigkeit K_z des Werkstoffs festgestellt ist, zu $\frac{K_z}{4}$ genommen werden.

c) Flammrohre.

Innen von der Flamme oder den Heizgasen bestrichene Flammrohre, Abb. 513, sind, als einfache, zylindrische oder kegelige Rohre ausgebildet, dem Einknicken oder Einbeulen durch den von außen her wirkenden Druck ausgesetzt. Zur Berechnung der Blechstärke t in cm dient die von Bach angegebene Formel

$$t = \frac{p \cdot d_i}{2400} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{a \cdot l}{p \cdot l + d_i}} \right) + 0,2 \text{ cm}, \tag{134}$$

wobei neben den auf Seite 285 aufgeführten Bezeichnungen t und p bedeuten:

d_i den inneren Durchmesser des zylindrischen oder den mittleren inneren Durchmesser des kegelligen Flammrohres in cm,

l die Länge des Rohres in cm oder, falls wirksame Versteifungen angebracht sind, deren größte Entfernung voneinander;

a einen Zahlenwert, der wie folgt gewählt werden darf:

| | Bei liegenden Flammrohren | Bei stehenden Flammrohren |
|--|---------------------------|---------------------------|
| Für Rohre mit überlappter Längsnaht | $a = 100$ | $a = 70$ |
| für Rohre mit gelaschter oder geschweißter Längsnaht | $a = 80$ | $a = 50$ |

Als wirksame Versteifungen gelten neben den Stirnplatten und Rohrwänden die in Abb. 489 bis 493 dargestellten, ringsum laufenden Erweiterungen und Verstärkungen der Rohrwandung, wenn sie in radialer Richtung mindestens 50 mm ausladen.

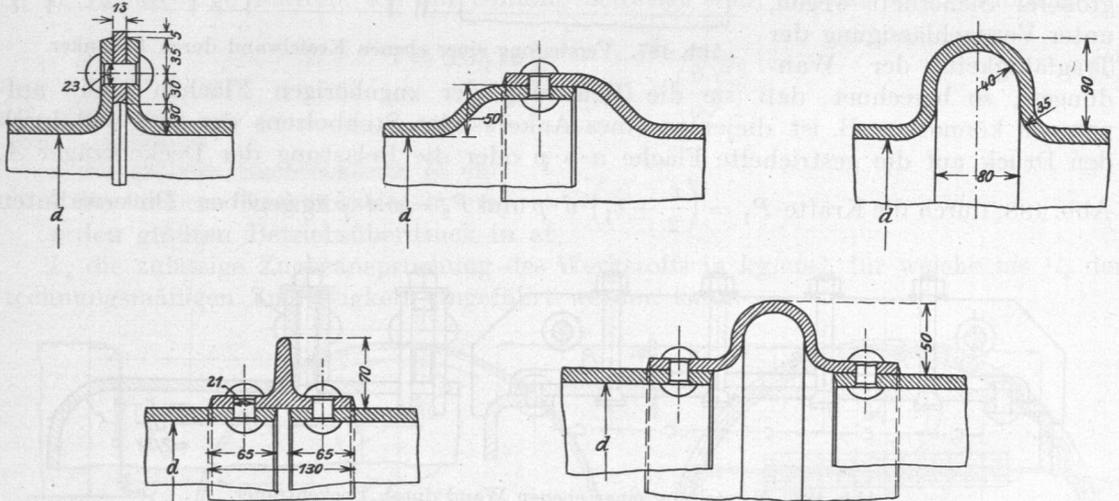


Abb. 489 bis 493. Versteifungen von Rohrwandungen.

Zylindrische oder kegelige Flammrohre können durch ihre geringe Längselastizität beträchtliche Kräfte auf die Kesselböden ausüben, wenn sich Temperaturunterschiede zwischen ihnen und der Kesselwandung ausbilden, wie beim Durchströmen von heißen Feuergasen zu erwarten steht. Besonders leicht werden die Nähte an den Ein- und Aushalsungen der Böden undicht.

Viel elastischer und gleichzeitig wirksamer versteift sind Wellrohre nach Abb. 494 und 495. Die größere Versteifung wird dadurch berücksichtigt, daß man l in der Formel

(134) gleich Null setzt, so daß die Berechnung der Wandstärke nach

$$t = \frac{p \cdot d_i}{1200} + 0,2 \text{ cm} \quad (135)$$

erfolgen kann.

Rohre, die die Feuerroste unmittelbar aufnehmen sollen, bekommen meist einen weiteren Zuschlag von 0,05 bis 0,1 cm.

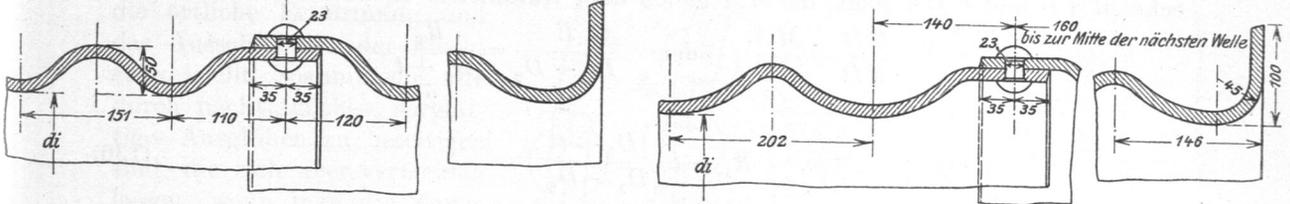


Abb. 494 und 495. Wellrohrformen.

7. Gestaltung einfacher Kessel, Durchbildung und Ausführung ihrer Vernietungen.

Die Kessel pflegen aus zylindrischen, seltener kegelförmigen Schüssen und ebenen oder gewölbten Böden und Wänden, häufig in Verbindung mit Flamm-, Wasser- und Rauchrohren zusammengesetzt zu werden. Flammrohre sind weite, im Innern eines walzenförmigen Kessels liegende Rohre, Abb. 527, die oft den Rost und damit die Feuerung selbst aufnehmen oder durch welche die Feuergase geleitet werden. Wasserrohre dienen zur Erhitzung des in ihnen strömenden Wassers; sie werden von außen her vom Heizmittel umspült. Umgekehrt strömen bei den Feuer- oder Rauchrohren, Abb. 513, die Gase durch die außen von Wasser umgebenen Rohre hindurch.

Beim Entwurf der einfachsten Form der Kessel, des Walzenkessels, geht man von den normalen Böden, Zusammenstellung 77, aus und bestimmt danach die Durchmesser der einzelnen, an den Quernähten ineinander gesteckten Schüsse. Wählt man deren Zahl ungerade, Abb. 527, so kommt man bei gleichem Durchmesser der beiden Böden mit zylindrischen Schüssen aus, die sich aus rechteckigen, also geradlinig begrenzten und daher leicht anzureißenden und durch Hobeln zu bearbeitenden

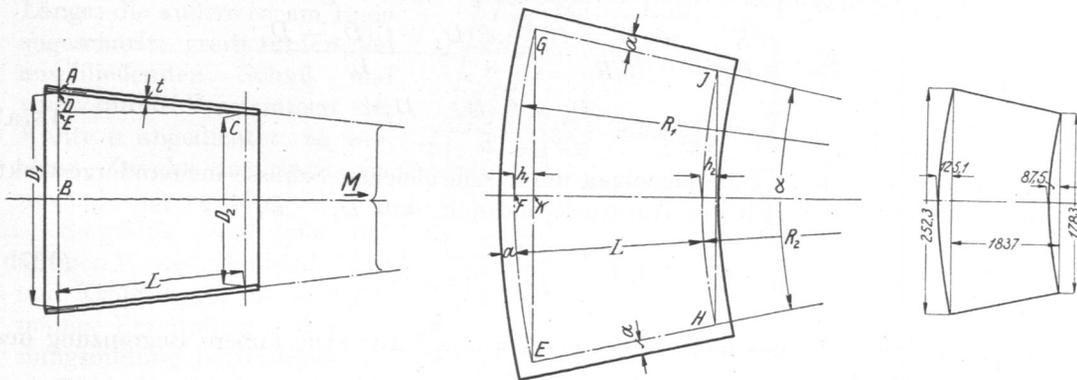


Abb. 496. Ermittlung der Maße und Einschreiben der Maßzahlen an kegeligen Schüssen.

Blechen zusammenrollen lassen. Eine gerade Schußzahl verlangt dagegen, daß mindestens einer der Schüsse kegelförmig gestaltet wird, Abb. 467. In der Abwicklung erhält dieser zwei kreisbogenförmige und zwei schräg zueinanderstehende, aber gerade Begrenzungslinien, Abb. 496, ist also umständlicher anzureißen und schwieriger auszuarbeiten. Die Darstellung verdeutlicht auch die Art der Maßangabe an solchen Schüssen. Die Abwicklungsmaße werden wie folgt gefunden. Bezeichnen

D_1 und D_2 die lichten Durchmesser des Kesselschusses in den Quernähten,
 t die Blechstärke,

L die Länge des Schusses zwischen den Nietnähten

α den Zentriwinkel der abgewickelten Fläche,

h_1 und h_2 die Pfeilhöhen der Bögen,

R_1 und R_2 die Halbmesser der Nietlochkreise in der Abwicklung,

so sind die mittleren Umfänge des Schusses, längs der Quernähte gemessen, $\pi \cdot (D_1 + t)$

und $\pi \cdot (D_2 + t)$ gleich den Bogenlängen \widehat{EFG} und \widehat{HJ} . Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke MAB und CDE folgt, da MA gleich dem Halbmesser R_1 in der Abwicklung ist,

$$\frac{CD}{ED} = \frac{MA}{AB} \quad \text{oder} \quad \frac{L}{\frac{D_1 - D_2}{2}} = \frac{R_1}{\frac{D_1 + t}{2}};$$

$$R_1 = L \cdot \frac{D_1 + t}{D_1 - D_2}, \quad (136)$$

und $R_2 = R_1 - L$.

Bei schwach kegeligen Schüssen werden die Halbmesser R_1 und R_2 sehr groß. Dann empfiehlt es sich, das Blech unter Benutzung der Pfeilhöhen h_1 und h_2 mit einer durchgebogenen Latte anzureißen. Zur genauen Bestimmung der Pfeilhöhen führt folgender Weg: Man berechnet zunächst R_1 nach (136), dann den Zentriwinkel α aus

$$\frac{\alpha}{360^\circ} = \frac{\widehat{EFG}}{2\pi R_1} = \frac{\pi(D_1 + t)}{2\pi R_1} = \frac{D_1 + t}{2R_1}$$

und findet

$$h_1 = \overline{FK} = R_1 \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right). \quad (137)$$

Für die meisten Fälle genügt eine Näherungsformel, die selbst bei einer Neigung der Erzeugenden des Kegels gegenüber der Achse von 15° nur 2% Fehler gibt. Es ist

$$\overline{GK}^2 = h_1 (2R_1 - h_1) = 2R_1 h_1 - h_1^2.$$

Wenn nun die halbe Sehnenlänge \overline{GK} durch die Bogenlänge $\widehat{FG} = \frac{\pi}{2}(D_1 + t)$ ersetzt und der Wert h_1^2 gegenüber $2R_1 h_1$ vernachlässigt wird, so geht die Gleichung über in

$$h_1 = \frac{\overline{GK}^2}{2R_1} = \frac{\pi^2 (D_1 + t)^2}{8R_1} = \frac{\pi^2 (D_1 + t)(D_1 - D_2)}{8L},$$

$$h_1 = 1,233 \frac{(D_1 + t)(D_1 - D_2)}{L}. \quad (137a)$$

Sollen an einem Kessel die einzelnen unter sich gleichen Schüsse ineinandergesteckt werden, so vereinfacht sich der Ausdruck dadurch, daß $D_1 - D_2 = 2t$ ist, zu

$$h_1 = 2,467 \frac{(D_1 + t) \cdot t}{L}, \quad (137b)$$

während die Pfeilhöhe des kleinen Bogens $h_2 = h_1 \frac{R_2}{R_1}$ ist. Die äußere Begrenzung des Kesselbleches ergibt sich durch Auftragen des Abstandes a der Nietnähte von den Kanten an allen Seiten.

Beim Zusammentreffen von Längs- und Quernähten entstehen Blechstöße. Je nach der Zahl der dabei beteiligten Bleche unterscheidet man Drei- und Vierplattenstöße, Abb. 497 und 498, von denen man freilich die letzteren der schwierigeren Ausführung und der größeren Werkstoffansammlung wegen gern dadurch vermeidet, daß man die Längsnähte unter Ausführung von zwei Dreiplattenstößen gegeneinander versetzt, Abb. 467.

Bei diesen muß das mittlere Blech zur Vermeidung einer Lücke in Form einer Zunge zugeschärft werden, über die man den anschließenden Schuß schiebt, Abb. 499. Das

Zuschärfen kann nach Abb. 500 durch Ausschmieden der Blechecke geschehen, wobei die Zunge nach Form und Maßen so zu wählen ist, daß sie sich aus dem rechtwinklig zugeschnittenen Blech ausziehen läßt. Die von Anfängern häufig gezeichnete Gestalt, Abb. 502, ist falsch, weil sie den strichpunktiert gezeichneten, schwierig herzustellenden und daher teuren Ansatz an der Blechtafel voraussetzt! In Flußstahl entstehen jedoch durch die örtliche Erwärmung und das Ausschmieden der Blechecke leicht Spannungen, die durch nachträgliches, sorgfältiges Ausglühen zu beseitigen sind, die sich aber vermeiden lassen, wenn man die Zunge nach Abb. 501 durch Abhobeln herstellt, eine Ausführung, die in neuerer Zeit mehr und mehr angewendet wird.

Beim Vierplattenstoß, Abb. 498, schärft man die beiden mittleren Platten zu; seltener findet man die Ausführung mit stumpfem Schluß, Abb. 503. Schwierige Stöße, z. B. den an der Bördelung des Dampf-

domes liegenden, Abb. 504, kann man durch überlappte Schweißung auf der Strecke *ab* umgehen; manchmal schweißt man auch zylindrische Schüsse an den Stoßstellen, wie bei *c* in der gleichen Abbildung angedeutet ist. Die Ausbildung des Stoßes einer

Doppellaschenietung zeigt Abb. 505. Die innere Lasche deckt die Fuge in ihrer ganzen Länge; die äußere ist am Ende zugeschärft, greift unter den anschließenden Schuß und wird durch Verstemmen der Kante *a* abgedichtet, zu welchem Zwecke der Spalt genügend weit zu halten ist.

Sorgfältig sind alle unnötigen Werkstoffanhäufungen und Kröpfungen, die unregelmäßige Erwärmung und Spannungsbildung begünstigen, zu vermeiden. In einer zylindrischen, durchweg gleich starken Wandung, die außen und innen einem bestimmten Temperaturunterschied ausgesetzt

ist, in der also ein überall gleiches Wärmegefälle herrscht, entstehen Druckspannungen auf der Seite der höheren Temperatur, Zugspannungen auf der andern. Da dieselben sich aber ringsum gleichmäßig ausbilden und im Gleichgewicht halten, üben sie bei den gewöhnlichen Wärmegraden keine schädlichen Wirkungen aus und sind unbedenklich. Beträchtliche Störungen und Unregelmäßigkeiten treten aber

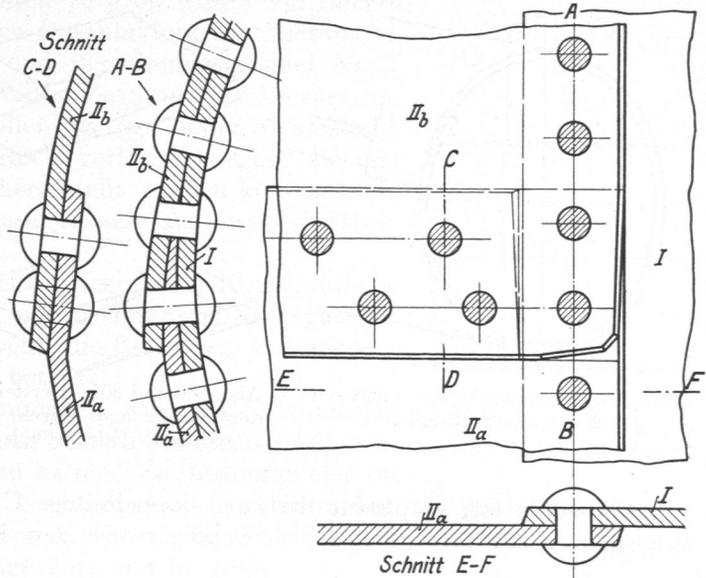


Abb. 497. Dreiplattenstoß.

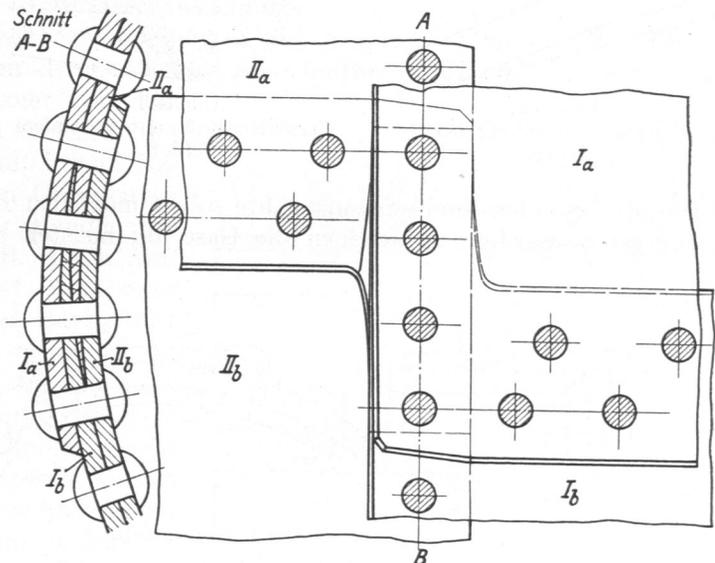


Abb. 498. Vierplattenstoß.

an allen Überlappungen und Stoßstellen auf. Die den Feuergasen ausgesetzten Blechkanten werden stärker erhitzt, suchen sich auszudehnen und kommen unter zusätzliche Druckspannungen, Abb. 506, weil die weiter abliegenden Schichten, in denen Zugspannungen entstehen, sie an der Ausdehnung hindern; Spannungen, die im Verein mit den vorerwähnten und den Betriebsspannungen schließlich zu Rissen und Brüchen in den Nietnähten führen können. Zu ihnen tritt noch ein stärkerer Angriff der hoch erhitzten Blechstellen durch die Feuergase, eine Erscheinung, die sich u. a. in der bekannten geringen Haltbarkeit aufgesetzter Flicker an Kesseln und an dem Abbrennen der Stemmkannten und Nietköpfe äußert. Da die Wirkungen um so stärker sind, je breiter die Über-

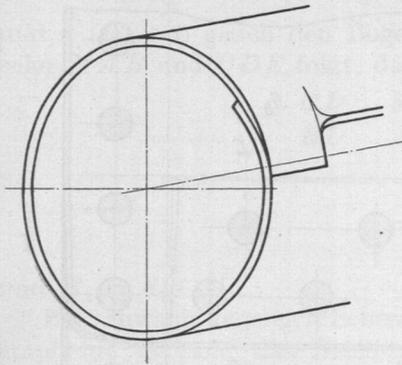


Abb. 499. Zuschärfung des mittleren Blechs an der Stoßstelle.

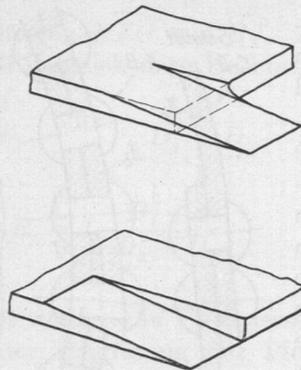


Abb. 500 und 501. Herstellung der Blechzunge durch Ausschmieden oder Abholen.

lappungsstellen ist, empfiehlt Sulzer, doppelreihige Überlappungsnetungen in solchen Quernähten zu vermeiden, die notwendigerweise dem Feuer ausgesetzt werden müssen.

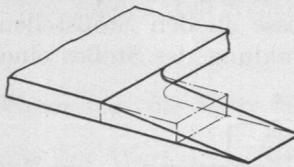


Abb. 502. Falsche Ausbildung der Zunge.

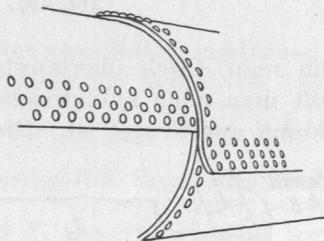


Abb. 503. Vierplattenstoß mit stumpfem Schluß.

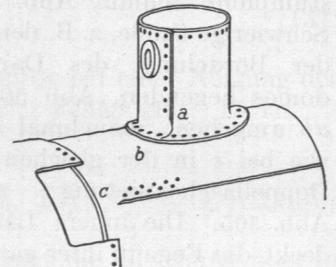


Abb. 504. Dampfessel mit Schweißstellen bei a—b und c.

Die oft besonders breiten Längsnähte sollen möglichst dem Feuer entzogen und in den Zug gelegt werden, in welchem die Gase am meisten abgekühlt sind. Schweißstellen

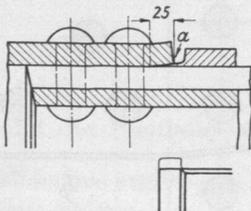


Abb. 505. Stoß an einer Doppellaschennietung.

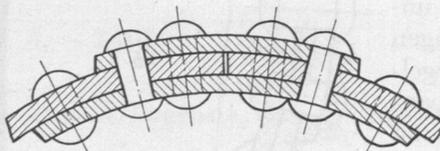


Abb. 506. Zusatzspannungen in der Überlappung.

von gleicher Stärke, wie das volle Blech, sind wegen des Fehlens der Wärmestauungen in der erwähnten Beziehung Nietnähten überlegen.

Für die Anordnung der Niete gibt die auf Grund der Rechnung ermittelte Teilung den ersten Anhalt. Praktisch wird man von derselben wegen der Abmessungen der Schüsse häufig mehr oder weniger abweichen müssen — nach oben freilich nur, so weit es der Gleitwiderstand der Niete zuläßt —, wird aber im übrigen möglichst gleichmäßige

Nietverteilung anstreben. Unregelmäßige Anordnung und größere Abweichungen von der normalen Teilung sind oft an den Stößen notwendig, wo besonders darauf zu achten ist, daß sich die Köpfe trotz der vorspringenden Blechkanten gut schlagen und verstemmen lassen, während aber andererseits sorgfältig zu vermeiden ist, daß die Nietentfernung längs der Stemmkannten zu groß wird. Vgl. hierzu die Berechnung und konstruktive Durchbildung der Nietung an dem Dom, Abb. 529, Abb. 532 und Berechnungsbeispiel Nr. 3.

Nietlöcher, welche im ungerollten Zustande des Bleches angerissen und gebohrt werden sollen, werden in der Abwicklung, Abb. 530, so, wie es das Anreißen verlangt, solche, die erst nach dem Biegen oder Bördeln hergestellt werden können, z. B. die Anschlußniete des Domes am Kessel, am fertigen Stück, Abb. 529, angegeben.

Daß man an ein und demselben Kessel oder Konstruktions- teil der einfacheren Herstellung wegen durchweg Niete gleichen Durchmessers benutzt, selbst wenn die Rechnung verschiedene Maße liefert, sei hier nochmals betont.

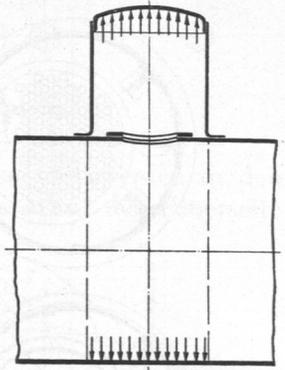


Abb. 507. Belastung der Kesselwandung durch den Druck auf den Domboden.

Ausschnitte in den Kesselwandungen, wie sie als Mannlöcher und wegen Anschlüssen von Dömen oder Rohrstützen nötig werden, sind so klein wie möglich zu halten. Sie bedingen eine oft beträchtliche Schwächung des Kesselmantels in mehrfacher Hinsicht. Infolge der durch die Löcher hervorgerufenen Kerbwirkung (vgl. Seite 148) tritt eine Erhöhung der Spannungen am Lochumfang ein; erst in größerer Entfernung vom Loche nähert sich die Beanspruchung der nach Formel (56) berechneten mittleren.

Ferner sucht der im Fall der Abb. 507 oft recht bedeutende Druck auf dem Domboden und auf dem dem Boden gegenüberliegenden Stück der Wandung den Kessel unter Verzerrung des kreisförmigen Querschnitts

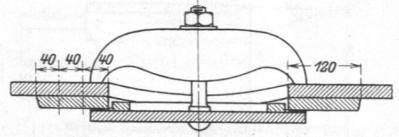


Abb. 508. Mannlochverschluß.

durchzuspannen, ruft also Nebenbeanspruchungen auf Biegung hervor [VI,14]. Diese Inanspruchnahme ist nicht von der Größe des Ausschnittes im Mantel, sondern vom

Durchmesser des Domes, genauer von dem Durchmesser abhängig, bis zu welchem der Dampfdruck zwischen Kesselmantel und Domflansch vordringt. Aus all den Gründen ist eine wirksame Verstärkung der Ränder größerer Ausschnitte geboten, z. B. durch Aufnieten eines Ringes nach Abb. 507. Mindestens muß der Schuß im ungünstigen Querschnitt auf die volle Kraft, welcher er ausgesetzt ist, berechnet, die volle Sicherheit aufweisen, die für die Kesselart und Ausführungsweise vorgeschrieben ist. Längliche Ausschnitte, wie die Mannlöcher zum Befahren des Kessels, werden zweckmäßig mit ihrer Längsachse quer zu der des Kessels angeordnet, weil dieser dann in dem stärker beanspruchten Längsschnitt weniger geschwächt wird. Normale Abmessungen eines Mannlochausschnittes mit gepreßten oder ebenen Verschlußdeckeln, des besseren

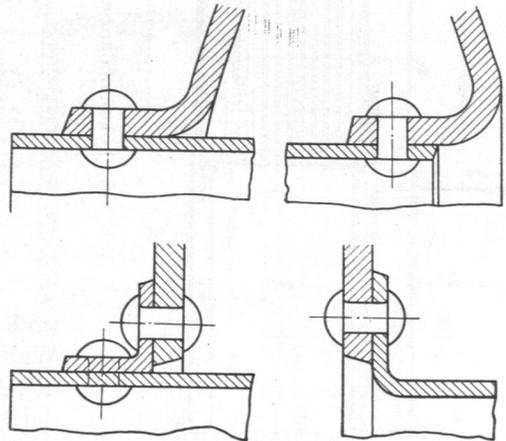


Abb. 509 bis 512. Nietverbindungen an Flammrohren und Kesselböden.

Dichthaltens wegen von innen her angelegt, zeigen die Abb. 529 und 508. Die geringste zulässige Lichtweite ist 280·380 mm, die normale 300·400 mm.

Übliche Verbindungen der Kesselböden mit Längswänden und Flammrohren zeigen die Abb. 509 bis 512, die Flammrohrkesseln mit gepreßten Böden nach Abb. 478 bis 481 ent-

nommen sind. An ihnen pflegt der eine Boden, gewöhnlich der hintere, mit Einhalsungen, der andere dagegen mit Aushalsungen zur Befestigung der Flammrohre nach Abb. 527, 510 und 509 versehen zu werden, um das Schließen der Niete und den Einbau des Feuereschränkkes zu erleichtern. Allerdings hat die Aushalsung den Nachteil, daß sich der keilförmige Zwischenraum gern mit Kesselstein zusetzt, der die Wärmeleitung verschlechtert, die stärkere Erhitzung des Rohres und dadurch das Undichtwerden der Nietnaht begünstigt, wenn die Stelle dem Feuer ausgesetzt ist. Verbindungen mit ebenen Böden, wie sie sich beispielweise an Lokomobilkesseln mit aus-

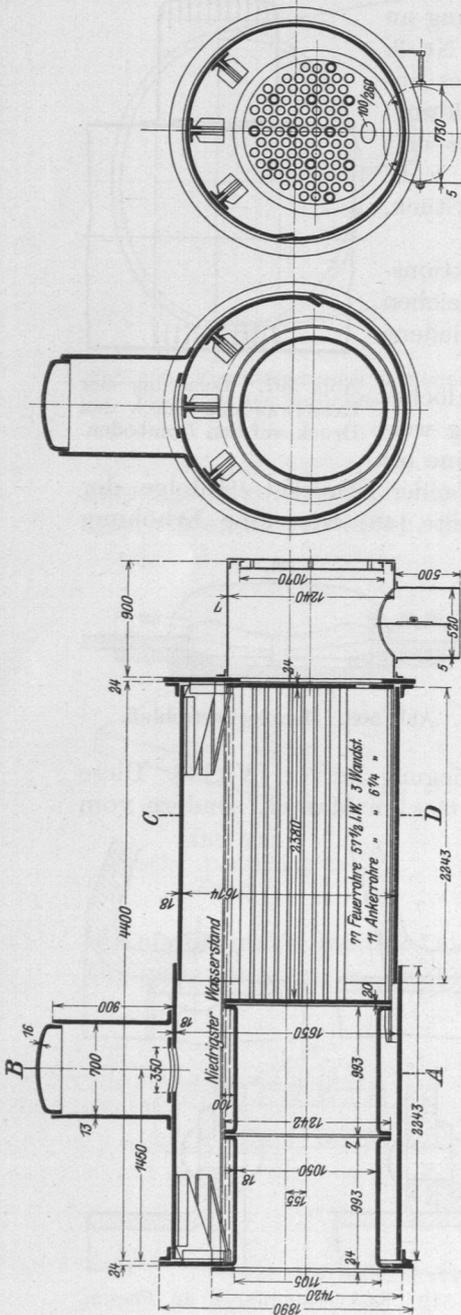


Abb. 513. Lokomobilkessel mit ausziehbarem Flammrohr und Rohrbündel. M. \approx 1 : 60.

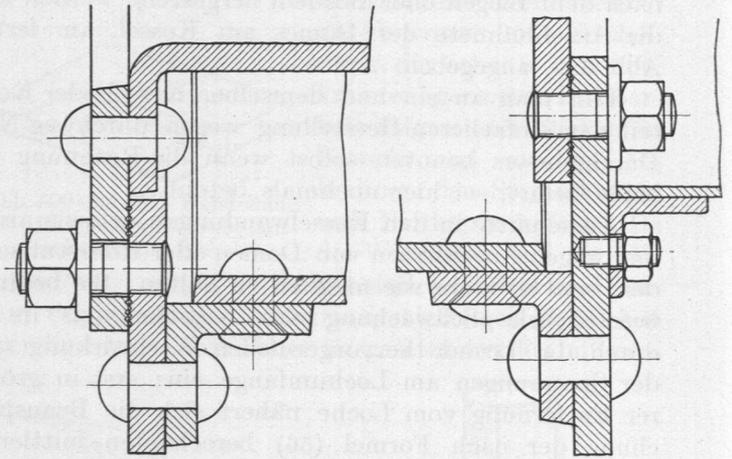


Abb. 514 und 515. Nietverbindungen und Verschraubungen an dem ausziehbaren Flammrohr und Rohrbündel des Kessels, Abb. 513.

zieharen Röhrenbündeln, Abb. 513, unter Benutzung von gewalzten oder geschweißten Winkelringen

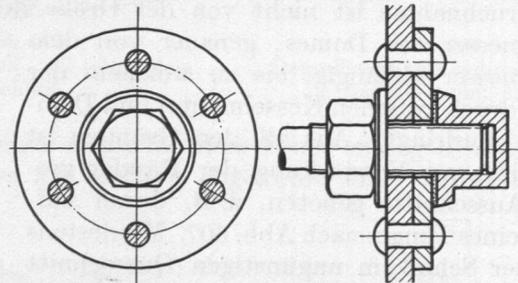


Abb. 516. Anker.

die zuletzt geschlossen werden sollen. Zu verstemmende Kanten müssen etwas zurücktreten und zugänglich gehalten werden.

Größere ebene Wände werden durch Anker, Ankerrohre, Stehbolzen, aufgenietete Träger oder Eckbleche versteift. Abb. 516 zeigt einen Anker mit einer geschlossenen Mutter unter gleichzeitiger Verstärkung der Angriffstelle durch eine aufgenietete Platte. Ankerrohre, Abb. 517, werden an Rauch- und Wasserrohrkesseln zwischen den Siede-

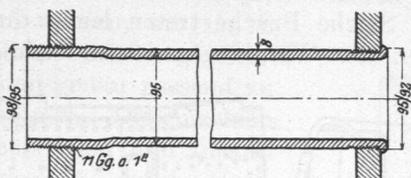


Abb. 517. Ankerrohr.

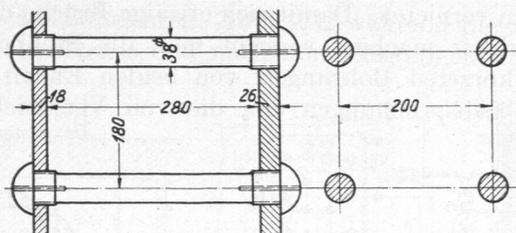


Abb. 518. Stehbolzen.

rohren, Abb. 513, verteilt angeordnet, haben größere Wandstärke und werden in den Böden oder Wandungen eingeschraubt, aufgewalzt und mindestens auf der Feuerseite

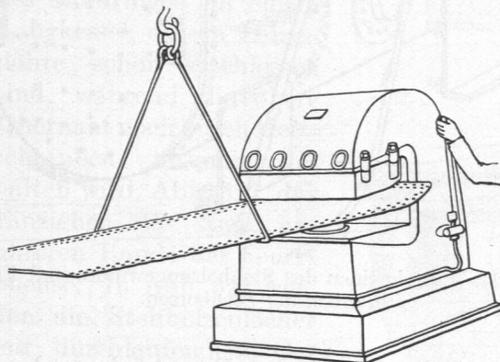


Abb. 519. Anbiegen der Kesselschüsse.

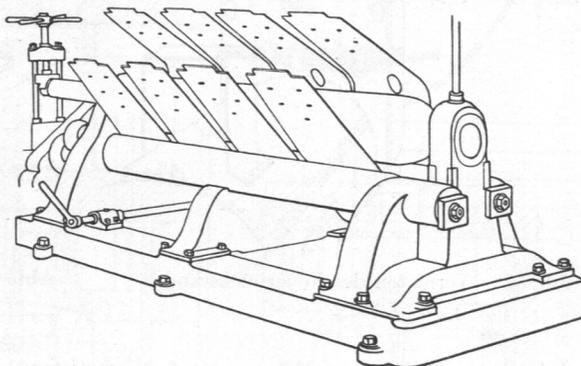


Abb. 520. Biegen der Stehkesselbleche.

umgebördelt. Stehbolzen, Abb. 518, dienen zur Versteifung naher Wände und tragen an beiden Enden Gewinde, das durchlaufen muß, um Zwängungen beim Einziehen,

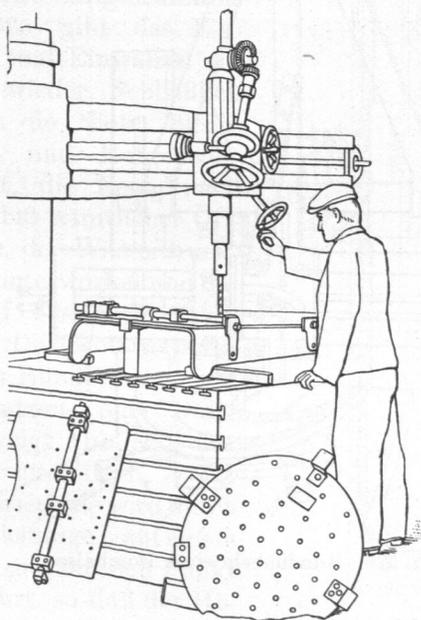


Abb. 521. Bohren einer Feuerbüchswand unter Benutzung von Bohrlehren.

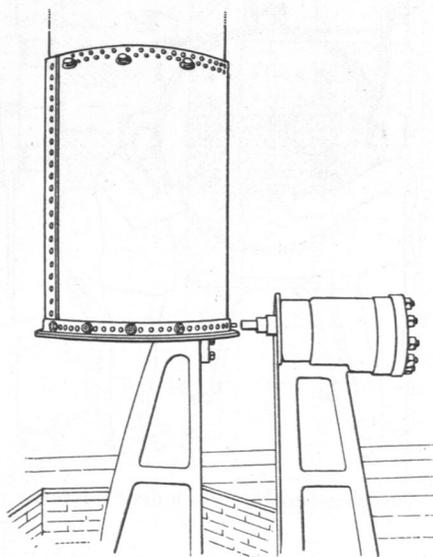


Abb. 522. Annieten des Bordringes am Langkessel.

das mittels eines an den Bolzen sitzenden Vierkants erfolgt, zu vermeiden. Nach Entfernung der Schraubengänge und des Vierkants an den vorstehenden Enden werden die

Bolzen vernietet. Damit sich etwaige Brüche durch Ausströmen von Wasser oder Dampf bemerkbar machen, versieht man die Stehbolzen mit einer durchlaufenden oder mit zwei kürzeren Bohrungen von beiden Enden her. Solche Brüche treten leicht durch Biegebeanspruchungen ein, die von Verschiebungen der Wände gegeneinander meist

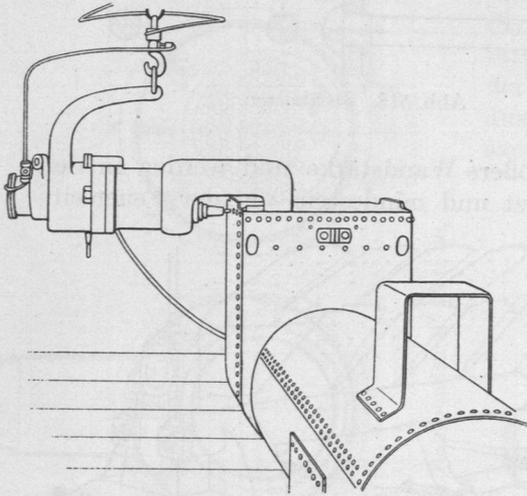


Abb. 523. Vernieten des Feuerbüchsrandes.

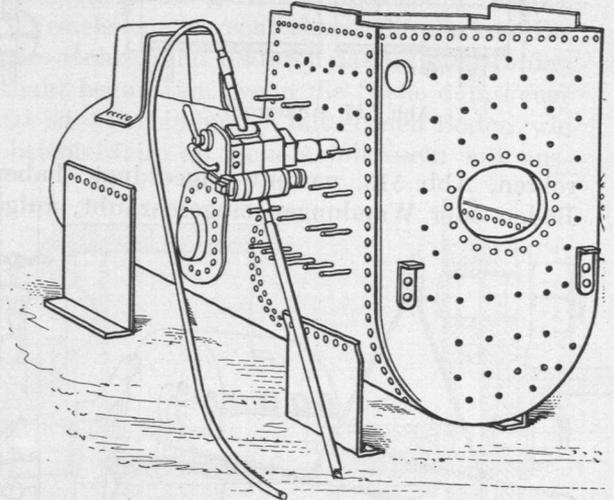


Abb. 524. Einschneiden des Stehbolzengewindes und Einschrauben der Stehbolzen.

infolge verschiedener Wärmegrade herrühren, ein Fall, der an den Feuerbüchsen der Lokomotiven und Lokomobilen häufig vorkommt.

Einige wichtige Stufen der Herstellung von Kesseln sind in den Abb. 519 bis 526 nach Aufnahmen der Maschinenfabrik H. Lanz, Mannheim u. a.

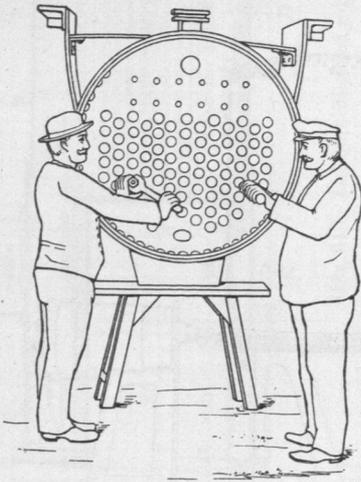


Abb. 525. Einziehen und Einwalzen der Siederohre.

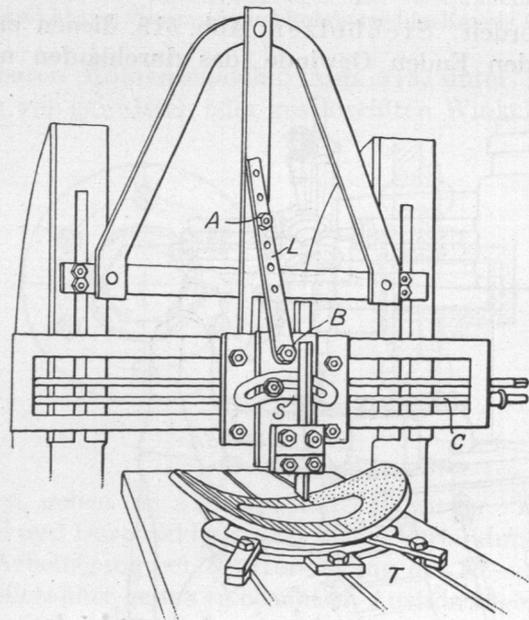


Abb. 526. Rundhobeln eines Domhalses.

wiedergegeben. Die für den Kesselmantel bestimmten Bleche werden in ungerolltem Zustande angerissen, an den Längskanten gehobelt und zu mehreren gleichzeitig gebohrt. Vollrunde Kesselschüsse biegt man dann an den Enden an, Abb. 519, und bringt sie ähnlich wie die Stehkesselbleche, Abb. 520, auf der Biegemaschine allmählich in die endgültige Form. Das Bohren der gepreßten Böden und äußeren Feuer-

8. Berechnungsbeispiele.

1. Nachrechnung des Zweiflammrohrkessels, Abb. 527, von J. Piedboeuf, Aachen. $D = 2200$ mm Durchmesser, $p = 10$ at Überdruck. Wandstärke der Schüsse $t = 17,5$, der Böden $t_1 = 21$ mm. Nietdurchmesser $d = 22$ mm. (Unnormal, da der Kessel vor der Dinormung ausgeführt wurde.) Maschinennietung.

a) Längsnähte. Dreireihige Doppellasschennietung mit einschnittigen Nieten in der äußersten Reihe, Abb. 528. Feldbreite $e = 287,2$ mm mit je $n_2 = 7$ zweischnittigen und $n_1 = 2$ einschnittigen Nieten. Kraft in einem Felde (110):

$$P_e = \frac{D \cdot p \cdot e}{2} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 28,72}{2} \approx 31600 \text{ kg.}$$

Belastung der Niete auf Gleitwiderstand:

$$k_n = \frac{P_e}{(n_1 + 2 \cdot n_2) \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{31600}{(2 + 2 \cdot 7) \cdot 3,80} = 520 \text{ kg/cm}^2. \quad (\text{Zulässig } 700, \text{ nach Bach } 550 \text{ kg/cm}^2.)$$

Beanspruchung des Bleches in der äußersten einschnittigen Nietreihe, unter Abzug des in den Bestimmungen vorgeschriebenen Zuschlages von 0,1 cm, auf P_e kg berechnet:

$$\sigma_z = \frac{P_e}{(e - 2d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{31600}{(28,72 - 2 \cdot 2,2) \cdot (1,75 - 0,1)} = 788 \text{ kg/cm}^2.$$

(Bei einer Festigkeit des Bleches von $K_z = 3600$ kg/cm² und $\mathcal{S} = 4$ facher Sicherheit wäre $k_z = \frac{K_z}{\mathcal{S}} = 900$ kg/cm² Spannung zulässig.) Beanspruchung in der zweiten Nietreihe, unter Abzug der von den zwei einschnittigen Nieten der äußersten Reihe aufgenommenen Kraft auf

$$P' = \frac{31600 \cdot 14}{16} = 27650 \text{ kg berechnet:}$$

$$\sigma'_z = \frac{P'}{(e - 3d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{27650}{(28,72 - 3 \cdot 2,2) \cdot (1,75 - 0,1)} = 758 \text{ kg/cm}^2,$$

in der inneren Nietreihe mit

$$P'' = \frac{31600 \cdot 8}{16} = 15800 \text{ kg Belastung:}$$

$$\sigma''_z = \frac{P''}{(e - 4d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{15800}{(28,72 - 4 \cdot 2,2) \cdot (1,75 - 0,1)} = 481 \text{ kg/cm}^2.$$

Beanspruchung des Kesselschusses an der Ansatzstelle des Domes. Der Schuß von $L = 2006$ mm Länge ist durch den Mannlochausschnitt in einer Breite von $b = 325$ mm und 4 Nietlöcher von je $d = 22$ mm Durchmesser geschwächt.

$$\sigma_z = \frac{D \cdot p \cdot L}{2(L - b - 4d) \cdot (t - 0,1)} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 200,6}{2(200,6 - 32,5 - 4 \cdot 2,2)(1,75 - 0,1)} = 840 \text{ kg/cm}^2.$$

Der Schuß ist durch Aufnieten eines ovalen Ringes verstärkt.

b) Quernähte. Zweireihige Überlappungsnietung; $e' = 81$ mm mit je zwei einschnittigen Nieten von $d = 22$ mm Durchmesser. Belastung der Niete:

$$P'_e = \frac{D \cdot p \cdot e'}{4} = \frac{220 \cdot 10 \cdot 8,1}{4} = 4455 \text{ kg.}$$

Beanspruchung auf Gleiten:

$$k_n = \frac{P'_e}{2 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{4455}{2 \cdot 3,80} = 586 \text{ kg/cm}^2.$$

Zugbeanspruchung im Bleche:

$$\sigma'_z = \frac{P'_e}{(e-d) \cdot (t-0,1)} = \frac{4455}{(8,1-2,2)(1,75-0,1)} = 458 \text{ kg/cm}^2.$$

c) Beanspruchung der gewölbten Böden, als Kugelwandung mit $R = 3000$ mm Halbmesser berechnet (123):

$$\sigma_z = \frac{p \cdot R}{2 \cdot t_1} = \frac{10 \cdot 300}{2 \cdot 2,1} = 715 \text{ kg/cm}^2. \quad (\text{Zulässig } 750 \text{ kg/cm}^2).$$

d) Wellrohr. Rechnungsmäßig beträgt die Wandstärke nach Formel (135)

$$t = \frac{p \cdot d_i}{1200} + 0,2 = \frac{10 \cdot 85}{1200} + 0,2 = 0,91 \text{ cm},$$

die bei eingebauten Feuerrosten um 0,1 cm Zuschlag auf $t = 1,01$ cm erhöht werden müßte. Ausgeführt ist das Flammrohr mit 11 mm Stärke.

2. Berechnung und konstruktive Durchbildung der Vernietung des Dampfdomes, Abb. 529.

$D = 700$ mm Durchmesser, Betriebsdruck $p = 12$ at Überdruck; Höhe des Dommantels 700 mm über Kesseloberkante. Die Festigkeit des verwandten Bleches sei $K_z = 3600$ kg/cm². Maschinennietung.

Nach (111)

$$P_{1 \text{ cm}} = \frac{D \cdot p}{2} = \frac{70 \cdot 12}{2} = 420 \text{ kg}$$

erscheint gemäß Zusammenstellung 76 einreihige Überlappungsnietung ausreichend und zweckmäßig. Mit $\mathcal{S} = 4,5$ facher Sicherheit wird

$$k_z = \frac{K_z}{\mathcal{S}} = \frac{3600}{4,5} = 800 \text{ kg/cm}^2,$$

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + 0,1$$

$$= \frac{70 \cdot 12}{2 \cdot 0,58 \cdot 800} + 0,1 = 1,05 \text{ cm}.$$

Gewählt in Rücksicht auf die Krempe am unteren Rande des Dommantels: $t = 12$ mm.

Nietdurchmesser nach Abb. 469

$$d = 20 \text{ mm}.$$

Teilung $e = 2d + 0,8 = 2 \cdot 2 + 0,8 = 4,8$ cm (113).

$$P_e = \frac{D p \cdot e}{2} = \frac{70 \cdot 12 \cdot 4,8}{2} = 2016 \text{ kg}.$$

Beanspruchung der Niete

$$k_n = \frac{P_e}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2016}{3,14} = 642 \text{ kg/cm}^2.$$

Beanspruchung des Bleches in der Nietnaht (116):

$$\sigma_z = \frac{P_e}{(t-0,1)(e-d)} = \frac{2016}{(1,2-0,1)(4,8-2)} = 655 \text{ kg/cm}^2.$$

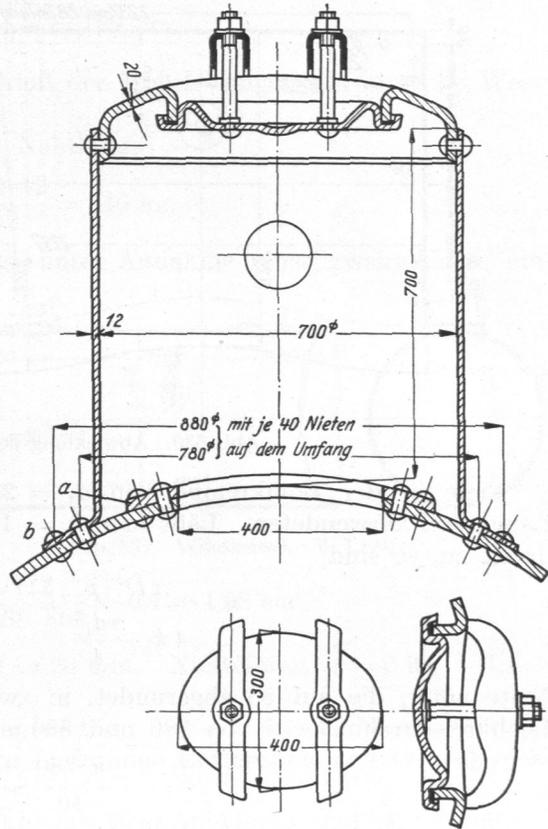


Abb. 529. Dampfdom. M. 1 : 15.

Die Nietteilung am Domboden könnte in Rücksicht auf die Festigkeit doppelt so groß wie in der Längsnaht sein, also $e = 9,6$ cm betragen. Der gleiche Wert ergibt sich auch auf Grund des Verstemmens, indem $8 \cdot t = 8 \cdot 1,2 = 9,6$ cm ist. Aus dem mittleren Umfang U des Mantelblechs würde damit die Zahl der Teilungen

$$\frac{U}{e} = \frac{\pi(D+t)}{e} = \frac{\pi(70+1,2)}{9,6} = 23,3.$$

Gewählt in Rücksicht auf bessere Abdichtung 28 Teilungen zu je 7,99 cm.

In der Längsnaht, die wegen der in der Längsebene des Kessels liegenden Stützen für die Dampfleitung und die Sicherheitsventile in der Querebene angeordnet wurde, bleiben, wenn das untere Ende nach Abb. 504 auf der Strecke $a-b$ der Bördelung wegen geschweißt wird, als Nahtlänge 672 mm oder 14 Teilungen zu je 48 mm übrig.

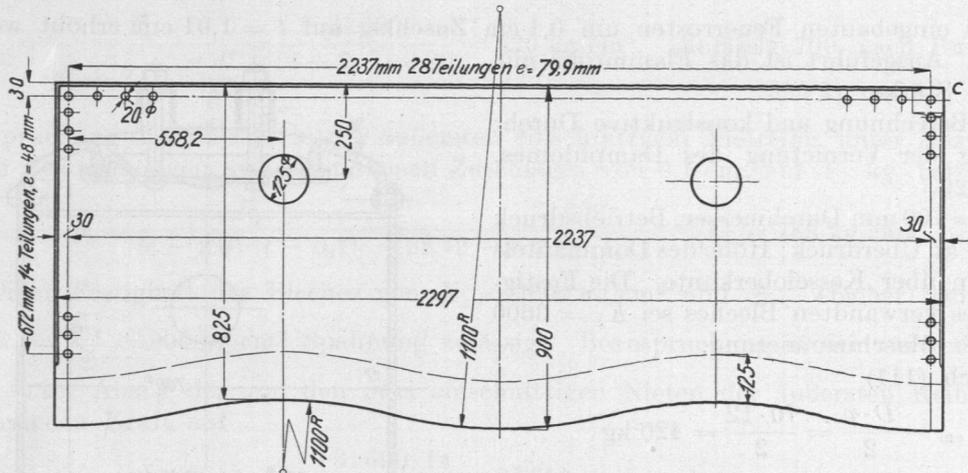


Abb. 530. Abwicklung des Dommantels M. 1 : 20.

Niete in der Domkrempe von $d_1 = 23$ mm Durchmesser, entsprechend den am Langkessel verwendeten. Läßt man $k_z = 150$ kg/cm² Zugspannung durch den Dampfdruck zu, so sind

$$n = \frac{\pi D^2 \cdot p}{4 k_z \cdot \frac{\pi d_1^2}{4}} = \frac{\pi \cdot 70^2}{4} \cdot \frac{12}{150 \cdot 4,15} = 74,2$$

Niete nötig, die auf 80 abgerundet, in zwei Reihen von je 40 Stück angeordnet, zu Lochkreisdurchmessern von 780 und 880 mm führen. Kleinster Nietabstand

$$\frac{\pi \cdot 780}{40} \sim 61 \text{ mm.}$$

Abb. 530 zeigt die Abwicklung des Dommantels mit den zum Anreißen der Nietlöcher nötigen Maßen. Auch am Stoß, der unter Zuschärfung des Bleches bei c gebildet ist, können die berechneten Teilungen in der Längs- und Quernaht ohne Schwierigkeit eingehalten werden. Die für die Anordnung der Niete am Domflansch nötigen Maße sind im Schnitt, Abb. 529, angegeben, weil die Löcher erst nach Herstellung der Bördelung angerissen und gebohrt werden können. Zum Anreißen derselben pflegt man dünne Blechlehren zu benutzen, die sich, über den Dom geschoben, der Krümmung des Flansches anschmiegen.

3. Ein liegender Windkessel von $V = 1,20$ m³ Inhalt ist unter Verwendung normaler gewölbter Böden für $p = 12$ at Betriebsdruck aus Blech von $K_z = 3600$ kg/cm² Festigkeit nach den für Dampfkessel geltenden Vorschriften zu entwerfen. Die Maultiefe der vorhandenen Nietmaschine beträgt 2000 mm. Die anzuschließenden Rohrleitungen haben 150 mm lichte Weite und 1200 mm Abstand voneinander.

Um die Rundnähte bequem schließen zu können, muß einer der Böden nach innen gewölbt sein, Abb. 531, da sonst ein Mannloch zum Befahren des Kessels wegen des Festhaltens der Setzköpfe beim Einziehen der Niete nötig wäre. Das Nieten müßte zudem von Hand erfolgen. In Rücksicht auf die vorhandene Nietmaschine darf der Abstand der linken Quernaht vom rechten Kesselschlußrand 2000 mm nicht überschreiten; andererseits wird man aber den Durchmesser des Schusses so klein wie möglich nehmen, um den Kessel leicht und billig zu machen, weil sowohl die Stärke der Wandung, wie die der Böden, mit dem Durchmesser zunimmt.

Bei $L_0 = 2000$ mm Schußlänge wäre der Mindestquerschnitt

$$F = \frac{V}{L} = \frac{1200000}{200} = 6000 \text{ cm}^2$$

und der entsprechende Durchmesser 874 mm: Gewählt $D = 900$ mm. $F = 6362 \text{ cm}^2$; lichte Länge des Kessels

$$L = \frac{V}{F} = \frac{1200000}{6362} = 189 \text{ cm.}$$

Ausgeführt $L = 1900$ mm, wobei der Anschluß der Rohrleitungen auf einfache Weise längs des Scheitels des Kessels möglich ist.

Längsnaht. Kraft auf ein Zentimeter Nahtlänge:

$$P_{1\text{cm}} = \frac{D \cdot p}{2} = \frac{90 \cdot 12}{2} = 540 \text{ kg.}$$

Nach Zusammenstellung 76, Seite 279, folgt unter Annahme einer zweireihigen, einschneittigen Überlappungsniertung ein Mittelwert für $\varphi = 0,69$ und bei $\mathfrak{S} = 4,5$ facher Sicherheit die zulässige Beanspruchung auf Zug in der Wandung

$$k_z = \frac{K_z}{\mathfrak{S}} = \frac{3600}{4,5} = 800 \text{ kg/cm}^2.$$

Blechstärke:

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + 0,1 = \frac{90 \cdot 12}{2 \cdot 0,69 \cdot 800} + 0,1 = 1,08 \text{ cm.}$$

Gewählt: $t = 11$ mm. Nietdurchmesser $d = 20$ mm. Nietteilung $e = 2,6d + 1,5 = 2,6 \cdot 2 + 1,5 = 6,7$ cm.

Quernaht. Eine einreihige Überlappungsniertung mit $e = 6,7$ cm Nietabstand genügt, da die Grenze der wegen Dichtigkeit zu fordernden Entfernung von $8t$ noch nicht erreicht ist.

Stärke des Kesselbodens bei $k = 650 \text{ kg/cm}^2$ Beanspruchung und $R = 1100$ mm Wölbungshalbmesser, Formel (123)

$$t_1 = \frac{p \cdot R}{2 k_z} = \frac{12 \cdot 110}{2 \cdot 650} = 1,04 \text{ cm.}$$

Gewählt $t_1 = 12$ mm. Die Nachrechnung des nach innen gewölbten Bodens auf Einbeulen liefert nach Formel (125)

$$k_0 = A - B \sqrt{\frac{R}{t_1}} = 2600 - 115 \sqrt{\frac{110}{1,2}} = 1498 \text{ kg/cm}^2,$$

während die Grenze für

$$k_0 = \frac{k}{0,4} = \frac{650}{0,4} = 1625 \text{ kg/cm}^2$$

wäre. Es ist mithin genügende Sicherheit gegen Einbeulen vorhanden.

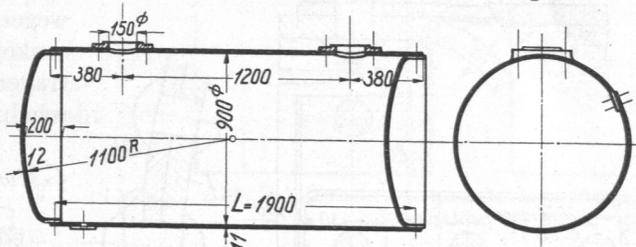


Abb. 531. Windkessel. M. 1 : 40.

Der Entwurf des Kessels führt bei $h = 70$ mm zylindrischer Krempehöhe des Bodens, $3d = 60$ mm Überlappung an den Quernähten und 1900 mm Abstand der Quernähte voneinander zu 1930 mm Entfernung der linken Quernaht vom rechten Kesselschlußrande, wofür die Nietmaschine ausreicht.

Teilung der Quernaht aus dem mittleren Umfange des Schusses. Zahl der Niete:

$$n = \frac{\pi(D+t)}{e} = \frac{\pi(90+1,1)}{6,7} = 42,7.$$

Gewählt 42 Niete in je

$$e = \frac{\pi(D+t)}{n} = \frac{\pi(90+1,1)}{42} = 6,81 \text{ cm}$$

Abstand.

Belastung der Niete auf Gleitwiderstand

$$k_n = \frac{D \cdot e \cdot p}{4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{90 \cdot 6,81 \cdot 12}{4 \cdot 3,14} = 585 \text{ kg/cm}^2. \text{ Zulässig.}$$

Beanspruchung des Bleches in der Nietnaht:

$$\sigma_z = \frac{D \cdot e \cdot p}{4(t-0,1) \cdot (e-d)} = \frac{90 \cdot 6,81 \cdot 12}{4(1,1-0,1) \cdot (6,81-2)} = 382 \text{ kg/cm}^2.$$

Nachrechnung der Längsnaht. An dem nach außen gewölbten Boden muß der Abstand des ersten Niets von der Quernaht wegen der Bildung des Kopfes 55, am andern wegen der Wölbung des Bodens trotz Versenkens des Nietkopfes sogar 60 mm betragen, Abb. 532. Damit wird die für die regelmäßige Teilung verfügbare Strecke

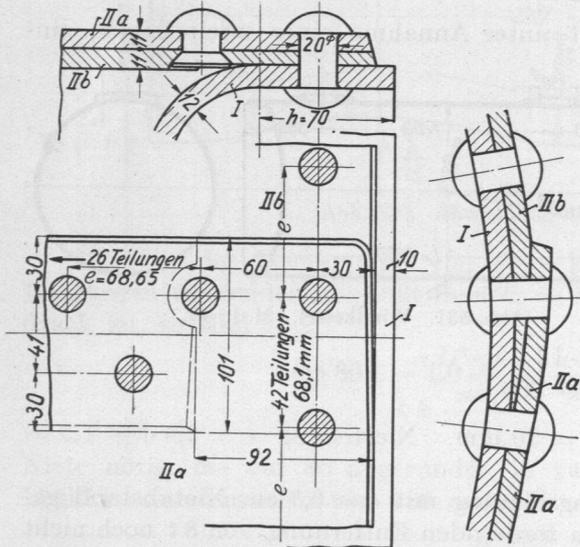


Abb. 532. Dreiplattenstoß am rechten Ende des Windkessels, Abb. 531, M. 1 : 4.

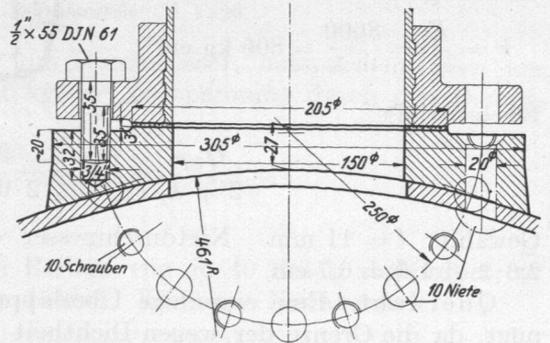


Abb. 533. Rohranschluß am Windkessel, Abb. 531, M. 1 : 10.

der Längsnaht $1900 - 55 - 60 = 1785$ mm, die, in 26 gleiche Teile eingeteilt, zu

$$e = \frac{1785}{26} = 68,65 \text{ mm}$$

führt. Beanspruchung der Niete auf Gleitwiderstand (120):

$$k_n = \frac{D \cdot p \cdot e}{4 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{90 \cdot 12 \cdot 6,865}{4 \cdot 3,14} = 590 \text{ kg/cm}^2. \text{ Zulässig.}$$

Zugbeanspruchung des Bleches in der Naht (116):

$$\sigma_z = \frac{D \cdot e \cdot p}{2(t-0,1)(e-d)} = \frac{90 \cdot 6,865 \cdot 12}{2(1,1-0,1) \cdot (6,865-2)} = 762 \text{ kg/cm}^2. \text{ Zulässig.}$$

Die Rohrflansche erhalten nach den Normen der Rohrleitungen für Dampf von hoher Spannung 1912 10 Stück $\frac{3}{4}$ " Schrauben auf einem Lochkreis von 250 mm Durchmesser, Abb. 533. Druck aus dem mittleren Packungsdurchmesser $D_m = 177,5$ mm berechnet:

$$P = \frac{\pi}{4} D_m^2 \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot 17,75^2 \cdot 12 = 2940 \text{ kg.}$$

Gewählt 10 Niete von $d = 20$ mm Durchmesser, zwischen den Schrauben angeordnet. Zugbeanspruchung:

$$\sigma_z = \frac{P}{10 \cdot \frac{\pi}{4} d^2} = \frac{2940}{10 \cdot 3,14} = 93,5 \text{ kg/cm}^2. \quad \text{Zulässig.}$$

C. Dichte Nietverbindungen.

Bei Gas- und Wasserbehältern für geringen Druck brauchen die Nietverbindungen keine größeren Kräfte zu übertragen, müssen dagegen die Bleche so stark aufeinanderpressen, daß die Fugen dauernd dicht bleiben.

1. Berechnung der Wandungen.

Behälter für Luft und Gase sind nach allen Richtungen gleichem Drucke ausgesetzt. In solchen für Flüssigkeiten nimmt der spezifische Druck p mit der Tiefe geradlinig zu. Ist das Raumgewicht γ kg/dm³, so beträgt p in der Tiefe von h Metern, Abb. 534,

$$p = \frac{\gamma \cdot h}{10} \text{ kg/cm}^2. \quad (138)$$

Für Wasser mit $\gamma = 1$ kg/dm³ vereinfacht sich der Ausdruck zu

$$p = \frac{h}{10} \text{ kg/cm}^2. \quad (138a)$$

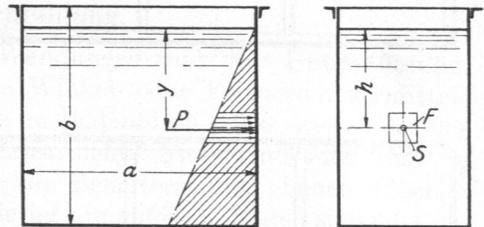


Abb. 534. Druckverteilung in einem Flüssigkeitsbehälter.

Der Druck P auf eine Fläche F in Quadratcentimetern wird

$$P = p \cdot F = \frac{\gamma \cdot h}{10} \cdot F \text{ kg,} \quad (139)$$

p und h sind im Schwerpunkte S der Fläche zu messen. Dagegen liegt der Angriffspunkt dieses Druckes in der Tiefe

$$y = \frac{J}{S}, \quad (140)$$

wenn J das Trägheits-, S das statische Moment der Fläche F in bezug auf die Schnittlinie ihrer Ebene mit dem Flüssigkeitsspiegel bedeutet. Bei tiefen Behältern können die Unterschiede im Druck verschiedene Wandstärken in den oberen und unteren Teilen zweckmäßig erscheinen lassen. Steht die Flüssigkeit in einem geschlossenen Behälter unter dem Druck p_1 kg/cm², so erhöht sich die spezifische Pressung an der Wand überall um p_1 .

In zylindrischen Behältern mit senkrechter Achse sind alle Teile des Umfanges in derselben Tiefe gleichmäßig auf Zug beansprucht; die Blechstärke t kann nach den für Kesselwandungen geltenden Formeln bestimmt werden. Bezeichnet

D den Durchmesser in cm,

p den größten spezifischen Druck, der auf das Blech wirkt, der also an der tiefsten Stelle des betreffenden Schusses zu bestimmen ist, in kg/cm²,

t die Wandstärke in cm,

φ die Schwächungszahl,

k_z die zulässige Beanspruchung auf Zug, in kg/cm²,

so ist:

$$t = \frac{D \cdot p}{2 \cdot \varphi \cdot k_z} + c \text{ cm.} \quad (115a)$$

k_z darf, wenn die Beanspruchung ruhend ist, bei weichem Flußstahlblech mit 900 kg/cm^2 eingesetzt werden. Der Zuschlag c pflegt wegen etwaiger äußerer Beschädigungen und wegen des Abrostens hoch, zu etwa $0,4 \text{ cm}$, genommen zu werden.

Der Boden wird zweckmäßig gewölbt, als Kugelabschnitt ausgeführt oder nach Intze durch einen Ring so unterstützt, daß die durch denselben getrennten Bodenflächen einander gleich sind, um die beim gewölbten Boden auftretenden wagrechten Kräfte zu vermeiden.

Bei rechteckigen, eben begrenzten Behältern müssen die Wände als ebene Platten nach den Formeln des Abschnitts 1, XIII, B, S. 62, berechnet werden. Ist a die Länge einer Platte oder eines Feldes, das am Rande frei aufliegend betrachtet werden darf, b die Breite desselben ($b < a$), so ergibt sich auf Grund des Formel (77) ihre Stärke zu

$$t = b \sqrt{\frac{\varphi_{12} \cdot P}{k_b}} + c \text{ cm.} \quad (141)$$

φ_{12} ist Abb. 72 zu entnehmen.

Im Falle vollkommener Einspannung am Rande dürfte die Stärke unter Beachtung der Bemerkung am Schluß des angeführten Abschnittes und des Verlaufs der Kurven für φ_{12} und φ_8 in Abb. 72 um etwa 15% verringert werden dürfen.

k_b darf für weichen Flußstahl zu 900 kg/cm^2 angenommen werden. Auch hier ist, insbesondere bei schwächeren Blechen, aus den oben angeführten Gründen ein Zuschlag c von einigen Millimetern zu geben. Größere Abmessungen der Wände verlangen Versteifungen durch aufgenietete Winkeleisen und Anker, welche die gegenüberliegenden Wände verbinden. Die Versteifungen berechnet man auf die volle Belastung unter Vernachlässigung der Widerstandsfähigkeit der Wand. Ist z. B. die Verteilung der Anker die in Abb. 535 angegebene, so darf man die ebene Wand als

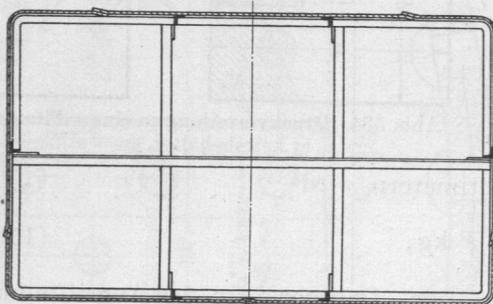
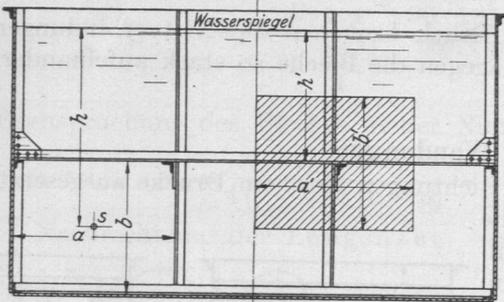


Abb. 535. Wasserbehälter mit ebenen Wänden.

rechteckige Platte von der Größe $a' \cdot b'$ betrachten und muß die Queranker auf die Belastung

$$P = \frac{a' \cdot b' \cdot h'}{10}$$

auf Zug berechnen. Auch der Boden wird durch aufgenietete Eisen versteift, falls nicht ein Trägerrost oder das Fundament das Bodenblech genügend unterstützen.

2. Wahl des Nietdurchmessers.

Wenn die Niete bis zu 11 mm Durchmesser um je 1 Millimeter , größere nach DIN 123 um je 3 Millimeter steigend angenommen werden, so können sie der Blechstärke entsprechend nach folgender Zusammenstellung gewählt werden (vgl. auch Abb. 469):

Zusammenstellung 78. Nietdurchmesser, Teilung, Randabstand und Winkeleisen für dichte Nietungen.

| | | | | | | | |
|------------------|----|----|----|-----|-----|------|-------|
| $t =$ | 2 | 3 | 4 | 5—6 | 6—8 | 8—12 | 11—15 |
| $d =$ | 8 | 9 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| $e =$ | 29 | 32 | 35 | 38 | 47 | 56 | 65 |
| $a =$ | 16 | 17 | 17 | 18 | 21 | 25 | 30 |
| Winkeleisen NP | 40 | | | 45 | 50 | 75 | 80 |
| | 5 | | | 7 | 9 | 12 | 12 |

Als Nietteilung der wegen der geringen, zu übertragenden Kräfte meist einreihig und überlappt ausgeführten Nietungen gibt Bach

$$e = 3d + 5 \text{ mm} \quad (142)$$

an, vgl. die in der vorstehenden Zusammenstellung aufgeführten Werte.

Niete, die nicht dicht zu halten brauchen, wie sie an Schornsteinen, Auspuffleitungen usw. vorkommen, können größere Teilungen bis zu $e = 5d$ erhalten.

Der Abstand a der Niete vom Blechrande wird bei dünnen Blechen mit dazwischengelegter Dichtung breit, bis zu $2d$, an zu verstemmenden Kanten schmaler, mit $1,5d$ ausgeführt. Als Dichtmittel kommen an Flüssigkeitsbehältern Leinwand-, Pappe- oder Papierstreifen, mit Öl oder Mennige getränkt, an Rohren und Gefäßen, die höheren Wärmegraden ausgesetzt sind, Asbeststreifen in Frage.

In der Zusammenstellung sind gleichzeitig die normalen Winkel-eisen, wie sie häufig an den Kanten der Behälter vorkommen, angegeben. Sie müssen genügenden Platz für den Nietkopf bieten, die Niete selbst aber so weit vom Schenkel abstehen, daß der Schellhammer aufgesetzt werden kann, Abb. 536. Zweckmäßigerweise beachtet man die im Eisenbau üblichen Wurzelmaße, Zusammenstellung 82, S. 313.

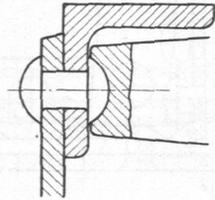


Abb. 536.
Anordnung der Niete an
einem Winkeleisen.

3. Konstruktive Durchbildung.

Anschlüsse gewölbter Böden an zylindrische Wandungen und ihre Unterstüzung, die durch aufgebogene und zum Ring geschweißte Winkel- oder Formeisen vermittelt werden, zeigen die Abb. 537 u. 538. Biegemomente im Bodenblech selbst, wie sie bei der Ausführung, Abb. 539, entstehen und auf Zug beanspruchte Niete sind möglichst zu vermeiden. Kanten- und Eckverbindungen an Behältern mit ebenen Flächen geben die Abb. 540 bis 542 wieder. Im ersten Bilde ist ein auf dem Boden sitzendes, in der Ecke scharf abgebogenes und verschweißtes Winkeleisen zu einer Zunge ausgezogen. Über diese greift das Winkeleisen, das die senkrechte Fuge deckt. Im zweiten Falle

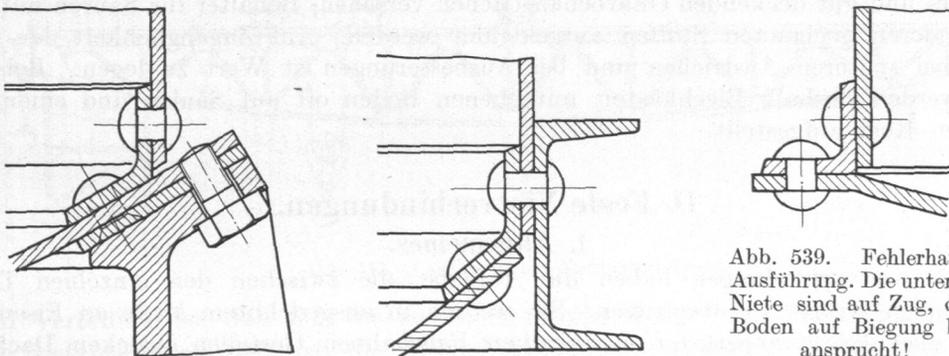


Abb. 537 und 538. Bodenanschlüsse.

Abb. 539. Fehlerhafte Ausführung. Die unteren Niete sind auf Zug, der Boden auf Biegung beansprucht!

liegt das senkrechte, am unteren Ende zugeschärfte Winkeleisen unter dem Bodenwinkel. Beide Ausführungen verlangen sorgfältige und schwierige Schmiedearbeit. Günstiger ist die Ausbildung nach Abb. 542, in der die Eckverbindung im Grundriß dargestellt ist. Die senkrechten, in der Abbildung geschnittenen Wände bestehen aus einem gebogenen Bleche, dessen Enden durch eine überlappte Naht verbunden sind, vgl. auch Abb. 535, an das der Boden mittels eines darum gelegten, gebogenen Winkeleisens angenietet wird. Die Herstellung ist im Falle der Abb. 542 namentlich dadurch erleichtert, daß der Boden durch die außenliegenden Niete zuletzt angeschlossen und von außen her verstemmt werden kann.

Treffen Bleche, wie in Abb. 540, senkrecht aufeinander, so ist ein genaues Aufpassen derselben unnötig, da die Dichtung doch nur durch Verstemmen der Winkeleisen erreicht werden kann. Man läßt in dem Falle das Blech zweckmäßigerweise etwas zurücktreten, gibt also Spielraum bei a , um geringe Ungenauigkeiten des Blechrandes ausgleichen zu können. Zu verstemmende Kanten sollten stets, wie in Abb. 541, wo das Blech, oder wie in Abb. 542, wo das Winkeleisen verstemmt wird, etwas zurücktreten. Stellen, an denen Rohrleitungen oder sonstige größere Konstruktionsteile anschließen, werden durch aufgenietete Platten nach Art der Abb. 533 verstärkt, die oberen Ränder aber durch ange Nietete Flach- oder Winkeleisen, Abb. 535, versteift.

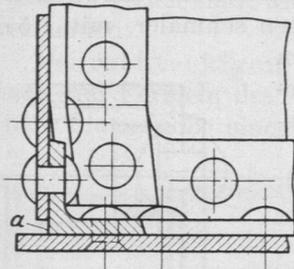


Abb. 540. Eckverbindung unter Verschweißung des Winkeleisens am Boden.

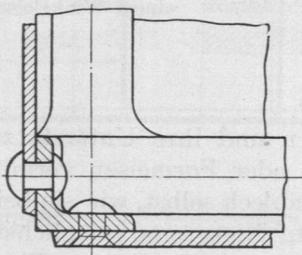
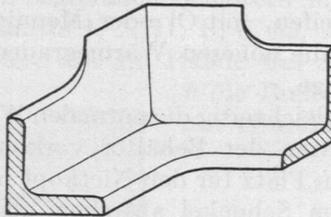


Abb. 541. Eckverbindung unter Ausziehen des senkrechten Winkeleisens.

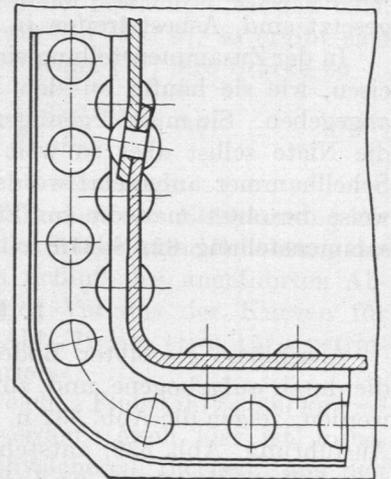


Abb. 542. Eckverbindung unter Abbiegen des Wandbleches.

Zum Schutz gegen Rosten müssen Wasserbehälter aus Eisen verzinkt oder mit Mennige- und gut deckenden Ölfarbenanstrichen versehen, Behälter für Säuren mit Blei oder anderen geeigneten Stoffen ausgekleidet werden. Auf Zugänglichkeit der Nietnähte bei späteren Anstrichen und bei Ausbesserungen ist Wert zu legen. Beispielsweise werden deshalb Blechkästen mit ebenen Böden oft auf Säulen und einem besonderen Rost aufgestellt.

D. Feste Nietverbindungen.

1. Allgemeines.

Feste Nietverbindungen haben die Aufgabe, die zwischen den einzelnen Teilen auftretenden Kräfte zu übertragen. Sie werden in ausgedehntem Maße an Eisenbauwerken aller Art, Krangerüsten, Kranbalken, Fahrbahnen, Gestellen, Brücken, Dachbindern, Hochbauten usw. verwandt. Soweit irgend möglich, benutzt man bei der Ausführung derartiger Bauwerke lediglich ebene Bleche, Flacheisen und normale Winkel- und Formeisen, wie sie von den Walzwerken geliefert werden, vermeidet aber jede größere Schmiedearbeit. Bei kleineren Abmessungen werden die Formeisen unmittelbar als Träger, Glieder, Unterstützungen, Kranbalken usw. verwendet, wie es Abb. 543 an einem Laufkran mäßiger Spannweite zeigt. Bei größeren Abmessungen und Belastungen greift man zu Blechträgern, Abb. 544, und geht schließlich zu den aus einzelnen Stäben zusammengesetzten Fachwerken, Abb. 545, über. Durch die Auflösung in einzelne Stäbe oder Glieder, die an den Knotenpunkten zusammengeführt, durch Knotenbleche verbunden sind, ist eine günstigere Ausnutzung der Werkstoffe möglich, da in den Stäben nur Zug- und Druckkräfte wirken, die die Querschnitte gleichmäßig und hoch zu beanspruchen ge-

statten. Dagegen ist der Werkstoff in den auf Biegung beanspruchten Formeisen und Blechträgern in der Nähe der Nulllinie nur geringen Spannungen unterworfen und daher schlecht ausgenutzt. Blechträger fallen deshalb bei größeren Abmessungen stets schwerer als Fachwerke aus, verlangen aber weniger Arbeit bei der Ausführung. Bei kleinen Abmessungen ist der Blechträger billiger, bei größeren das Fachwerk, wenn auch manchmal andere Gesichtspunkte für die Wahl des Fachwerks entscheidend sein können, wie die Forderung geringer Massen bei raschlaufenden Kranen, niedrigerer Winddruck und in Werkstätten geringere Lichtwegnahme.

Während bei den dichten Verbindungen die Nietteilung in Rücksicht auf die Dichtigkeit der Nähte zu wählen ist, ist man bei den festen viel freier und trifft die Anordnung

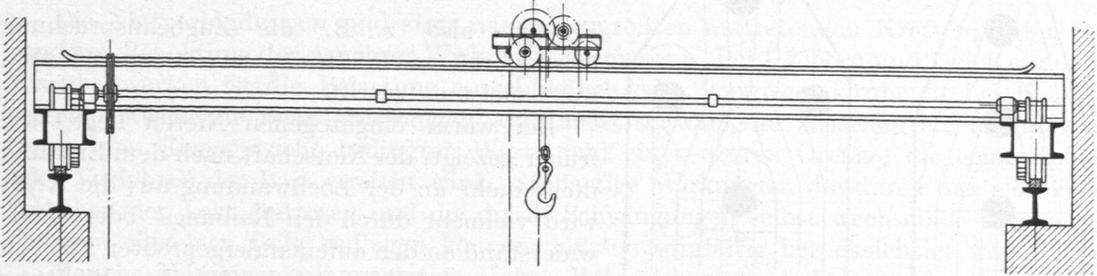


Abb. 543. Laufkran aus Formeisen.

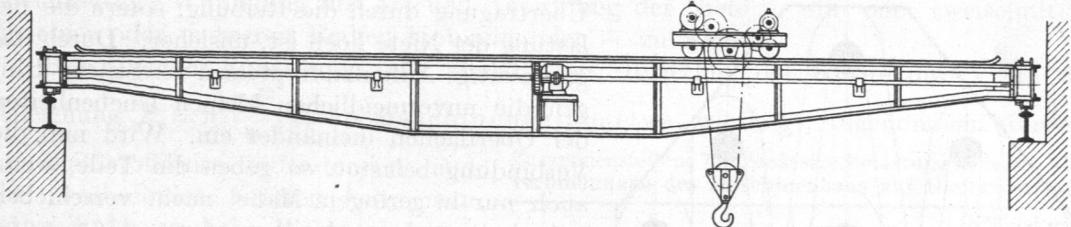


Abb. 544. Laufkran mit Blechträgern.

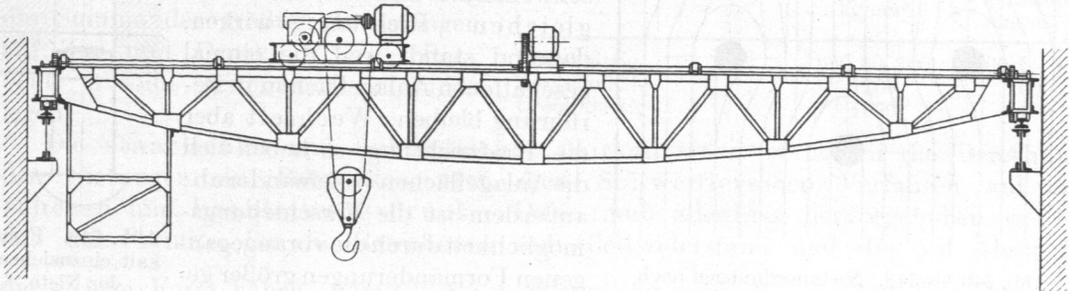


Abb. 545. Laufkran mit Fachwerkträgern.

und Verteilung so, daß sich die zu übertragenden Kräfte möglichst gleichmäßig auf alle Niete verteilen, daß sich die Verbindungen leicht herstellen, insbesondere die Nietköpfe bequem schlagen lassen, und daß die zu verbindenden Teile so wenig wie möglich geschwächt werden. An Zugstäben sind zweckmäßige Anordnungen nach Schwedler leicht dadurch zu finden, daß man sich den Stab in einzelne, um die Niete herumgeschlungene Bänder aufgelöst denkt, wie die Abb. 546 bis 548 an mehreren Anschlüssen zeigen, Anordnungen, die sich auch bei Versuchen als günstig erwiesen haben. Anschlüsse mit 5 und 7 Nieten sind unvorteilhaft.

Stehen in der ersten Reihe n Niete, so dürfen im Falle einschnittiger Nietung in der zweiten $2n$ Niete usw. angeordnet werden, ohne daß der erste Querschnitt aufhört, der gefährliche zu sein, wenn der Nietdurchmesser d größer als $2t$ ist. Denn bei der Tragfähigkeit eines Nietes $\frac{\pi d^2}{4} \cdot k_n$ nimmt die erste Reihe $n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot k_n$ kg auf, während die Schwä-

chung des Querschnittes $n \cdot d \cdot t \text{ cm}^2$ beträgt, so daß die Tragfähigkeit des Streifens um $n \cdot d \cdot t \cdot k_z \text{ kg}$ abgenommen hat. Der zweite Querschnitt ist also sicherer, wenn

$$n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot k_n > n \cdot d \cdot t \cdot k_z,$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot d \cdot k_n > t \cdot k_z$$

ist. Wird, wie üblich, $d \geq 2t$ gewählt, so geht die Gleichung über in:

$$\frac{\pi}{2} \cdot k_n > k_z.$$

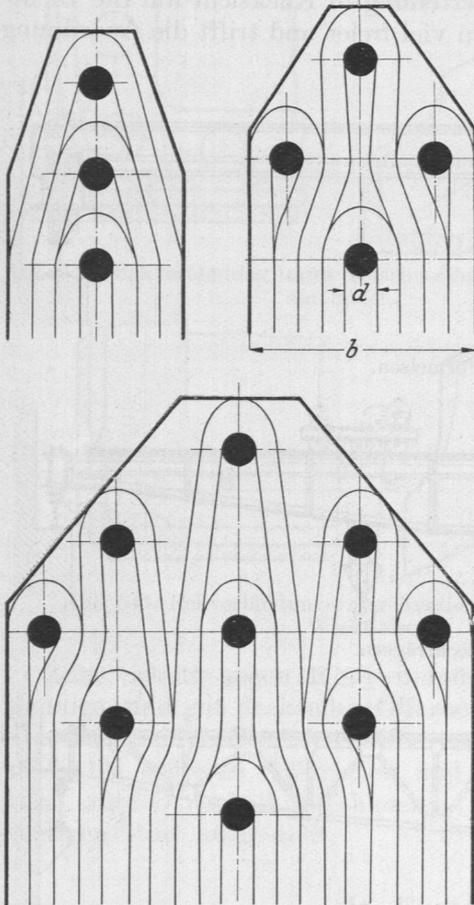


Abb. 546 bis 548. Nietanordnungen nach Schwedler.

Beträgt also z. B. die Zugbeanspruchung 900 kg/cm^2 , so müßte $k_n > 574 \text{ kg/cm}^2$ sein, was meistens zutrifft.

Bei warm eingezogenen Nieten liegt, wie früher gezeigt, der Nietschaft nach dem Erkalten nicht mehr an der Lochwandung an; die Kraft wird vielmehr durch den Reibungs- oder Gleitwiderstand an den aufeinandergepreßten Flächen übertragen. Bei Kräften, die ihre Richtung wechseln oder stoßweise auftreten, wird aber die Übertragung durch die Reibung, sofern die Belastung der Niete hoch ist, unsicher. Durch das gegenseitige Aufeinanderpressen der Stücke dringen die unvermeidlichen kleinen Unebenheiten der Oberflächen ineinander ein. Wird nun die Verbindung belastet, so geben die Teile, wenn auch nur in geringem Maße, nach, verschieben sich, halten aber ruhenden oder schwelenden Kräften, die in der gleichen Richtung wirken, dauernd stand, weil die einmal geschaffenen Anlageflächen in Berührung bleiben. Wechselt aber die Kraftrichtung, so heben sich die Anlageflächen voneinander ab; außerdem ist die Verschiebungsmöglichkeit durch die vorangegangenen Formänderungen größer geworden. Die Flächen arbeiten

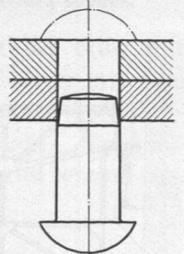


Abb. 549. Form kalt einzuziehender Niete.

bei oft wiederholtem Wechsel aufeinander; schließlich tritt das häufig zu beobachtende Lockerwerden von Nietverbindungen ein, die wechselnden Kräften ausgesetzt sind. Sofern es nicht möglich ist, die Beanspruchung der Niete sehr gering zu halten, also eine große Anzahl unterzubringen, verwendet man kalt eingezogene Niete, die im Durchmesser 2% stärker als die Löcher hergestellt, durch Hammerschläge in die sauber gebohrten oder aufgeriebenen Löcher eingetrieben werden, Abb. 549, während das vorstehende Ende, soweit möglich, in die Form eines Kopfes gebracht wird. Bei derartigen Nieten ist das Anliegen am Lochumfang unter Spannung gewährleistet; sie zeigten dementsprechend auch bei Versuchen Schröders van der Kolk [VI, 1] sehr kleine bleibende Verschiebungen, sind auf Abscheren beansprucht, pressen aber die vernieteten Teile nur in geringem Maße aufeinander, weil die Erzeugung großer Längskräfte in den Schäften ausgeschlossen ist. Ist das feste Aneinanderliegen der Teile erwünscht, so empfiehlt es sich, im voraus einzelne über die ganze Fläche verteilte Heftniete warm einzuziehen.

2. Berechnung fester Nietverbindungen.

a) Grundlagen.

Die in den einzelnen Stäben eines Eisenbauwerkes auftretenden Kräfte werden nach verschiedenen rechnerischen und zeichnerischen Verfahren, je nach Umständen unter Berücksichtigung

1. des Eigengewichtes,
2. der Nutzlasten,
3. des Winddrucks,
4. der Massen- und Bremskräfte, Stöße usw.

ermittelt.

Die Nietverbindungen sind stets nach den größten auftretenden Kräften, unter besonderer Beachtung der Art ihrer Wirkung zu bemessen. Bei Dächern und vielen anderen Eisenbauwerken ist die Belastung ausschließlich oder vorwiegend ruhend; bei Kranen treten schwellende Beanspruchungen auf, meist schwankend zwischen einem unteren, durch das Eigengewicht bedingten Werte und einer oberen Grenze, die beim Heben oder Verfahren der Last erreicht wird. Stoßartige Wirkungen, die durch das plötzliche Anheben der Last eintreten und die durch Schwingungen selbst wechselnde Beanspruchungen einzelner Teile bedingen können, müssen sorgfältig berücksichtigt werden.

Manche Maschinenteile, genietete Hebel, Balanziers usw., haben ständig wechselnde Kräfte zu übertragen. Dementsprechend sind die zulässigen Gleitwiderstände, unter gleichzeitiger Würdigung der Art und Anordnung der Niete — ein- oder zweischnittig, in einer oder mehreren Reihen hintereinander — zu wählen.

Bei ruhender Einwirkung oder allmählicher Steigerung der Kräfte darf k_n in der Gleichung $P = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot k_n$ an Maschinenteilen etwa, wie folgt, angenommen werden:

Bei stoßweise auftretenden und bei wechselnden Kräften kann man etwa halb so hohe Werte einsetzen oder im Falle genauerer Berechnung die Summe der größten Belastungen auf Zug und Druck, $P_{\max} + P_{\min}$, beide absolut genommen, zugrunde legen.

Zusammenstellung 79. Zulässige Belastung k_n fester Nietverbindungen des Maschinenbaus auf Gleitwiderstand.

| Niete | Ein- oder zweireihig kg/cm ² | In 3 und mehr Reihen hintereinander kg/cm ² |
|-------------------------|--|---|
| Einschnittig | 600 bis 700 | 500 bis 600 |
| Zweischnittig | 1200 | 1000 |
| Dreischnittig | 1600 | 1400 |

Die staatlichen und behördlichen Vorschriften verlangen die Berechnung der Nietungen an Bauwerken nach dem Schwedlerschen Verfahren auf Abscheren und Lochleibungsdruck. Dabei muß allerdings hervorgehoben werden, daß die Formeln für die Berechnung auf Gleitwiderstand und die auf Abscheren die gleiche Form haben, nämlich bei n Nieten einerseits $P = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot k_s$, andererseits $P = n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot k_n$, und daß sie deshalb, gleich hohe spezifische Belastung vorausgesetzt, auch dieselben Ergebnisse liefern. Man geht eben in den beiden Fällen nur von einer anderen Anschauung über die Art der Inanspruchnahme aus.

Die Berücksichtigung des Lochleibungsdruckes p_0 nach der Formel

$$P = n \cdot d \cdot t \cdot p_0 \quad (143)$$

kommt, wie unten gezeigt, namentlich für zwei- und mehrschnittige Niete in Frage.

Die für die deutsche Reichsbahn gültigen Grundlagen für das Entwerfen und Berechnen eiserner Brücken 1925 [VI, 16] lassen als Scherspannung der Niete das 0,8fache, als Lochleibungsdruck das zweieinhalbfache der zulässigen Zug- und Biegespannung k_z und k_b der anzuschließenden Teile zu. Beispielweise darf weicher Flußstahl mit 2400 kg/cm² Spannung an der Streckgrenze mit $k_z = k_b = 1400$ kg/cm² belastet werden, sofern der Rechnung die Hauptkräfte, die durch die ständige Last, die Verkehrslast, Fliehkräfte

und Wärmeschwankungen bedingt sind, zugrunde gelegt werden, Zahlen, die im Vergleich mit den im Maschinenbau üblichen sehr hoch erscheinen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die dynamischen Einflüsse der Verkehrslast und etwaiger Fliehkräfte mit der Stoßzahl φ_0 zu multiplizieren sind, während im Maschinenbau meist nur mit den statisch ermittelten Kräften gerechnet wird. φ_0 ist von der Art der Brücke und der Ausbildung der Fahrbahn abhängig und nimmt mit steigender Spannweite ab, z. B. für Balkenbrücken, bei denen die Schienen unmittelbar auf den Haupt-, Quer- oder Längsträgern liegen, nach den Zahlen der zweiten Zeile der Zusammenstellung 80.

Einen Anhalt dafür, welche zulässigen Beanspruchungen zu wählen wären, wenn man der Rechnung lediglich die statisch ermittelten Kräfte zugrunde legt, gewinnt man nun wie folgt. Bezeichnet man an einem auf Zug beanspruchten Stabe

P_g die durch das Eigengewicht,

P_v die durch die Verkehrslast,

P_f die durch die Fliehkräfte bedingte Belastung des Stabes und kommen Wärmespannungen nicht in Betracht, so wäre nach der Vorschrift ein Stabquerschnitt

$$F = \frac{P_g + \varphi_0 (P_v + P_f)}{k_z} = \frac{P_g + \varphi_0 (P_v + P_f)}{1400}$$

erforderlich. Setzt man dagegen nur die Summe der drei Kräfte ein, so würde sich eine Beanspruchung

$$\sigma_z = \frac{P_g + P_v + P_f}{F}$$

ergeben. Dividiert man beide Beziehungen durcheinander und bezeichnet das Verhältnis $\frac{P_v + P_f}{P_g}$ mit c so folgt

$$\sigma_z = \frac{P_g + P_v + P_f}{P_g + \varphi_0 (P_v + P_f)} \cdot 1400 = \frac{1 + c}{1 + \varphi_0 \cdot c} \cdot 1400.$$

Mit den in der Zusammenstellung 80 angeführten Durchschnittswerten für c , gültig für gerade, eingleisige Brücken ohne Schotterbett, die ich Herrn Prof. Müllenhoff verdanke, ergeben sich die in den drei letzten Zeilen angeführten Beanspruchungen für den Fall, daß man bei der Berechnung von den statischen Kräften ausgeht.

Zusammenstellung 80.

| Zulässige Beanspruchungen an Brücken unter Zugrundelegung der statisch ermittelten Kräfte. | | | | | |
|---|-------------------------------|------|----------------|------|-------------------------|
| Spannweite der Brücke | 10 20 40 80 120 m | | | | |
| | Blechträger | | Fachwerkträger | | |
| Stoßzahl φ_0 | 1,65 | 1,55 | 1,45 | 1,36 | 1,32 |
| Größe c | 6,97 | 4,91 | 3,33 | 2,14 | 1,59 |
| Zulässige Beanspruchung auf Zug oder Biegung unter Zugrundelegung der statisch ermittelten Kräfte | ≤ 890 | 960 | 1040 | 1125 | 1170 kg/cm ² |
| Scherbeanspruchung der Niete | ≤ 712 | 768 | 832 | 900 | 936 „ |
| Lochleibungsdruck | ≤ 2225 | 2400 | 2600 | 2810 | 2925 „ |

Der Einfluß der Fliehkräfte im Falle gekrümmter Brücken auf die angeführten Beanspruchungen ist sehr gering.

Durch die hiernach mit der Spannweite zunehmende Höhe der zulässigen Beanspruchungen wird berücksichtigt, daß sich die Belastung großer Brücken ruhender Inanspruchnahme nähert, weil die Verkehrslast gegenüber dem bedeutenden Eigengewicht zurücktritt, ein Gesichtspunkt, der bei der Übertragung der Zahlen auf Fälle und Aufgaben des Maschinenbaues sorgfältig zu beachten ist. Beispielweise wird man bei den fast stets unter der Höchstlast und voller Ausnutzung der Leistungsfähigkeit arbeitenden Hüttenwerkkränen vorsichtiger in der Wahl der Belastung sein und geringere Beanspruchungen nehmen, als bei den unter wesentlich günstigeren Bedingungen und Verhältnissen laufenden Werkstattkränen.

Die preußischen Ministerial-Bestimmungen über die bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen und über die zulässigen Beanspruchungen der Baustoffe vom 24. XII. 1919 und 25. II. 1925 schreiben folgende zulässige Beanspruchungen vor:

Zusammenstellung 81.

Zug- oder Biegespannung in flußeisernen Teilen von Dächern, Fachwerkwänden, Kranbahnträgern usw.,

| bei Verwendung von: | Flußstahl St. 37 · 12 kg/cm ² | Hochwertigem Baustahl v. $K_z = 4800 \dots 5800 \text{ kg/cm}^2$ und $\delta_t \geq 18\%$ kg/cm ² |
|---|---|---|
| a) wenn die Querschnitte auf Grund der Eigenlast, der Nutzlast und des Schneedrucks berechnet werden . . | 1200 | 1560 |
| b) wenn der Berechnung die gleichzeitig ungünstigste Wirkung von Eigenlast, Nutzlast, Schneedruck und Winddruck von 150 kg/m ² zugrunde gelegt wird . . . | 1400 | 1820 |
| c) ausnahmsweise bei Dächern, wenn für eine den strengsten Anforderungen genügende Durchbildung, Berechnung, Ausführung und gute Unterhaltung volle Sicherheit gegeben ist, im Falle b) | 1600 | 2080 |
| Scherspannung in Nieten oder gedrehten Schraubenbolzen k_s | 1000 | 1300 |
| Lochleibungsdruck p_0 | 2000 | 2600 |

Es liegt nahe, die Niete so zu gestalten, daß sie sowohl in bezug auf den Gleitwiderstand oder auf Abscheren, wie in bezug auf den Leibungsdruck möglichst weitgehend

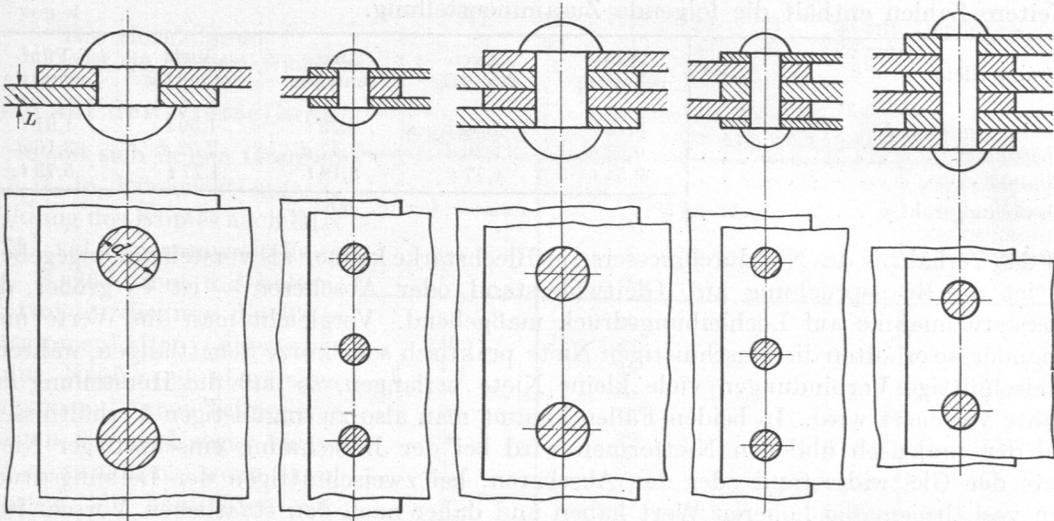


Abb. 550 bis 554. Niete gleicher Widerstandsfähigkeit gegenüber Abscheren und Lochleibungsdruck.

ausgenutzt werden. Das führt je nach der Zahl der Schnitte zu verschiedenen, aber teilweise ungünstigen Verhältnissen zwischen dem Nietdurchmesser und den Blechstärken. Nimmt man auf Grund der vorstehend angeführten verschiedenen Zahlen im Mittel an, daß die Scherspannung das 0,8fache der in den Gliedern des Bauwerkes zugelassenen Zugspannung, $k_s = 0,8 k_z$, der Lochleibungsdruck das Zweifache der Zugspannung, $p_0 = 2 k_z$ oder $p_0 = 2,5 k_s$ betragen soll, so muß an einem einschnittigen Niet

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_s = d \cdot t \cdot p_0 = d \cdot t \cdot 2,5 k_s,$$

$$t = \frac{\pi}{10} d = 0,314 d$$

oder $d = 3,2 t$, Abb. 550, sein. Für die zweischnittigen Niete in Abb. 551, wo dieselbe Stärke des Hauptbleches vorausgesetzt ist, fordert die entsprechende Rechnung:

$$2 \frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_s = d \cdot t \cdot p_0 = d \cdot t \cdot 2,5 k_s;$$

$$t = \frac{\pi d}{5}$$

oder als theoretisch günstigstes Verhältnis $d = 1,59 t$. Sinngemäß ergeben sich für drei- bis fünfschnittige Niete die Zahlen der folgenden Zusammenstellung entsprechend den Abb. 552 bis 554. Je größer die Schnittzahl ist, um so mehr wächst die Schaftlänge im Verhältnis zum Durchmesser. Dabei sind im Fall der zwei- und vierschnittigen Niete Abb. 551 und 553 die äußeren Laschen nur halb so stark wie die Bleche angenommen.

Wählt man die Zugspannung k_z im Blech $\frac{1}{0,8} = 1,25$ mal so groß wie die Beanspruchung der Niete auf Gleiten oder Abscheren, so lassen sich für den Fall der einreihigen Nietung auch die vorteilhafteste Teilung e und die Schwächungszahl φ für die verschiedenen Nietarten ableiten. So werden z. B. für die einschnittige Nietung

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_s = (e - d) \cdot t k_z$$

oder mit $k_s = 0,8 k_z$ und $d = 3,2 t$

$$e = 3 d = 9,54 t,$$

$$\varphi = \frac{e - d}{e} = \frac{3 d - d}{3 d} = 0,67.$$

Weitere Zahlen enthält die folgende Zusammenstellung.

| Art der Niete | Ein- schnittig | Zwei- schnittig | Drei- schnittig | Vier- schnittig | Fünf- schnittig |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Nietdurchmesser d | 3,18 t | 1,59 t | 2,72 t | 1,59 t | 1,91 t |
| Schaftlänge | 0,63 d | 1,26 d | 1,47 d | 2,52 d | 3,15 d |
| Teilung e | 9,54 t | 4,77 t | 8,16 t | 4,77 t | 5,73 t |
| Schwächungszahl φ | 0,67 | | | | |

Ist das Verhältnis des Nietdurchmessers zur Blechstärke kleiner als vorstehend angegeben, so ist die Beanspruchung auf Gleitwiderstand oder Abscheren — ist es größer, die Inanspruchnahme auf Lochleibungsdruck maßgebend. Vergleicht man die Werte miteinander, so erhalten die einschnittigen Niete praktisch sehr kurze Schaftlängen, während zweischnittige Verbindungen viele kleine Niete verlangen, so daß die Herstellung der Nähte verteuert wird. In beiden Fällen kommt man also zu ungünstigen Verhältnissen. Bei den praktisch üblichen Nietformen wird bei der Berechnung einschnittiger Niete stets der Gleitwiderstand oder das Abscheren, bei zweischnittigen der Leibungsdruck den verhältnismäßig höheren Wert haben und daher nach den staatlichen Vorschriften maßgebend sein, die allerdings stets den Nachweis der Höhe beider Inanspruchnahmen fordern.

Dreischnittige Niete bieten günstigere Verhältnisse, werden aber seltener verwendet.

An auf Zug beanspruchten Stäben ist die Schwächung durch die Nietlöcher an der Anschlußstelle immer, an gedrückten nur dann, wenn die Druckwirkung die Knickwirkung überwiegt, zu berücksichtigen. Die Breite b des Stabes in Abb. 547 ergibt sich beispielweise aus

$$P = (b - d) \cdot t \cdot k_z.$$

b) Wahl des Nietdurchmessers.

Nach den DIN 124, 302 und 303 sind die um je 3 mm steigenden Durchmesser von 11, 14, 17, 20 usw. bis 44 mm der Zusammenstellung 74, Seite 262, als Normalmaße der Niete, sowie die eingezeichneten Sinnbilder festgelegt worden. Für die letzteren genügt bis zum Maßstabe 1 : 5 die Größe des Schaftdurchmessers; bei kleineren Maßstäben ist der Deutlichkeit wegen die Größe des Kopfdurchmessers zu nehmen. Geschlagene Niete unter 11 mm werden durch das gleiche Zeichen wie das 11 mm Niet unter Beifügung des Nietdurchmessers bezeichnet, etwa in der Form +⁹. Als Anhalt für die Wahl der Nietdurchmesser kann an Stäben und Blechen von $t = 6 \dots 13$ mm Stärke, $d = 2 t$ dienen, wobei im Falle der Verbindung von Teilen verschiedener Dicke stets

der stärkste maßgebend ist. Die bei den dichten und festen Nietungen an Dampfkesseln usw. geltende Regel, daß an ein und demselben Konstruktionsteil möglichst nur Niete gleichen Durchmessers benutzt werden sollen, läßt sich nur bei größeren Eisenbauwerken durchführen. An Dächern und leichten Bauwerken nimmt man häufig in Rücksicht auf die Schenkelbreiten der zu verbindenden Winkel- und Formeisen, selbst an ein und demselben Knotenpunkt, verschiedene Nietdurchmesser, wenn man mit geringem Gewicht auskommen will. Niete von mehr als 26 mm Durchmesser pflegen höchstens bei großen Brücken verwandt zu werden, bei den übrigen Eisenbauwerken dagegen nur ausnahmsweise, weil sich die Köpfe schwer von Hand bilden lassen, was beim Zusammenbau häufig notwendig ist. Niete mit Schaftlängen $l \geq 5d$ werden im Eisenbau als Linsensenkniete ausgeführt, solche von $l \geq 6,5d$ besser ganz vermieden, da die Stauchung durch den ganzen Schaft hindurch Schwierigkeiten macht und die Köpfe infolge der großen Längsspannungen, die in den Nietschäften beim Abkühlen entstehen, zum Abspringen neigen. Zylindrisch oder kegelig gut eingepaßte Schrauben sind ihnen gegenüber vorzuziehen. Wegen des Platzes, den der Nietkopf beansprucht, ist man bei Flach- und Formeisen auf eine Mindestbreite von $3d$ des Eisens oder anzuschließenden Flansches angewiesen. Nach DIN 1032/33, vgl. Zusammenstellung 82, erfordern Niete

| | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|----|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| von d | 11 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 mm Durchmesser, |
| eine Mindestbreite. | 33 | 42 | 51 | 60 | 69 | 78 mm |
| oder ein kleinstes Winkeleisen NP | $3\frac{1}{2}$ | 5 | $5\frac{1}{2}$ | $6\frac{1}{2}$ | $7\frac{1}{2}$ | 9 |

c) Wahl der Nietteilung.

Zusammenstellung 82.
Wurzelmaße nach DIN 1032 und 1033, Abb. 556 bis 558.

e soll sich in den Grenzen $2,5d$, in Rücksicht auf die Bildung des Kopfes nach DIN 124, vgl. Zusammenstellung 74, S. 262, und $6d$ halten. Heftniete, die nur die Teile zusammenhalten sollen, aber keine Kräfte zu übertragen brauchen, können Teilungen e bis zu $8d$ und sogar bis zu $12d$ erhalten, wenn kein Rosten zu befürchten ist. Nach Beobachtungen von Meyerhof an den Brücken in Breslau [VI, 15] geht die Rostbildung häufig von den

| Schenkelbreite | Wurzelmaße | | Größter zulässiger Niet- oder Schraubendurchmesser d |
|----------------|------------|-------|--|
| | b | w_1 | |
| 35 | 20 | — | 11 |
| 40 | 22 | — | 11 |
| 45 | 25 | — | 11 |
| 50 | 28 | — | 14 |
| 55 | 30 | — | 17 |
| 60 | 32 | — | 17 |
| 65 | 35 | — | 20 |
| 70 | 37 | — | 20 |
| 75 | 42 | — | 23 |
| 80 | 45 | — | 23 |
| 90 | 50 | — | 26 |
| 100 | 55 | — | 26 |
| 110 | 45 | 25 | 26 |
| 120 | 50 | 30 | 26 |
| 130 | 50 | 40 | 26 |
| 140 | 55 | 45 | 26 |
| 150 | 55 | 55 | 26 |
| 160 | 60 | 55 | 29 |
| 170 | 60 | 65 | 29 |
| 200 | 60 | 90 | 32 |
| 250 | 60 | 140 | 32 |



Abb. 555. Klaffen der Bleche bei zu großen Nietabständen.

Spalten aus, die sich bei großer Nietentfernung nach Abb. 555 bilden; sie kann sich von dort weithin fortpflanzen, ohne äußerlich bemerkt zu werden. Er empfiehlt $e = 8d$ zu wählen bei der Verbindung solcher Teile, die große Steifigkeit gegen Klaffen besitzen, dagegen

$$e = 5d \text{ für } t = 8 \dots 11 \text{ mm}$$

und

$$e = 6d \text{ für } t > 11 \text{ mm}$$

zu setzen, wenn die Teile nicht genügend steif sind, Abb. 555.

Der Randabstand a der Niete darf $1,5$ bis $2,5d$, nur bei Blechen über 14 mm Stärke bis zu $2,8d$ betragen. Vielfach wird er in Richtung der Kraft etwas größer, zu etwa $a_1 = 2d$, als senkrecht dazu, $a_2 = 1,5d$, genommen.

Bei Winkel- und Formeisen sind die sogenannten Wurzelmaße w_1 und w_2 , Abb. 556 bis 558, einzuhalten, bei denen sich die Niete in Rücksicht auf die Döpper- und Kopfdurchmesser noch schlagen lassen. Sie sind für die normalen Winkeleisen durch die DIN 1032, Blatt 1 bis 3, und 1033 festgelegt, vgl. Zusammenstellung 82, die sowohl für gleich- wie auch für ungleichschenklige Winkeleisen gilt, so daß z. B. für ein L 65·130·12 die Wurzelmaße der Abb. 558 maßgebend sind. Diejenigen der U-, I-, Z- und L-Eisen sind in DIN 1030 und 1031 enthalten.

3. Genietete Blechträger.

a) Wahl der Hauptabmessungen.

Sie werden, wenn die normalen gewalzten Formeisen nicht ausreichen oder zu schwer ausfallen, angewendet und aus Stegblechen und angenieteten Winkeln zusammengesetzt, die durch Gurtplatten weiter verstärkt werden können, Abb. 562 und 563. Es entstehen I- oder kastenförmige, zur Aufnahme von Biegemomenten besonders geeignete Querschnitte. Ihre Höhe h nimmt man an Laufkran- und festen Trägern gleich $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$, ausnahmsweise bis $\frac{1}{14}$ der Spannweite, an Auslegern von Dreh-

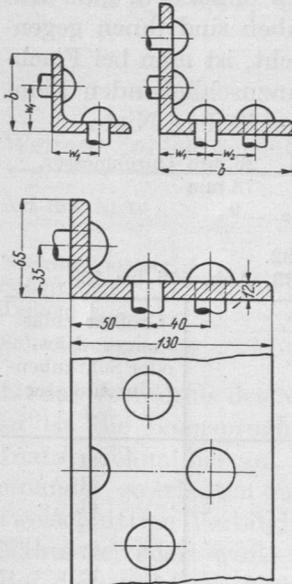


Abb. 556—558.
Nietverbindungen an Winkel-
eisen. M 1 : 5.

kranen, die meist als Kasten-träger ausgebildet werden, gleich $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Ausladung. Je größer die Höhe sein kann, um so leichter fällt der Träger aus, weil das Widerstandsmoment des Querschnitts mit der zweiten Potenz der Höhe wächst.

Ist das an einer beliebigen Stelle wirkende größte Biegemoment M_b , so ergibt sich das dort nötige Widerstandsmoment aus:

$$W = \frac{M_b}{k_b} \quad (28)$$

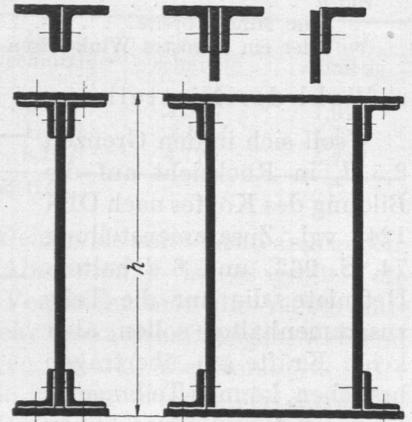


Abb. 559—563.
Anschlüsse von Winkeleisen und Aus-
bildung von Blechträgern.

und das Trägheitsmoment aus

$$J = W \cdot \frac{h}{2}$$

k_b darf für weichen Flußstahl an Brücken bis zu 1400, bei Berücksichtigung des Winddruckes 1600 kg/cm²,

an Kranträgern für Hebezeuge mit geringen Geschwindigkeiten (Handbetrieb) zu 900 bis 1100 kg/cm²,

bei mittleren und hohen Geschwindigkeiten zu 700 bis 900 kg/cm² angenommen werden,

an Hochbauten nach [VI, 6] bei Verwendung von Stahl 37 · 12 zu 1200 kg/cm²,

bei Verwendung von hochwertigem Stahl von 4800 bis 5800 kg/cm² Festigkeit und $\delta_l \geq 18\%$ Bruchdehnung zu 1560 kg/cm².

Dabei sind die ungünstigsten, gleichzeitig auftretenden Wirkungen der ständigen Last, der Verkehrs- und Schneelast, sowie Bremswirkungen oder Schrägzug, soweit sie von einem Kran herrühren, zu berücksichtigen. Bei sorgfältigster Durchbildung, Berechnung und Ausführung sind noch Erhöhungen der Beanspruchungen zulässig, vgl. [VI, 6].

Bei der Berechnung geht man unter Aufzeichnung des Querschnittes so vor, daß man das Trägheitsmoment J nach Wahl der Träger- oder Steghöhe zunächst durch Hinzu-

fügen der Winkleisen und, wenn diese nicht genügen, durch Aufsetzen von Gurtplatten zu erreichen sucht. Dabei sind die Nietlöcher zu berücksichtigen; und zwar brauchen, wenn Gurtplatten notwendig sind, im allgemeinen nur die Nietlöcher abgezogen zu werden, die zum Anschluß der Platten dienen, wenn diejenigen im Steg versetzt zu jenen angeordnet sind. Wenn aber der Abstand der Kopf- und Halsniete kleiner als $2d$ wird, müssen beide Nietlöcher abgezogen werden, da dann ein Bruch durch beide Löcher gehen würde.

Anhaltspunkte für den ersten Entwurf gibt die folgende Zusammenstellung.

Zusammenstellung 83. Übliche Maße an Blechträgern.

| h cm | Stegstärke cm | Winkleisen cm | Gurtplattendicke cm | Übliche Zahl der Platten an einem Gurt \leq |
|-----------|------------------|------------------|------------------------|---|
| 50—70 | 1,0—1,2 | 8—10 | 1,0—1,4 | 2 |
| 75—100 | 1,0—1,3 | 8—12 | 1,1—1,5 | 3 |
| 105—150 | 1,1—1,4 | 10—13 | 1,2—1,5 | 4 |
| 150 | 1,2—1,6 | 12—20 | 1,2—1,8 | 4 |

Die Plattendicke wird mit Rücksicht auf die Stoßdeckung am besten gleich der Winkleisendicke gewählt.

Nach den Auflagern zu läßt sich der Träger infolge der abnehmenden Biegemomente schwächer halten. Entweder verringert man zu dem Zwecke dort die Zahl der Gurtplatten oder die Trägerhöhe oder auch beide. Die Form gleichen Widerstandes würde im Falle rechteckigen Trägerquerschnitts, sowohl wenn die Belastung gleichmäßig verteilt ist (vgl. lfd. Nr. 6 der Zusammenstellung 7, S. 33), als auch, wenn sie aus einer beweglichen Einzellast besteht (Laufkranträger, bei dem die Laufkatze durch eine Einzellast ersetzt ist), elliptisch begrenzt sein. An den Enden muß der Querschnitt genügen, die größten auftretenden Querkräfte aufzunehmen, vgl. Berechnungsbeispiel 2. Praktisch nähert man die Form der leichteren Ausführung wegen durch eine solche mit geraden Umrissen, die die Ellipse berühren, an, Abb. 583a und 544. Die genauere Untersuchung unter Berücksichtigung des I-Querschnittes der Blechträger zeigt, daß die schrägen Umrißlinien etwas in die elliptische Begrenzung einschneiden können, daß also der nach dem eben erwähnten Verfahren ermittelte Träger noch etwas leichter gehalten werden kann.

b) Berechnung der Nietteilung an den Trägergurtungen.

Die Halsniete, welche die Gurtung mit dem Steg verbinden, haben die Aufgabe, die Ausbildung der Gurtspannungen zu ermöglichen, die in den einzelnen Trägerquerschnitten verschiedene Größe annehmen. Betrachten wir zwei um die Strecke e voneinander entfernte Ebenen I und II , Abb. 564, in denen die Biegemomente M_1 und M_2 herrschen mögen. In einer Faser des Gurtes im Abstände y von der neutralen Achse wirken in den Ebenen I und II verschiedene Spannungen

$$\sigma_I = \frac{M_1 \cdot y}{J} \quad \text{und} \quad \sigma_{II} = \frac{M_2 \cdot y}{J}.$$

Hat die betrachtete Faser den Querschnitt df und summiert man die Spannungen im gesamten Gurtquerschnitt, so wird die Kraft in der Ebene I :

$$N_1 = \int \sigma_I \cdot df = \int \frac{M_1}{J} y \cdot df,$$

die in der Ebene II :

$$N_2 = \int \frac{M_2}{J} \cdot y \cdot df.$$

Der Unterschied beider

$$N = \int y \cdot df \frac{M_1 - M_2}{J} = \frac{M_1 - M_2}{J} \int y \cdot df$$

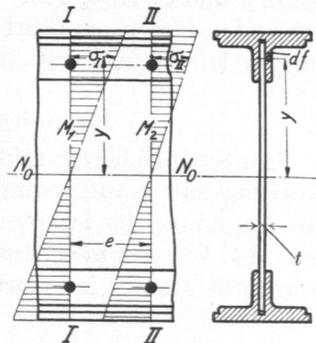


Abb. 564. Zur Ermittlung der Nietteilung an Blechträgern.

muß durch die Nietung aufgenommen werden, um die Spannungsbildung in den Gurten

sicher zu stellen. Nun ist $\int y \cdot df$ das statische Moment S des Gurtquerschnittes, bezogen auf die Nulllinie N_0N_0 , während $M_1 - M_2$ gleich dem Inhalt der Querkraftfläche auf der Strecke e , Abb. 565, also gleich $Q \cdot e$ ist, so daß

$$N = \frac{Q \cdot e}{J} \cdot S \quad (144)$$

wird. Faßt man e als Nietteilung auf, so muß ein Niet die Kraft N übertragen. Ist umgekehrt der Nietdurchmesser d und damit $N = \frac{\pi d^2}{4} k_n$ bzw. $N = d \cdot t \cdot p_0$ gegeben, so folgt die Teilung aus:

$$e = \frac{N \cdot J}{Q \cdot S} = \frac{\pi d^2 \cdot k_n \cdot J}{4 \cdot Q \cdot S} \quad \text{bzw.} \quad \frac{d \cdot t \cdot p_0 \cdot J}{Q \cdot S}, \quad (145)$$

worin bedeutet:

J das Trägheitsmoment des gesamten Trägerquerschnitts, bezogen auf die Schwerlinie N_0N_0 in cm^4 ,

S das statische Moment des durch die Niete anzuschließenden Querschnittes, hier also das der ganzen Gurtung in cm^3 ,

Q die Querkraft in kg,

t die Stegblechstärke in cm,

und für k_n die zulässige Belastung zweischnittiger Niete einzusetzen ist.

Die Teilung der Halsniete, auf die größten in den einzelnen Schnitten auftretenden Querkräfte berechnet, soll $6d$ nicht überschreiten. Ergibt die Rechnung größere Entfernungen, so wird der Grenzwert $e = 6d$ ausgeführt. So genügt es an Kranbalken häufig, die Teilung an den Enden, wenn die Katze in der äußersten Stellung steht, zu ermitteln, da dann die größtmöglichen Querkräfte entstehen. Die Kopfniete, welche die Gurtplatten anschließen, haben zufolge des kleineren statischen Moments des Plattenquerschnitts geringere Kräfte aufzunehmen, werden jedoch meist mit der gleichen Teilung mitten zwischen den Halsnieten, also um $\frac{e}{2}$ verschoben, angeordnet. Nur in dem Falle, daß sie weitere Teilung oder kleineren Durchmesser bekommen sollen, sind sie sinngemäß besonders zu berechnen.

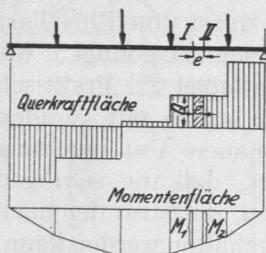


Abb. 565. Querkraft- und Momentenfläche.

Bei längeren Blechträgern müssen Stege und Gurtungen aus mehreren Teilen zusammengesetzt, „gestoßen“ werden. Diese Stellen werden, sofern der Versand des ganzen Trägers möglich ist, gegeneinander versetzt; so liegt in der Abb. 582 der Stoß des Stegbleches bei $I-I$, der der Winkeleisen und der Gurtbleche nach der Mitte des Trägers, bei b, c und a , Abb. 586. Sind die Blechträger so lang, daß sie sich nicht als ein Ganzes versenden lassen, so führt man Universalstöße aus, die durch den Steg und die Gurtungen laufen und erst an der Baustelle geschlossen werden.

c) Berechnung der Stegblech- und Gurtungsstöße.

Ein Stegblechstoß muß das Biegemoment, soweit es nicht von den durchlaufenden Gurtungsteilen aufgenommen wird, sowie die gesamte Querkraft übertragen, denn an der Aufnahme der letzteren hat die Gurtung nur sehr geringen Anteil. Annähernd kann man das Biegemoment aus dem Widerstandsmoment W_s des Stegbleches und der Biegebeanspruchung σ_b im Gurtblech des Trägers ermitteln, Abb. 583:

$$M_{bs} = W_s \cdot \sigma_b \cdot \frac{h_1}{h} = \frac{t \cdot h_1^3}{6h} \cdot \sigma_b, \quad (146)$$

wenn t die Stegblechstärke in cm,

h_1 die Stegblechhöhe in cm,

h die Höhe des gesamten Trägers in cm ist.

Die Stoßstelle wird nach Abb. 566 durch Laschen von der Stärke der Gurtwinkel oder $t_1 = 0,6$ bis $0,8t$, möglichst nicht unter 8 mm Dicke gedeckt. Das Moment M_{bs} und

die ganze Querkraft Q werden durch die Niete übertragen, die in verschiedenen Entfernungen a von der neutralen Faser des Trägers angreifen. Man macht nun die Annahme, daß

a) die Querkraft sich gleichmäßig über die Niete verteilt, so daß auf jedes der n -Niete (in Abb. 566 $n = 16$)

$$N_Q = \frac{Q}{n} \text{ kg} \quad (147)$$

entfallen,

b) die Belastungen der Niete durch das Moment M_{bs} sich verhalten, wie ihre Abstände a_1, a_2, a_3 von der neutralen Faser. Dann bestehen zwischen den Belastungen $N_1, N_2, N_3 \dots$ der Niete die Beziehungen:

$$N_1 = N_1 \cdot \frac{a_1}{a_1}, N_2 = N_1 \cdot \frac{a_2}{a_1}, N_3 = N_1 \cdot \frac{a_3}{a_1} \dots$$

während
$$M_{bs} = \sum N \cdot a = N_1 \cdot \frac{\sum a^2}{a_1},$$

oder
$$N_1 = M_{bs} \cdot \frac{a_1}{\sum a^2} \quad (148)$$

wird, wobei N_1 die Belastung des am weitesten von der neutralen Faser entfernten Nietes ist. Die Gesamtbelastung dieses zweiseitigen Nietes ist dann

$$N = \sqrt{N_Q^2 + N_1^2}$$

und muß kleiner sein, als die zulässige Belastung

$$N \leq \frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_n \text{ bzw. } \leq dt \cdot p_0$$

Beim Entwurf geht man so vor, daß man zunächst die Zahl der Nietreihen und der Niete selbst schätzt, dann nachrechnet und, wenn nötig, Abänderungen trifft.

Bei den Stößen in den Gurtungen ist die Längskraft P in den durchschnittenen Stücken

1. durch den Widerstand der Nietung,

2. durch die Festigkeit der Laschen aufzunehmen.

P darf, sicher gerechnet, zu $P = f \cdot \sigma_b$ angenommen werden, wenn f den Querschnitt der durchschnittenen Stücke, σ_b die größte an der betrachteten Stelle auftretende Biegebeanspruchung bedeuten.

$$n_3 = \frac{P}{N} = \frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_n} \text{ bzw. } \frac{P}{d \cdot t \cdot p_0}$$

liefert die Anzahl der nötigen Niete.

4. Konstruktive Durchbildung fester Nietverbindungen.

Daß man bei der konstruktiven Durchbildung der Eisenbauwerke von den normalen Blechen, Stab- und Formeisen ausgeht, war schon oben bemerkt. An den Kanten und Enden begrenzt man die einzelnen Stäbe möglichst geradlinig und senkrecht zur Achse, Abb. 568, um bei der Herstellung mit einem Säge- oder Scherenschnitte kleinster Fläche auszukommen. Wegen des besseren Anschlusses schräg begrenzte Winkeleisen werden zweckmäßigerweise nach Abb. 567 zunächst durch einen Schnitt senkrecht zur Achse und dann durch schräges Beschneiden des einen Schenkels gewonnen. Auch die Knotenbleche erhalten, wenn irgend möglich, geradlinige Umrisse ohne einspringende, schwierig auszuführende Ecken. Mit der Schere dürfen Bleche nur dann geschnitten werden, wenn einem Einreißen durch das Schneiden selbst oder durch entsprechende Vorarbeit, insbesondere durch gute Ausrundungen, sicher vorgebeugt wird. Freier ist man in der Ge-

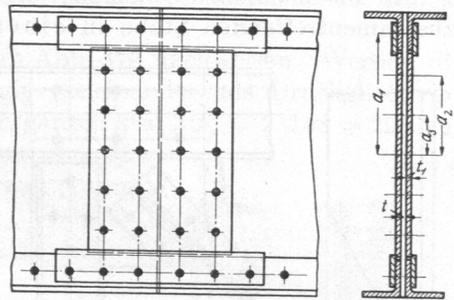


Abb. 566. Stegblechstoß an Blechträgern.

staltung bei Anwendung der Brennschneidverfahren. Sowohl bei den beiden vorstehend genannten Verfahren, wie auch bei etwaigem Stanzen ist nach DIN 1000 der neben dem Schnitt befindliche Stoff an flußstählernen Stücken in mindestens 2 mm Breite durch Hobeln, Fräsen, Schleifen oder Feilen zu beseitigen. Ausnahmen bilden in dieser Beziehung nur unwesentliche Teile, wie Futterstücke u. dgl. Die in Aussicht genommene Art der Bearbeitung ist schon bei der Formgebung zu berücksichtigen.

Zur konstruktiven Durchbildung der Blechträger ist zu bemerken, daß man ungleichschenkelige Winkeleisen mit den kürzeren Schenkeln am Stegbleche anschließt, um die längeren vorteilhafter, nämlich mit höherer Spannung ausnutzen zu können. Die Gurtplatten läßt man seitlich um 5 bis 10 mm über die Gurtwinkel überstehen. Bei größerer Höhe wird der Steg durch aufgenietete Winkeleisen in etwa 1,2 bis 1,7 m Abstand, Abb. 582, versteift.

An Fachwerken sollen sich die Schwerlinien der einzelnen in einem Knotenpunkte zusammentreffenden Stäbe in einem Punkte schneiden, Abb. 568 und 581, um Biegemomente auszuschalten. Nur bei kleineren Winkel-eisen benutzt man des leichteren Anreißens wegen



Abb. 567. Schräg abgeschnittenes Winkeleisen.

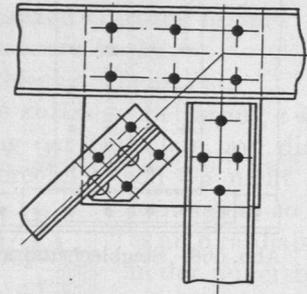


Abb. 568 und 569. Ausbildung von Knotenpunkten. Anschluß des Winkelblechs durch einen Hilfswinkel.

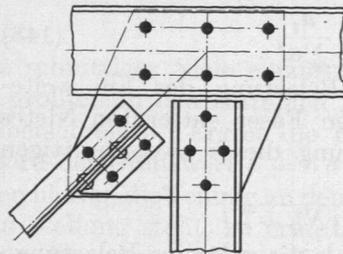


Abb. 570 und 571. Auf Zug beanspruchte Niete (links) sind zu vermeiden.

statt der Schwerlinien der Querschnitte die Mittellinien der Nietreihen. Gezogene Stäbe stellt man aus Flacheisen her, in neuerer Zeit aber fast allgemein wie die auf Druck oder Knickung beanspruchten, aus Eisen steifer Form, aus L-, T-, U- und I-Eisen. Notwendig wird die Vermeidung aller Flacheisenstäbe, wenn Erschütterungen, wie beim Betrieb von Kranen, nicht zu vermeiden sind. Reichen die Stege oder die seitlichen Flächen der Formeisen zum Anschluß an den Knotenblechen nicht aus, so müssen besondere Hilfswinkel, Abb. 568, vorgesehen werden. Jeder wesentliche Kräfte übertragende Stab ist mit mindestens zwei Nieten anzuschließen. Auf Zug oder Biegung beanspruchte Niete, Abb. 570, sind zu vermeiden, und durch Verbindungen, bei denen die Kräfte durch den Gleitwiderstand, Abb. 571, aufgenommen werden oder durch Schrauben zu ersetzen. Das Zusammenpassen und Aneinanderstoßen der Stabenden ist nur ausnahmsweise, wie in Abb. 581 des Fugenschlusses wegen zulässig, da die Ausführung unnötigerweise erschwert ist, die Kräfte aber nicht durch den Stoß, sondern durch die Niete übertragen werden sollen. Im Gegenteil sind Zwischenräume von einigen Millimetern, Abb. 569, erwünscht, um kleine Ungenauigkeiten in der Länge der Stäbe ausgleichen zu können. Auch die Knotenbleche begrenzt man in Rücksicht auf geringe Fehler beim Anschließen der Glieder nach Abb. 569 und 580 so, daß man einigen Spielraum in der Lage derselben hat; man soll nicht verlangen, daß die Ecken der Knotenbleche genau mit den Stabkanten zusammenfallen, sondern nur, daß sie nicht über die Stabkanten hervorragen.

Gerade Stäbe oder solche mit geringem Knick, kann man an den Knotenblechen durchgehen lassen, wie das wagrechte U-Eisen in Abb. 569 und braucht dann den Anschluß nur auf den Unterschied der in den Stabteilen wirkenden Kräfte, bzw. die Resultante derselben, zu berechnen. Biegemomente sind sorgfältig zu vermeiden, oder, wenn sie sich nicht umgehen lassen, durch entsprechend berechnete Querschnitte und Anschlüsse aufzunehmen. So erachtet man die Ausbildung des Knotenpunkts Abb. 569 für

besser als die nach Abb. 568, weil die Kräfte auf das wagrechte U-Eisen symmetrisch zum Knotenmittelpunkte übertragen werden. Das Knotenblech erhält hierbei freilich nicht die einfache rechteckige Gestalt, wie in Abb. 568. Es gilt als Fehler, schlanke Zugstäbe an starke Gurtungen unter Weglassen der Knotenbleche anzuschließen; dagegen können Druckglieder unmittelbar mit den Gurtungen verbunden werden. Häufig verwandte zusammengesetzte Querschnitte für Druckstäbe, die dann benutzt werden, wenn die einfachen Formeisen nicht ausreichen oder zu schwer werden, zeigen die Abb. 572 bis 576. Die einzelnen Teile sind durch Bindebleche oder Flach- und Winkeleisen so vergittert, daß ihr Ausknicken auch auf den Teilstrecken, von Mitte zu Mitte Knotenpunkt der Vergitterung gerechnet, ausgeschlossen ist, unter der Annahme, daß die Teile an den Enden gelenkig geführt sind. Dabei verlangen die Vorschriften für Eisenbauwerke [VI, 17], daß der Schlankheitsgrad der einzelnen Teile kleiner als 30 und nicht größer als derjenige des ganzen Stabes ist, sofern kein besonderer Nachweis ausreichender Knicksteifigkeit des Gesamtstabes erbracht wird.

Die Wirkung der Vergitterung läßt sich leicht an Abb. 576 nachweisen. Werden die beiden C-Eisen NP 20 unvergittert, also unabhängig voneinander, als Druckglied verwandt, so sind ihre kleinsten Trägheitsmomente, im ganzen also $2 J_y = 2 \cdot 148 = 296 \text{ cm}^4$ für die Tragfähigkeit maßgebend. Bei 4,5 m Länge und $\epsilon = 5$ facher Sicherheit gegen Knicken würden sie nach Formel (16) mit

$$P = \frac{\pi^2 \cdot J_y}{\alpha \cdot \epsilon \cdot l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 296 \cdot 2100000}{5 \cdot 450^2} = 6060 \text{ kg}$$

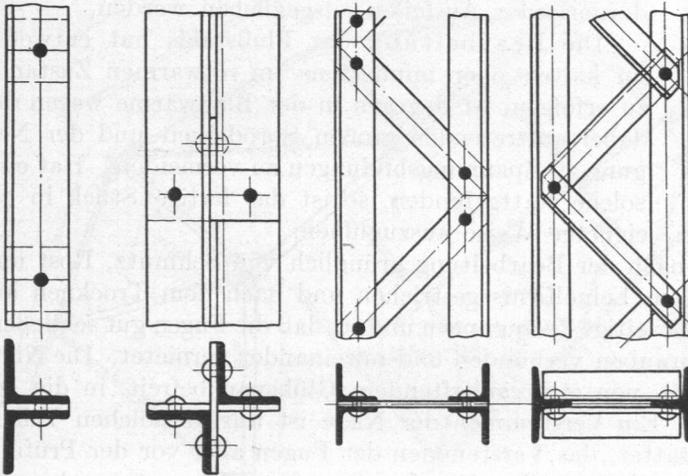


Abb. 572 bis 575. Übliche Formen für zusammengesetzte Druckstäbe.

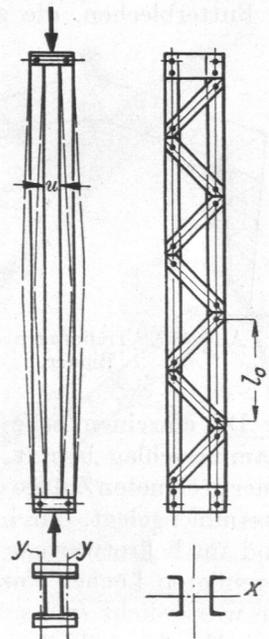


Abb. 576. Vergitterte U-Eisen.

belastet werden können. Ordnet man sie dagegen in einem lichten Abstand von mindestens $u = 116 \text{ mm}$ an, und vergittert sie, so wird die Summe ihrer größten Trägheitsmomente $2 J_x = 2 \cdot 1911 = 3822 \text{ cm}^4$ maßgebend, weil sich die beiden Teilstäbe gegenseitig so stützen, daß ein Ausknicken senkrecht zur Y -Achse ausgeschlossen ist. Der Abstand u ergibt sich aus der Bedingung, daß das Gesamtträgheitsmoment um die freie Achse J_y mindestens 10% größer sein soll als das auf die Materialachse bezogene J_x . Die Tragfähigkeit würde nach der Eulerschen Formel im Verhältnis der Trägheitsmomente $\frac{J_x}{J_y} = \frac{1911}{148}$ auf das 13fache gestiegen sein. Da jedoch der Schlankheitsgrad des gesamten Stabes auf

$$\frac{l}{i} = \frac{l}{\sqrt{\frac{2 J_x}{2 F}}} = \frac{450}{\sqrt{\frac{2 \cdot 1911}{2 \cdot 32,2}}} = 58,3$$

gesunken ist, wird die Tetmajersche Formel (20) maßgebend, nach der sich die Knickspannung

$$K_k = K \left(1 - c_1 \frac{l}{i} \right) = 3100 (1 - 0,00368 \cdot 58,3) = 2434 \text{ kg/cm}^2$$

und die Tragfähigkeit bei $\mathfrak{S} = 5$ facher Sicherheit zu

$$P' = \frac{2 \cdot F \cdot K_k}{\mathfrak{S}} = \frac{2 \cdot 32,2 \cdot 2434}{5} = 31400 \text{ kg}$$

errechnet. Die letztere ist also durch die Vergitterung auf das rund 5,2fache gestiegen. Als größte Entfernung l_0 der Bindebleche oder Gitterknotenpunkte folgt, da die Schlankheit des gesamten Stabes größer als 30 ist:

$$l_0 = 30 i_y = 30 \sqrt{\frac{J_y}{F}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{148}{32,2}} = 64,3 \text{ cm.}$$

5. Ausführung von Eisenbauwerken.

Die Niet- und Schraubenlöcher sind nach der DIN 1000 — mit Ausnahme von solchen in Futterblechen, die gelocht werden dürfen, — zu bohren und vor dem Zusammenlegen und Nieten der Stücke sorgfältig vom Grat zu befreien. Zusammengehörige Löcher müssen gut aufeinander passen; kleine Abweichungen sollen durch Aufreiben mit der Reibahle, nicht aber durch Aufdornen oder Ausfeilen ausgeglichen werden.

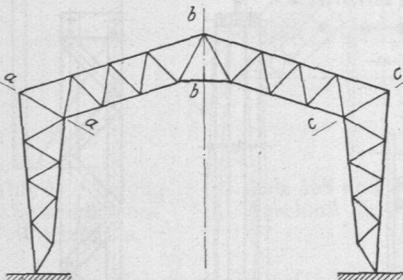


Abb. 577. Trennfugen an einem Binder.

Die Bearbeitung des Flußstahls hat entweder im kalten oder mindestens im rotwarmen Zustande zu erfolgen, ist dagegen in der Blauwärme wegen der dabei auftretenden großen Sprödigkeit und der Neigung zu Spannungsbildungen zu vermeiden. Hat eine solche stattgefunden, so ist das fertige Stück in geeigneter Weise auszuglühen.

Die einzelnen Teile werden nach der Bearbeitung gründlich von Schmutz, Rost und Hammerschlag befreit, mit gutem Leinölfirnis gestrichen und nach dem Trocknen auf einer geeigneten Zulage ohne gegenseitige Zwängungen und so, daß die Fugen gut schließen, zusammengelegt, durch Heftschrauben verbunden und miteinander vernietet. Die Niete sind im hellrotwarmen Zustande, von etwa anhaftendem Glühspan befreit, in die gut gereinigten Löcher einzuziehen. Ein Verstemmen der Niete ist nur an solchen Teilen, die wasserdicht sein sollen, gestattet, das Verstemmen der Fugen aber vor der Prüfung und Abnahme überhaupt nicht erlaubt. Alle nicht festsitzenden Niete müssen herausgeschlagen und durch neue ersetzt werden. Sollten sich einzelne Bauteile beim Vernieten verziehen, so müssen die Verbindungen nochmals gelöst und die Fehler sorgfältig beseitigt werden. Schließlich wird der Leinölanstrich an den Nietköpfen ergänzt.

Größere Bauwerke werden in Rücksicht auf den Versand und die leichtere Handhabung auf dem Bauplatz in Teile zerlegt, der Binder, Abb. 577, z. B. nach den Ebenen *aa*, *bb*, *cc*. Der Zusammenbau dieser in der Werkstatt fertig vernieteten Einzelteile erfolgt zweckmäßig durch Schrauben, um das Nieten auf dem Bauplatze möglichst einzuschränken, das wegen der schwierigen Ausführung am fertigen Bauwerke oft schlecht ausfällt. Eingepaßte Schrauben werden auf Abscheren und Leibungsdruck beansprucht; ihre Berechnung erfolgt unter Einsetzen der Beanspruchungen, die oben angegeben sind. Nur bei großen Bauwerken darf man auf genügend gute Nietung durch geübte Niettrupps auf dem Platz selbst rechnen. Zum Schutz gegen Rosten werden die Teile nach der Prüfung und Abnahme in der Werkstatt und nachdem alle Fugen mit Kitt sorgfältig geschlossen sind, mit einem dichten Grundanstrich von Bleimennigfarbe versehen. Nach erfolgter Aufstellung füllt man alle Räume zwischen den Eisenteilen, in denen sich Wasser

Die auf zeichnerischem Wege ermittelten, auf 10 kg abgerundeten Kräfte in den einzelnen Gliedern sind in der folgenden Liste zugleich mit den genauen Längen der Stäbe zusammengestellt.

Alle Glieder sind in steifen Querschnitten, Winkel- und U-Eisen, ausgeführt und, abgesehen von wenigen Stäben des Windverbandes, mit mindestens je zwei Nieten an den

| Stabnummer | Belastung einer Auslegerwand durch | | | Stablänge mm | Walzeisen |
|------------|------------------------------------|------------|-------------|-----------------|------------------|
| | Eigengew. kg | Last kg | Summe kg | | |
| 1 | + 540 | + 5870 | + 6410 | 3106 | L 70·70·9 |
| 2 | — 620 | — 8060 | — 8680 | 3046,6 | C 14, vergittert |
| 3 | — 40 | 0 | — 40 | 601,6 | L 60·60·8 |
| 4 | + 510 | + 5870 | + 6380 | 2787 | L 70·70·9 |
| 5 | + 270 | 0 | + 270 | 2820 | L 60·60·8 |
| 6 | — 930 | — 8060 | — 8990 | 2733,6 | C 14, vergittert |
| 7 | — 130 | 0 | — 130 | 1147,2 | L 60·60·8 |
| 8 | + 710 | + 5870 | + 6580 | 2853 | L 70·70·9 |
| 9 | — 370 | 0 | — 370 | 3382,5 | L 60·60·8 |
| 10 | — 1340 | — 8060 | — 9400 | 2798,8 | C 14, vergittert |
| 11 | — 200 | 0 | — 200 | 1703 | C 10,5 |
| 12 | + 990 | + 5870 | + 6860 | 3158 | L 70·70·9 |
| 13 | + 480 | 0 | + 480 | 3870 | L 60·60·8 |
| 14 | — 1770 | — 8060 | — 9830 | 2721 | C 14, vergittert |
| 15 | — 1180 | — 5180 | — 6360 | 2350 | C 10 |
| 16 | + 1200 | + 5850 | + 7050 | 2363 | L 70·70·9 |
| 17 | — 430 | — 2130 | — 2560 | 2409 | C 10 |
| 18 | — 1980 | — 7930 | — 9910 | 2962 | C 16 |
| 19 | + 330 | + 1830 | + 2160 | 3430 | L 60·60·8 |
| 20 | — 720 | — 3940 | — 4660 | 2363 | L 70·70·9 |
| 21 | — 250 | — 1380 | — 2630 | 3400 | C 10 |
| 22 | — 1870 | — 6730 | — 8600 | — | — |
| 23 | + 590 | + 3700 | + 4290 | — | — |

Knotenblechen oder, wo diese am Untergurt weggelassen sind, an den Stegen der U-Eisen angeschlossen.

Die beiden Fachwerkwände des Auslegers sind an den Obergurten durch Winkeleisen, zwischen den Untergurten durch einen K-förmigen

Verband zur Aufnahme des seitlich wirkenden Winddruckes gegeneinander versteift. Des

Versands wegen ist der Ausleger

am Knie längs des Gliedes 15 in zwei Teile zerlegt und der schräge Arm an den dortigen Knotenpunkten durch eingepaßte Schrauben angeschlossen. Die Kopffrolle umgibt ein Flacheisenbügel, der das Herausspringen des Seiles sicher verhütet.

Berechnungsbeispiel 1. An einem Uferkran für 2500 kg Nutzlast, Abb. 579, entstehen unter Berücksichtigung des Eigengewichts und der Massenbeschleunigung in den Knotenpunkten *a* jeder der beiden Wände des Krangerüsts die folgenden größten Kräfte:

im Stabe 1 von $l_1 = 2450$ mm Länge: $P_1 = 8000$ kg Druck,

im Stabe 2 von $l_2 = 2450$ mm Länge: $P_2 = 5500$ kg Druck,

im Stabe 3 von $l_3 = 4650$ mm Länge: $P_3 = 11000$ kg Druck.

Der Knotenpunkt *a* ist auszugestalten.

Alle drei Stäbe sind auf Knickung zu berechnen. Bei $\zeta = 5$ facher Sicherheit und

$$\alpha = \frac{1}{2100000} \text{ cm}^2/\text{kg}$$

für weichen Flußstahl folgt das erforderliche Trägheitsmoment J_1 des Stabes 1 nach der Eulerschen Formel (16) aus:

$$J_1 \geq \frac{\alpha \cdot \zeta \cdot P_1 \cdot l_1^2}{\pi^2} = \frac{5 \cdot 8000 \cdot 245^2}{2100000 \cdot \pi^2} = 116 \text{ cm}^4.$$

Gewählt U-Eisen NP 20 mit $J_{\min} = 148 \text{ cm}^4$ und $F_1 = 32,2 \text{ cm}^2$ Querschnitt. Die Schlankheit beträgt:

$$i_1 = \frac{l_1}{\sqrt{\frac{J_{\min}}{F_1}}} = \frac{245}{\sqrt{\frac{148}{32,2}}} = 114,5.$$

Sie ist größer als 90; mithin ist die benutzte Formel nach Zusammenstellung 3, S. 18, zutreffend.

Für Stab 2 wird unter den gleichen Voraussetzungen:

$$J_2 \geq \frac{\alpha \cdot \sigma \cdot P_2 \cdot l_2^2}{\pi^2} = \frac{5 \cdot 5500 \cdot 245^2}{2100000 \cdot \pi^2} = 79,5 \text{ cm}^4.$$

U-Eisen NP 16 mit $J_{\min} = 85,3 \text{ cm}^4$ genügt. Die Nachrechnung des Schlankheitsgrades erübrigt sich, da er sicher größer als bei Stab 1 ist.

$$\text{Stab 3: } J_3 \geq \frac{\alpha \cdot \sigma \cdot P_3 \cdot l_3^2}{\pi^2} = \frac{5 \cdot 11000 \cdot 465^2}{2100000 \cdot \pi^2} = 573 \text{ cm}^4.$$

Das Trägheitsmoment läßt sich durch zwei voneinander unabhängige U-Eisen nicht mehr verwirklichen. Diese müssen vielmehr vergittert werden. Gewählt in Rücksicht auf das Zusammentreffen mit Stab 1 zwei vergitterte U-Eisen NP 20 mit $J_{\max} = 1911 \text{ cm}^4$. Die Schlankheit wird:

$$\frac{l_3}{i_3} = \frac{l_3}{\sqrt{\frac{J_{\max}}{F_3}}} = \frac{465}{\sqrt{\frac{1911}{32,2}}} = 60,4.$$

Somit ist die Tetmajersche Formel (20) anzuwenden.

$$\text{Knickspannung: } K_k = K \left(1 - c_1 \frac{l_3}{i_3} \right) = 3100 (1 - 0,00368 \cdot 60,4) = 2410 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\sigma = \frac{K_k}{\sigma_k} = \frac{K_k \cdot F_3}{P_3} = \frac{2410 \cdot 32,2}{11000} = 7,05 \text{ fach. Ausreichend.}$$

Für den Fall, daß man die Unterstützung des Stabes 3 im Knotenpunkt *b* der Skizze 579 durch die unter ziemlich geringem Winkel angesetzte Diagonale vernachlässigt und Stab 3 in seiner Gesamtlänge $l_3' = 9300 \text{ mm}$ auf Knickung nachrechnet, wird das Schlankheitsverhältnis doppelt so groß, also die Eulersche Formel maßgebend. Betrachtet man die beiden vergitterten U-Eisen zusammen, so werden sie durch $2 P_3$ bei einem Trägheitsmoment $2 J_{\max}$ belastet und bieten dabei:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot J_{\max}}{\alpha \cdot 2 \cdot P_3 \cdot (l_3')^2} \\ &= \frac{2100000 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 1911}{22000 \cdot 930^2} = 4,17 \text{ fache,} \end{aligned}$$

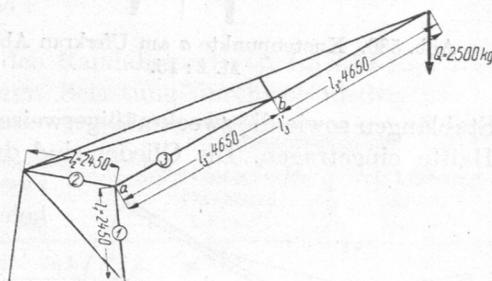


Abb. 579. Uferkranausleger. M. 1 : 200.

d. i. eine für die ungünstige Annahme noch hinreichende Sicherheit. Der Mindestabstand der beiden U-Eisen von $u = 116 \text{ mm}$ ist konstruktiv durch den Abstand der Gerüstwände bei weitem übertroffen.

Größter Abstand l_0 der Vergitterungsknotenpunkte. Bei dem Schlankheitsgrad 30, bezogen auf das kleinste Trägheitsmoment, wird:

$$l_0 = 30 \sqrt{\frac{J_{\min}}{F_3}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{148}{32,2}} = 64,3 \approx 65 \text{ cm.}$$

Berechnung der Anschlußniete. Stegstärke des schwächsten U-Eisens $t = 7,5 \text{ mm}$. Gewählt: Knotenblechstärke 10 mm. Nietdurchmesser $d = 20 \text{ mm}$, $k_n = 600 \text{ kg/cm}^2$. Tragfähigkeit eines Nietes gegenüber Gleiten:

$$N = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_n = \frac{\pi}{4} \cdot 2^2 \cdot 600 = 1880 \text{ kg.}$$

Art wieder, die Wurzellinien oder Nietmittellinien in den Knotenpunkten zusammen-treffen zu lassen. Die Stäbe D_2 , D_3 und D_5 sind mit je zwei Nieten, der im Knoten-punkt durchlaufende Obergurt aber an dem rechteckig geschnittenen Knotenblech durch drei Niete angeschlossen, um den Nietabstand nicht zu groß werden zu lassen. Unter Benutzung der normalen Wurzelmasse und der zulässigen größten Nietdurchmesser nach Zusammenstellung 82, ferner mit $a = 4$ mm lichtem Abstand zwischen den einzelnen Stäben und einer gleich großen Überdeckung an den Knotenblechkanten und -ecken kann man die Winkeleisen in ihrer gegenseitigen Lage aufzeichnen. Zweckmäßigerweise geht man dabei vom Obergurt aus. Am Stab D_3 ergibt sich dann die Mindestbreite des Knotenbleches auf Grund von $1,5 d$ Randabstand und $2,5 d$ gegenseitigem Mindestabstand der Niete zu 172 mm, wie strichpunktiert angedeutet. Rundet man dieses Maß auf 175 mm ab, um das Knotenblech aus einem Universaleisen von $175 \cdot 10$ mm Querschnitt schneiden zu können, so folgt die Knotenblechlänge aus der Lage der Stäbe D_2 und D_5

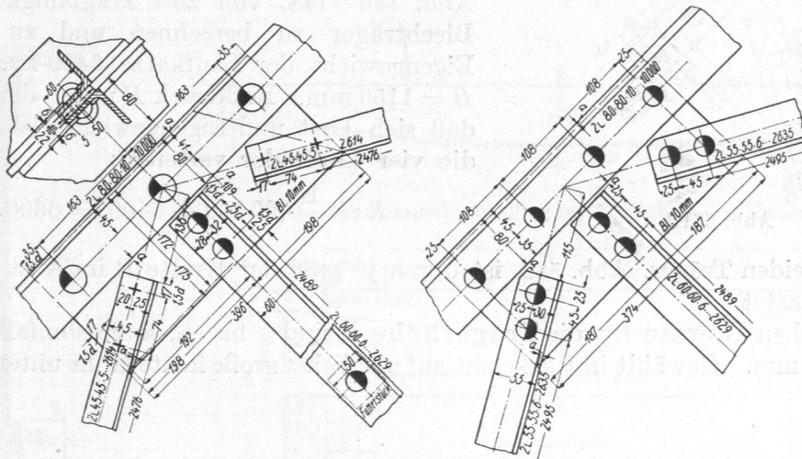


Abb. 581 b und c.

bei $a = 4$ mm Überdeckung zu 396 mm. Durch den Randabstand von $1,5 d$ ist nun auch die Lage sämtlicher Anschlußniete gegeben, deren Belastung durchweg niedrig ist:

| | Niet- durchmesser mm | Nietzahl | Belastung kg | Inanspruchnahme | |
|----------|----------------------------|----------|--------------------|---|--|
| | | | | auf Gleiten oder Abscheren kg/cm ² | auf Leibungs- druck kg/cm ² |
| Obergurt | 23 | 3 | 7120—6430 = 690 | 27,8 | 100 |
| D_2 | 11 | 2 | 1910 | 502 | 868 |
| D_3 | 17 | 2 | 3645 | 402 | 1070 |
| D_5 | 11 | 2 | 1910 | 502 | 868 |

Zulässig wären 1100 bzw. 2200 kg/cm².

Durch schräges Abschneiden ist es möglich, die Größe des Knotenbleches einzu-schränken und mit zwei Anschlußnieten am Obergurt auszukommen. Nachteilig ist, daß an dem Knotenpunkt drei verschiedene Nietdurchmesser zur Anwendung gekommen sind. Ohne weiteres könnte aber der Obergurt mit Nieten von 17 mm Durchmesser unter entsprechender Verringerung der Nietabstände angeschlossen werden.

In Ausführung b) ist durchweg ein und derselbe Nietdurchmesser von 17 mm benutzt. Das zwingt freilich dazu, die Glieder D_2 und D_5 nach Zusammenstellung 82 mindestens 55 mm breit, das ist 1,47 mal schwerer als bei Ausführung a) zu nehmen. Die in beiden Gliedern auftretende Höchstbelastung würde zwar ohne weiteres durch je ein solches Winkeleisen aufgenommen werden können, aber unter ungünstiger Nebenbeanspruchung des Knotenbleches auf Biegung und Verdrehung. Zum Anschluß des Obergurtes wird

zug der Nietlöcher von $d = 20$ mm Durchmesser in den Gurtwinkeln ein Trägheitsmoment von:

$$J_1 = \frac{1}{12} [(b_1 - 2d)(h_1^3 - h_2^3) + b_2(h_2^3 - h_3^3) + t \cdot h_3^3] = \frac{1}{12} [(17 - 2 \cdot 2)(90^3 - 88^3) + 3(88^3 - 74^3) + 1 \cdot 74^3] = 154300 \text{ cm}^4$$

ergeben. Da dieses noch nicht ausreicht, müssen Gurtplatten aufgesetzt werden, die $b = 180$ mm breit seien, damit sie die beiderseitigen Winkel um je 5 mm überdecken. Ihre Stärke läßt sich aus dem Trägheitsmoment, das durch sie verwirklicht werden soll, bestimmen. Aus

$$J - J_1 = 201900 - 154300 = 47600 \text{ cm}^4 = \frac{b - 2d}{12} (h^3 - h_1^3)$$

folgt: $h^3 = \frac{12}{b - 2d} (J - J_1) + h_1^3 = \frac{12 \cdot 47600}{18 - 2 \cdot 2} + 90^3 = 769800 \text{ cm}^3$; also

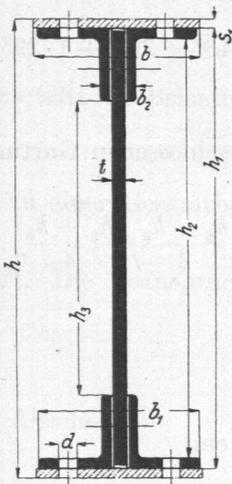


Abb. 583. Trägerquerschnitt.

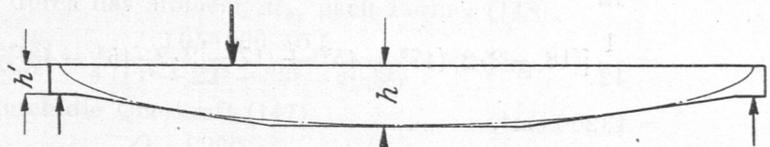


Abb. 583a. Form annähernd gleicher Festigkeit des Trägers Abb. 582.

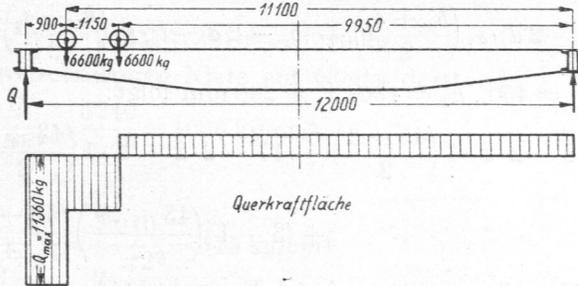


Abb. 584. Querkraftfläche des Kranbalkens Abb. 582, bei Endstellung der Laufkatze.

$h = 91,7$ cm. Daraus Gurtplattenstärke $s_1 = \frac{h - h_1}{2} = 8,5$ mm. s_1 abgerundet auf 10 mm. Wirkliches Trägheitsmoment des gesamten Querschnittes $J_{ges} = 212270 \text{ cm}^4$. Biegebeanspruchung $\sigma'_b = 778 \text{ kg/cm}^2$.

Die Stegbleche laufen, wie Abb. 582 zeigt, bis zu den äußeren Endquerträgern durch und sind der annähernd elliptischen Form gleicher Festigkeit durch Abschrägen der Enden angepaßt. Ihre Mindesthöhe am Ende h' , Abb. 583a, ergibt sich rechnerisch daraus, daß die größte Querkraft Q_{max} bei der Endstellung der Katze im wesentlichen durch die Schubspannung im Steg aufgenommen werden muß, weil in den Gurtwinkeln und Blechen nur geringe Schubspannungen entstehen können. Nach der Querkraftfläche, Abb. 584, wird in der Endstellung der Laufkatze:

$$Q_{max} = 6600 \cdot \frac{1110 + 995}{1200} = 11580 \text{ kg.}$$

so daß bei einer größten zulässigen Schubspannung $k_s = 600 \text{ kg/cm}^2$ gemäß Zusammenstellung 8, lfde. Nr. 2, eine Höhe:

$$h' = \frac{3}{2} \frac{Q_{max}}{t \cdot k_s} = \frac{3}{2} \cdot \frac{11580}{1 \cdot 600} = 29 \text{ cm}$$

nötig ist. Gewählt wurde die Steghöhe h' namentlich in Rücksicht auf den Anschluß der Endquerträger zu $h' = \frac{h}{2} = 450$ mm; Gesamthöhe einschließlich Gurtplatten 470 mm.

Biegebeanspruchung durch das Eigengewicht. Einer der Träger wiegt, reichlich gerechnet, $Q = 1700$ kg. Unter der etwas zu günstigen Annahme, daß das Gewicht gleichmäßig auf der ganzen Länge verteilt betrachtet werden darf, wird die zusätzliche Beanspruchung in der Mitte des Trägers (vgl. Formel lfd. Nr. 9 der Zusammenstellung 5 S. 26):

$$\sigma_b'' = \frac{Q \cdot L \cdot h}{8 \cdot J \cdot 2} = \frac{1700 \cdot 1200 \cdot 46}{8 \cdot 212270} = 55 \text{ kg/cm}^2,$$

mithin die höchste Beanspruchung: $\sigma_b = \sigma_b' + \sigma_b'' = 778 + 55 = 833 \text{ kg/cm}^2$.

Berechnung der Nietteilung für den Anschluß der Gurtwinkel auf Q_{\max} in der Endstellung der Laufkatze nach Formel (145) bei $k_n = 1200 \text{ kg/cm}^2$. Dabei wird unter Benutzung der Buchstaben der Abb. 583 das Trägheitsmoment:

$$\begin{aligned} J' &= \frac{1}{12} [(b - 2d)(h^3 - h_1^3) + (b_1 - 2d)(h_1^3 - h_2^3) + b_2(h_2^3 - h_3^3) + t \cdot h_3^3] \\ &= \frac{1}{12} [(18 - 2 \cdot 2)(47^3 - 45^3) + (17 - 2 \cdot 2)(45^3 - 43^3) + 3(43^3 - 29^3) + 1 \cdot 29^3] \\ &= 43200 \text{ cm}^4, \end{aligned}$$

das statische Moment des Querschnittes der durch die Niete angeschlossenen Gurtung, wenn s_2 die Dicke der Winkeleisen bezeichnet:

$$S = (b - 2d) \cdot s_1 \left(\frac{h_1 + s_1}{2} \right) + (b_1 - 2d - t) \cdot s_2 \left(\frac{h_2 + s_2}{2} \right) + (b_2 - t) \left(\frac{h_2 - h_3}{2} \right) \left(\frac{h_2 + h_3}{4} \right).$$

Mit $h_1 = 450$, $h_2 = 430$, $h_3 = 290$ mm folgt:

$$\begin{aligned} S &= (18 - 2 \cdot 2) \cdot 1 \left(\frac{45 + 1}{2} \right) + (17 - 2 \cdot 2 - 1) \cdot 1 \left(\frac{43 + 1}{2} \right) \\ &\quad + (3 - 1) \left(\frac{43 - 29}{2} \right) \left(\frac{43 + 29}{4} \right) = 838 \text{ cm}^3, \end{aligned}$$

und die Nietteilung entsprechend Formel (145):

$$e = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \frac{k_n \cdot J'}{Q_{\max} \cdot S} = \frac{\pi}{4} 2^2 \cdot \frac{1200 \cdot 43200}{11360 \cdot 838} = 17,1 \text{ cm},$$

also größer als der Grenzwert $e = 6d = 120$ mm, der deshalb auf der ganzen Länge des Trägers, sowohl für die Hals-, wie die Kopfniete benutzt wurde.

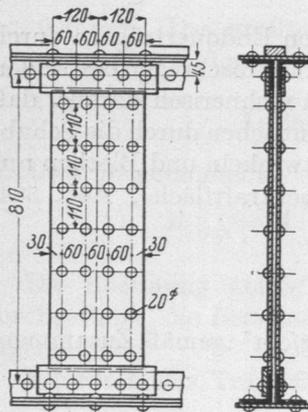


Abb. 585. Stegblechstoß.
M. 1:20.

Das Stegblech ist in drei annähernd gleichlange Stücke geteilt und daher zweimal, bei I—I, Abb. 582, in den Entfernungen $e = 4110$ mm von den Stegblechenden oder $e' = 3960$ mm von den Laufrollenebenen gestoßen; außerdem wurde es durch Aufnieten von Versteifungswinkeln in je 1500 mm Entfernung voneinander versteift. Das Stegblech hat an den Stoßstellen noch die volle Höhe von $h_1 = 900$ mm.

Berechnung des Stegblechstoßes, Abb. 585. Das Moment, das das Stegblech an der Stelle I aufzunehmen vermag und das daher auch durch die Verbindung zu übertragen ist, ergibt sich nach der Formel (146) bei einer Biegespannung von $\sigma_b = 800 \text{ kg/cm}^2$, die schätzungsweise unter Berücksichtigung der Wirkung des Eigengewichts des Trägers im Querschnitt I auftreten dürfte,

$$M_{bs} = W_s \cdot \sigma_b = \frac{t \cdot h_1^3}{6h} \cdot \sigma_b = \frac{1 \cdot 90^3}{6 \cdot 92} \cdot 800 = 1\,056\,000 \text{ kgcm}.$$

Die an der Stoßstelle auftretende größte Querkraft beträgt ungünstigenfalls, wenn nämlich das linke Rad der Laufkatze in Abb. 582 über dem Stoße steht:

$$Q = R \frac{(L - e' + L - e' - B)}{L} = R \frac{2L - 2e' - B}{L} = 6600 \frac{2 \cdot 1200 - 2 \cdot 396 - 115}{1200} = 8200 \text{ kg.}$$

Der Stoß wird durch zwei Laschen über dem Stegblech selbst sowie durch vier schmale Laschen auf den Gurtwinkeln gedeckt, Abb. 585. Die Niete für die letzteren mögen, um die Gurtwinkelteilung möglichst wenig zu stören, mit einer Teilung $\frac{e}{2} = 60 \text{ mm}$ mitten zwischen die Halsniete gesetzt werden. Dabei kommt je eines auf die Stoßfuge zu liegen, Niete, die bei der folgenden Berechnung unberücksichtigt bleiben sollen. Nimmt man auf den Hauptlaschen des einfacheren Anreißens wegen zweireihige Parallelnietung und beiderseits des Stoßes je 14 Niete an, so ergibt sich nach Skizze 585 ein Nietabstand von 110 mm und eine Belastung N_1 der Niete in der schmalen Lasche, die am weitesten von der Nulllinie abliegen, durch das Moment M_{bs} nach Formel (148):

$$N_1 = \frac{M_{bs} \cdot a_1}{\sum a^2} = \frac{1056000 \cdot 40,5}{4(11^2 + 22^2 + 33^2 + 40,5^2)} = 3210 \text{ kg.}$$

Dazu tritt die Belastung durch die Querkraft (147):

$$N_Q = \frac{Q}{n} = \frac{8200}{18} = 455 \text{ kg,}$$

die zu einer Gesamtbelastung:

$$N = \sqrt{N_Q^2 + N_1^2} = \sqrt{455^2 + 3210^2} = 3240 \text{ kg}$$

führt. Die Beanspruchung der zweischnittigen Niete auf Gleitwiderstand:

$$k_n = \frac{N}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{3240}{\frac{\pi \cdot 2^2}{4}} = 1030 \text{ kg/cm}^2,$$

auf Abscheren:

$$\sigma_s = \frac{N}{2 \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{3240}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 2^2}{4}} = 515 \text{ kg/cm}^2$$

und auf Leibungsdruck:

$$p_0 = \frac{N}{d \cdot t} = \frac{3240}{2 \cdot 1} = 1620 \text{ kg/cm}^2$$

sind im Vergleich mit den Zahlen der Zusammenstellung 79 und den preußischen Ministerialbestimmungen über Hochbauten, Seite 311, niedrig; die Ausführung ist also ohne weiteres zulässig.

Eine Verminderung der Niete in der Hauptlasche auf 12 würde zwar zu einer besseren Ausnutzung derselben, aber zu einer Überschreitung der Mindestentfernung $6d = 120 \text{ mm}$ führen und ist deshalb nicht empfehlenswert.

Berechnung der Gurtstöße, Abb. 586. Der Stoß der Gurtbleche a ist am Untergurt durch eine 180 mm breite, 10 mm dicke

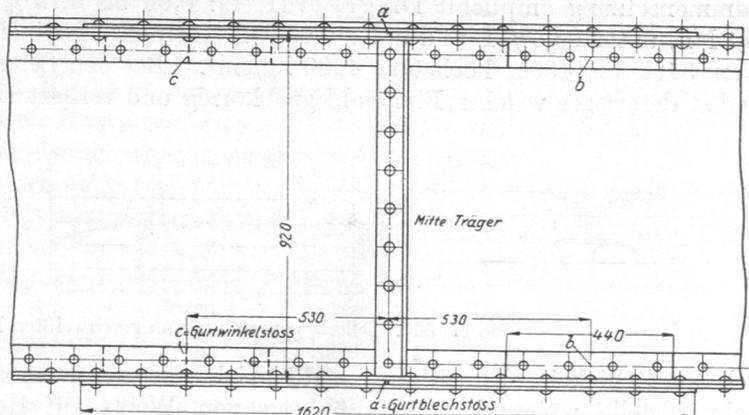


Abb. 586. Gurtstöße am Blechträger Abb. 582.

die flache Kranschiene und zwei daneben angeordnete Laschen von 70 mm Breite und 12 mm Stärke gedeckt. Dieselben Stücke dienen dem gleichen Zweck an den um 530 mm

beiderseits der Mitte versetzten Stößen b und c der Gurtwinkel und mußten deshalb ziemlich lang gehalten werden.

Kraft im Gurtblech; vgl. Abb. 583, $P_1 \approx (b - 2d) \cdot s_1 \cdot \sigma_b = (18 - 2 \cdot 2) \cdot 1 \cdot 833 = 11660$ kg. Anzahl der zur Übertragung nötigen einschnittigen Niete von je

$$N = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot k_n = \frac{\pi}{4} 2^2 \cdot 600 = 1880 \text{ kg Tragfähigkeit:}$$

$$n' = \frac{P_1}{N} = \frac{11660}{1880} = 6,2,$$

beiderseits also je drei Niete.

Kraft in einem der Gurtwinkel $P_2 \approx f \cdot \sigma_b = 15,1 \cdot 833 = 12580$ kg. Nietzahl:

$$n'' = \frac{P_2}{N} = \frac{12580}{1880} = 6,7,$$

rund je vier Niete für jeden Flansch. Aus diesen Zahlen ergibt sich konstruktiv die Länge der Deckstreifen und die Lage der Stöße der einzelnen Teile.

Siebenter Abschnitt.

Verbindungen durch Schweißen und Löten.

I. Schweißen.

Unter Schweißen versteht man die Vereinigung zweier Stücke durch Druck- oder Schlagwirkung im hochoverhitzten, festen oder teigigen Zustande, faßt darunter aber auch die neueren Verfahren zusammen, die auf dem unmittelbaren Zusammenschmelzen der Teile oder auf dem Einschmelzen von Werkstoff längs der Fuge beruhen (Schmelzschweißung). Die erste Art wird beim Schweißen im Koksfeuer und in der Wassergasflamme vorzugsweise auf weichen Schweiß- und Flußstahl angewendet, wobei die Vereinigung um so leichter und sicherer möglich ist, je ärmer das Eisen an Kohlenstoff ist. Hoher Kohlenstoffgehalt macht das Eisen gegenüber den notwendigen beträchtlichen Hitzegraden empfindlich. Mangan scheint günstig, Silizium in Mengen von mehr als 0,2% ungünstig zu wirken. Als geeignetste Zusammensetzung empfiehlt Diegel [VII, 1]: 0,06 bis 0,12% C, unter 0,01% Si, 0,45 bis 0,8 Mn, unter 0,05% P und unter 0,05% S. Siemens-Martineisen zeigt dabei Festigkeiten von 3400 bis 4000, höchstens 4500 kg/cm². Bei den Schweißtemperaturen wird aber selbst derartiger weicher Flußstahl grobkörnig und verliert an Festigkeit, sowie nament-

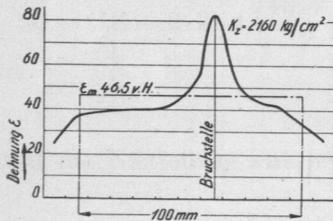


Abb. 587. Dehnungsverteilung an einem ungeschweißten Kupferstabe.

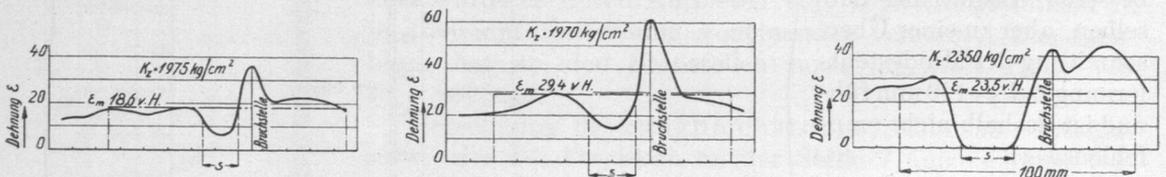


Abb. 588 bis 590. Dehnungsverteilung an geschweißten Kupferstäben.

lich an Zähigkeit, Einwirkungen, die sich nur durch mechanische Bearbeitung der Schweißstelle während der Abkühlung von Weiß- auf Rotglut, durch Walzen oder Hämmern genügend beseitigen lassen.

Den Einfluß dieser nachträglichen Bearbeitung zeigen deutlich die Abb. 587 bis 590, die bei Zugversuchen gewonnen wurden, welche Verfasser Gelegenheit hatte, an Kupferstäben durchzuführen, die nach dem Canzlerschen Verfahren schräg überlappt geschweißt