

# Schraubenverbindungen - Stand der Technik

Autor(en): **Martinaglia, L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **119/120 (1942)**

Heft 10

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-52322>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Schraubenverbindungen - Stand der Technik. — Die Waliser Volksheilstätte in Montana. — Gesteinskluftung und Stollenbau. — Mitteilungen: Eidg. Techn. Hochschule. Warum wir auf den Schweizer

Bahnen links fahren. Persönliches. Sparsames Vorlöten von Rohren. Ein Tunnel von 16,5 m Breite. — Nekrolog: Friedrich Spengler. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

Band 119

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 10

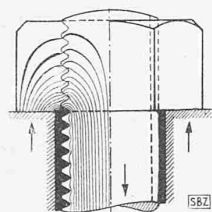


Abb. 1. Kraftfluss in einer Mutterschraube

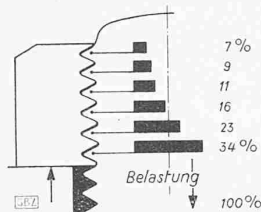


Abb. 2. Lastverteilung auf die einzelnen Muttergänge

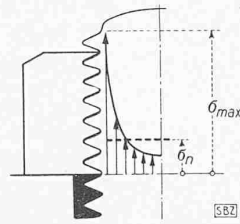


Abb. 3. Belastungs-Verteilung auf den Kernquerschnitt

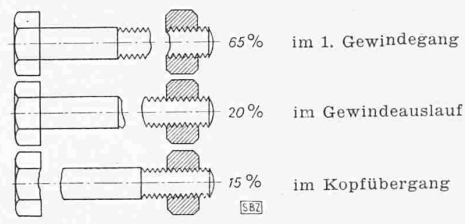


Abb. 4. Bruchlage und prozentuale Verteilung der Brüche an normalen Mutterschrauben

## Schraubenverbindungen — Stand der Technik

Von Dipl. Ing. L. MARTINAGLIA, Winterthur, Ingenieur der Zentralstelle für Gestaltfestigkeitsfragen bei Gebr. Sulzer A.-G.

Die Schraubenverbindung gehört zu den wichtigsten und am meisten angewendeten Maschinenelementen. Die zweckmässige Gestaltung der Schraube, die mit dem Einbau zusammenhängenden Fragen und ihr Verhalten im Betrieb sind aber trotzdem vielen Konstrukteuren noch nicht genügend bekannt. Dies liegt am ziemlich verwickelten inneren Aufbau der Schraubenverbindung, der es unmöglich macht, die tatsächlich auftretenden Kräfte und die Spannungsverteilung mit einfachen Beziehungen zu erfassen oder gar rechnungsmässig zu verfolgen.

Das letzte Jahrzehnt hat auf dem Gebiete der Schraubenforschung eine Fülle von Untersuchungen mit daraus hervorgegangenen neuen Erkenntnissen gebracht. Insbesondere hat die Frage der konstruktiven Gestaltung der Schraubenverbindung besondere Beachtung gewonnen, seitdem versuchsässig nachgewiesen wurde, dass die Schraube mit vermindertem Schaftdurchmesser, die *Dehnschraube*, die Haltbarkeit bei dynamischer Beanspruchung bedeutend erhöhte und auch kleinere Formverbesserungen wesentliche Festigkeitsgewinne zeitigten. Besonders von Prof. Dr. A. Thum<sup>1)</sup> und seinen Mitarbeitern sind ausgedehnte Versuche über das Schraubenproblem angestellt worden, die sich auf alle Faktoren erstrecken, die die Dauerhaltbarkeit der Schraubenverbindung beeinflussen.

Die vorliegende Arbeit bezweckt, die in der Fachliteratur weit zerstreuten Forschungsergebnisse dem Konstrukteur zusammengefasst zur Verfügung zu stellen.

### 1 Einige grundlegende Tatsachen

**11 Der Kraftfluss in der Schraubenverbindung.** In einer belasteten Schraubenverbindung wird der Kraftfluss durch den Gewindebolzen über die Mutter in den verspannten Teil um 180° umgelenkt. Diese starke Richtungsänderung bedingt eine Zusammendrängung der Kraftlinien (eine Spannungskonzentration) in den ersten zwei tragenden Gewindegängen, der grösste Anteil der Last wird von diesen aufgenommen (Abb. 1).

**12 Verteilung der übertragenen Last auf die einzelnen Gänge der Mutter.** Berechnungen haben ergeben, dass sich bei einer normalen Mutter mit sechs im Eingriff stehenden Gängen und Withworthgewinde die Belastungsverteilung nach Abb. 2 ergibt. Je nach Gewindeart werden bis zu 75% der übertragenen Last von den ersten zwei Gewindegängen aufgenommen. Dieser Anteil ist umso grösser, je steifer die Gewindegänge sind; Flachgewinde erreichen die genannte Grenze, während Spitzgewinde eine günstigere Verteilung aufweisen.

**13 Verteilung der Beanspruchung über den Kernquerschnitt.** Die Beanspruchung ist nun nicht gleichmässig über den Kern eines Ganges verteilt. Durch Kerbwirkung entsteht im Gewindegrund eine örtlich erhöhte Beanspruchung, eine Spannungsspitze (Abb. 3). Ist  $\sigma_n$  die gerechnete mittlere Beanspruchung:

$$\sigma_n = \frac{\text{Belastung}}{\text{Kernquerschnitt}}$$
 und  $\sigma_{\max}$  die höchste im Gewindegrund tatsächlich auftretende Spannung, so ergibt das Verhältnis 
$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n} = \alpha_k$$
 die Formziffer, bei Spitzgewinden ohne wesentliche Ausrundung Werte bis 8.

<sup>1)</sup> Siehe SBZ, Bd. 108, S. 69\* (1936)

**14 Die hauptsächlich gefährdeten Stellen an der normalen Mutterschraube.** Wie Grosszahlversuche ergeben haben, ist eine belastete Mutterschraube besonders an drei Stellen gefährdet. Die Brüche treten vorzugsweise im ersten tragenden Gewindegang, im Gewindeauslauf und im Kopfübergang auf (Abb. 4); dies deckt sich auch mit Betriebsbeobachtungen. Diese drei Schwachstellen sind gekennzeichnet durch eine starke Zusammendrängung des Kraftflusses (Abb. 5). Bei konstruktiver Verbesserung einer Schraubenverbindung ist diesen Spannungskonzentrationen Beachtung zu schenken, dort müssen die Verbesserungen ansetzen.

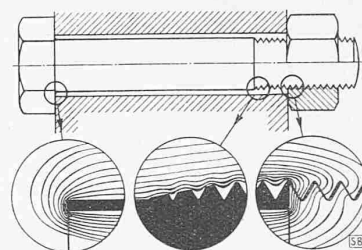


Abb. 5. Die 3 Schwachstellen der Schraube

### 2 Vorgänge in der belasteten Schraubenverbindung

**21 Vorgänge bei Zugbeanspruchung.** Um die in einer Schraubenverbindung wirkenden Kräfte zu ermitteln, sei der einfache Fall zweier mit einer Mutterschraube zusammengehaltener Flanschen betrachtet (Abb. 6). Sobald die Schraube mit dem Schlüssel vorgespannt wird, erhält sie eine Vorspannung  $V$  kg. Beim Anziehen wird der Schraubenschaft gedehnt; er wird um  $\lambda_V$  cm länger. Gleichzeitig werden die zusammengedrückten Teile (die Flanschen) etwas gestaucht, ihre gesamte Zusammenrückung betrage  $\delta_V$  cm.

In der Schraube wirkt:  $V = C_1 \cdot \lambda_V$  (kg)  
In den Flanschen wirkt:  $V = C_2 \cdot \delta_V$  (kg)

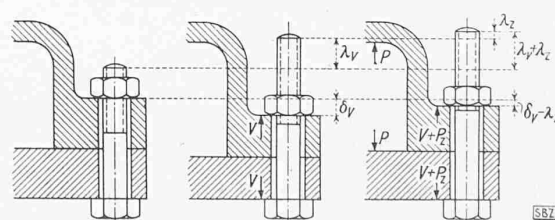


Abb. 6. Vorgänge in der Schraubenverbindung beim Anziehen und im Betrieb

$C_1$  ist die Federkonstante des Schraubenbolzens,  $C_2$  diejenige der verspannten Teile. Die Federkonstante  $C$  gibt an, mit wieviel kg ein Körper belastet werden müsste, um ihn um 1 cm zu verlängern oder zu stauchen. Die Federkonstante ist ein Mass für die Steifigkeit eines bestimmten Körpers, ihre Dimension ist kg/cm. Wirkt die Betriebskraft  $P$  kg auf die vorgespannte Verbindung, so wird sich die Schraube um den zusätzlichen Betrag  $\lambda_Z$  weiter verlängern. Ihre gesamte Längung beträgt dann  $\lambda_V + \lambda_Z$  cm. Gleichzeitig können sich aber die zusammengedrückten Teile wieder etwas entspannen. Ihre Stauchung wird auf den Betrag  $\delta_V - \lambda_Z$  zurückgehen. Die vorgespannte Schraube wird also nicht mit der ganzen Betriebskraft zusätzlich belastet, sondern ein Teil dieser Kraft wird zur Verminderung der Vorspannung in den zusammengedrückten Teilen verbraucht, und nur der übrigbleibende Rest  $P_Z$  wird von der Schraube aufgenommen.

Die Schraube wird im Betriebe belastet mit:

$$V + P_Z = C_1 (\lambda_V + \lambda_Z) \quad (\text{kg})$$

$P_Z$  ist die zusätzliche Belastung, die zur Vorspannung hinzukommt, ihre Grösse ist unmittelbar von der Steifigkeit der Schraube abhängig.

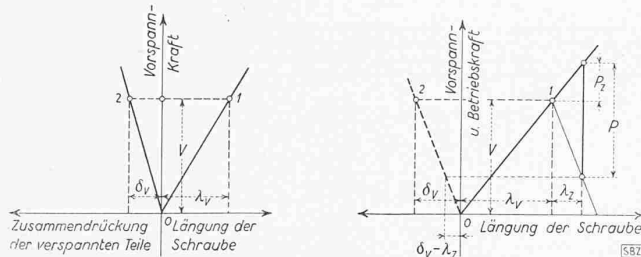


Abb. 7. Formänderungsdreiecke der Schraubenverbindung

Nimmt man an, dass die Verformungen in der Schraube und in den verspannten Teilen streng elastisch dem Hooke'schen Gesetze folgen, also zu den Kräften in einem linearen Verhältnis stehen, was normalerweise der Fall ist, so kann man die ganzen vorherbeschriebenen Vorgänge anschaulich durch das Formänderungsdreieck darstellen (Abb. 7). Beim Anziehen der Schraubenverbindung längt sich der Bolzen nach dem Linienzug  $O \dots 1$ ; die verspannten Teile stauchen sich unter dem Einfluss der Vorspannung nach dem Linienzug  $O \dots 2$ . Die vorgespannte Schraube hat sich unter der Vorspannkraft  $V$  kg um  $\lambda_V$  cm gelängt, während die verspannten Teile um  $\delta_V$  cm zusammengedrückt worden sind. Die Vorgänge beim Auftreten der Betriebskraft  $P$  sind vom Punkt 1 aus zu rechnen, da der Zustand der vorgespannten Schraube diesem Punkt im Formänderungsschaubild entspricht. Um eine gleichzeitige Betrachtung der Vorgänge in der Schraube und in den verspannten Teilen zu ermöglichen, ist durch den Punkt 1 die Parallele zur Linie  $O \dots 2$  gelegt. Wie auch aus dem Schaubild ersichtlich ist, wirkt nicht der ganze Betrag der Betriebskraft  $P$  zusätzlich auf die vorgespannte Schraube, sondern nur deren Teil  $P_Z$ . Der Anteil  $P_Z$  ist allein massgebend für die Dauerhaltbarkeit der Schraube, wie später gezeigt werden wird. Er ist abhängig von der Neigung der Formänderungsdreiecke der Schraubenverbindung, also von deren Federkonstanten oder Steifigkeit.

**22 Verdrehbeanspruchung.** Das beim Anziehen mit dem Schlüssel auf die Mutter ausgeübte Anzugsmoment wird einerseits in die gewünschte Längskraft umgesetzt und zum andern Teil zur Ueberwindung der Gewindereibung verbraucht, der Rest (für blanke Muttern 20 bis 35 %, für schwarze Muttern 30 bis 56 % des Anzugsmomentes) geht für die Auflagerreibung verloren. Die auftretenden Reibungskräfte erzeugen eine bleibende Verdrehbeanspruchung  $\tau_V$  im Schraubenschaft, die sich der Vorspannkraft überlagert. Im Durchschnitt verhält sich die in einer normalen Schraube (Withworth-Gewinde) nach dem Anziehen im Schraubenschaft zurückbleibende Verdrehbeanspruchung  $\tau_V$  zu den erzeugten Zugnennspannungen  $\sigma_{nV}$  etwa wie

$$\frac{\tau_V}{\sigma_{nV}} \approx 0,5.$$

Man muss also bei vorgespannten Schrauben mit einer zusätzlichen Verdrehbeanspruchung  $\tau_V$  im Kernquerschnitt von rd. 50 % der Zugbeanspruchung rechnen. Bei guter Schmierung wird die zusätzliche Verdrehbeanspruchung etwas geringer. Messungen haben ergeben, dass durch die Wirkung der auftretenden Verdrehbeanspruchung die Zugstreckgrenze der Schraube um rd. 25 % herabgesetzt wird. Die Vorspannung plus zusätzliche Kraft dürfen also 75 % der Zugstreckgrenze der Schraube nicht überschreiten.

### 23 Biegebeanspruchung.

Wird der Schraube durch die Formänderung der verspannten Teile eine Verformung aufgezungen, so kann aus der Gleichung der elastischen Linie  $M_b \varrho = EJ$  die theoretische Biegebeanspruchung errechnet werden. Mit dem Wert  $\varrho = l_s / \text{arc } \alpha$

aus der Abb. 8 ergibt sich:

$$W_b \sigma_b \frac{l_s}{\text{arc } \alpha} = EJ \quad \text{und} \quad \sigma_b = E \frac{J}{W_b} \frac{\text{arc } \alpha}{l_s}$$

$$\text{oder} \quad \sigma_b = E \frac{d_s}{2} \frac{\text{arc } \alpha}{l_s}$$

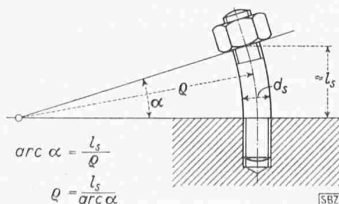


Abb. 8. Schraube bei Biegebeanspruchung

Nach dieser Gleichung findet man zu hohe Biegespannungen, da sich in Wirklichkeit der Bolzen nicht so stark verformt, weil das stets vorhandene Flankenspiel und die Verformung der Auflageflächen der Mutter und der Gewindeflanken die aufgezogene Formänderung etwas ausgleicht. Zu Vergleichszwecken lässt sich aber die abgeleitete Beziehung gut gebrauchen. Man kann aus ihr die Möglichkeiten zur Verringerung der Biegebeanspruchung entnehmen.  $\sigma_b$  wird kleiner durch: 1. Verringern des Schaftdurchmessers; also Dehnschraube! 2. Vergrössern der Schaftlänge. 3. Möglichst starre Ausbildung der verspannten Teile, um die Verformungen und damit den Winkel  $\alpha$  klein zu halten.

### 3 Massnahmen zur Erhöhung der Dauerfestigkeit der Schraube

**31 Gewindeform.** Eine grosse Ausrundung im Gewindegrund vermindert die Kerbwirkung erheblich (Abb. 3). Besonders bei schlagartiger oder stossförmiger Beanspruchung sollen Gewinde mit grosser Ausrundung gewählt werden (Abb. 9). Bei besonders gefährdeten wichtigen Schraubenverbindungen schreiten manche Konstrukteure zur Anwendung von (heute noch nicht normierten) Gewinden mit besonders grosser Ausrundung im Gewindegrund (Abb. 10) und erreichen damit grössere Bruchsicherheiten.

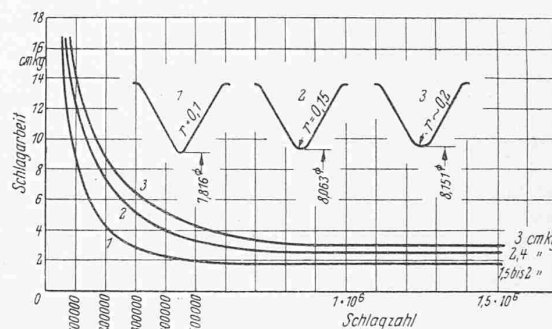


Abb. 9. Einfluss der Ausrundung im Gewindegrund auf die Dauerhaltbarkeit bei Schlagbeanspruchung

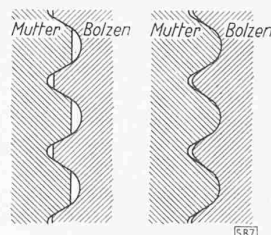


Abb. 10. Spezialgewinde mit sehr grosser Ausrundung für besonders hoch belastete Schraubenverbindungen

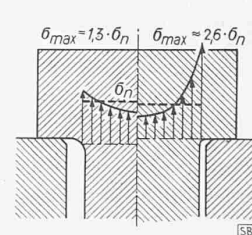


Abb. 11. Ausrundung am Kopfübergang bei der Dehnschraube und der normalen Starrschraube

**32 Kopfübergang.** Um beim Kopfübergang die Kerbwirkung herabzusetzen, ist ein grosser Ausrundradius anzustreben, was diese dritt wichtigste Schwachstelle der Schraube verbessert. Bei der Normalschraube ist dies nicht genügend weit möglich, dagegen erlaubt die Anwendung der Dehnschraube eine bedeutend grössere Kopfausrundung, ohne die Auflagefläche zu verringern (Abb. 11). Die Rundung muss sauber hergestellt werden, damit ihr Wert nicht durch den Einfluss von Bearbeitungsriefen herabgesetzt oder gar aufgehoben wird.

**33 Länge des freien Gewindes.** Versuche haben gezeigt, dass ein längeres freies (ausserhalb der Mutter befindliches) Gewindestück bei schwingender und stossförmiger Belastung die Dauerhaltbarkeit erheblich verbessert (Abb. 12). Die freie Gewindelänge wirkt als Zwischenglied elastischer als der volle Bolzen. Eine grosse freie Gewindelänge ist bei Normalschrauben anzustreben (Abb. 13).

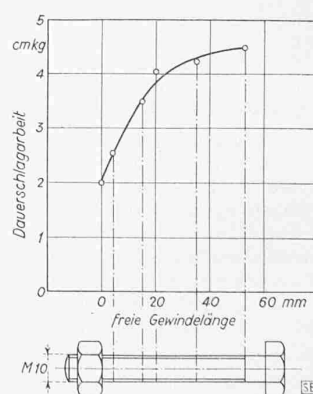
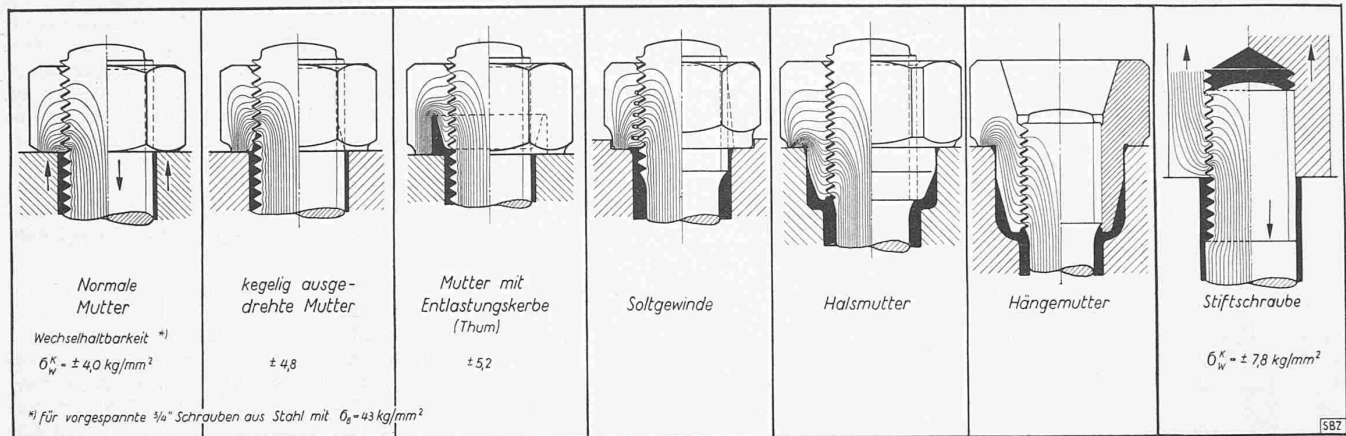


Abb. 12. Einfluss der freien Gewindelänge auf die Dauerhaltbarkeit bei Schlagbeanspruchung von Normalschrauben



Mutterformen Abb. 14

Abb. 15

Abb. 16

Abb. 17

Abb. 18

Abb. 19

Abb. 20

**34 Ausbildung der Mutter.** Die hohe Beanspruchung im ersten tragenden Gang der Mutter kann ebenfalls durch konstruktive Massnahmen vermindert werden. Alle Versuche, diese Stelle zu verbessern, zielen daraufhin, den stark zusammenge-drängten Kraftfluss (Abb. 14) in den ersten Gängen der Mutter aufzulockern und so die Kraftübertragung auf sämtliche im Eingriff stehenden Gewindegänge besser zu verteilen.

Der in der normalen Mutter stark in den ersten tragenden Gang zusammengedrückte Kraftfluss wird durch kegeliges Ausdrehen etwas aufgelockert (Abb. 15). Man verhindert durch Wegnahme von Material ein starkes Uebertragen der Schraubenkraft durch die untern Gewindegänge und erreicht damit eine bessere Verteilung; mit dieser Massnahme hat man versuchsmässig Steigerungen der Dauerhaltbarkeit von etwa 20% gemessen. Selbstverständlich kann das kegelige Wegschneiden der Gewindegänge auch in den Bolzen verlegt werden. Eine weitere Verteilung des Kraftflusses bewirkt die Entlastungskerbe (Abb. 16), die mit 30% eine erhebliche Verbesserung des ertragbaren Spannungsausschlages bringt. Eine gleichmässige Verteilung der Schraubenkraft auf die im Eingriff stehenden Gänge erreicht Solt<sup>2)</sup> (Abb. 17). Die Gewindegänge werden gegen die Auflage der Mutter hin wachsend mit einem abgerundeten Stahl derart hinterstochen, dass die Biegesteifigkeit der einzelnen Gänge gegen die Auflage hin ständig kleiner wird. Diese wirksame Massnahme ist jedoch nur für sehr grosse Schraubenverbindungen ausführbar und fabrikatorisch nicht einfach; sie gelangt daher selten zur Ausführung. Besonders bei grossen, hochbeanspruchten Schraubenverbindungen wendet man die Halsmutter (Abb. 18) oder ihre Weiterentwicklung, die Hängemutter (Abb. 19) an. Ihre Vorteile liegen darin, dass bei der Halsmutter die am meisten tragenden Gewindegänge oder bei der reinen Hängemutter alle Gewindegänge in einem auf Zug beanspruchten Hals liegen, so dass sich diese sowohl im Bolzen wie in der Mutter gleichsinnig verformen. Damit ist eine bessere Lastverteilung sowieso gegeben. Ausserdem wird der Kraftfluss ohne starke Umlenkung übertragen. Die Hängemutter besitzt eine nach dem ersten tragenden Gang verjüngte Aussenform, um die obern Gänge mehr zum Tragen heranzuziehen. Durch eine besondere Ausbildung der Halsform kann man eine völlig gleichmässige Verteilung der Schraubenkraft auf die im Eingriff stehenden Gewindegänge erreichen.

**35 Einfluss des Mutterwerkstoffes.** Auch durch die Wahl des Mutterwerkstoffes kann die Kraftübertragung verbessert werden. Bei kleiner werdendem Elastizitätsmodul des Mutter-

werkstoffes wird die Lastverteilung günstiger, weil dadurch die Biegesteifigkeit der Muttergänge geringer wird und diese so ein grösseres Formänderungsvermögen erhalten. Dauerversuche mit Gusseisen- oder Leichtmetallmuttern ergaben bessere Werte als Stahlmuttern. Selbstverständlich wird die Anwendung des Gusseisens als Mutterwerkstoff ausser in Spezialfällen von Gewinde-Verbindungen kaum zu rechtfertigen sein, da die Mutterabmessungen aus betrieblichen Gründen stark vergrössert werden müssten. Dagegen kann aus diesem Verhalten die Ueberlegenheit der in Guss sitzenden Stiftschraube über die in Stahl eingeschaubten erklärt werden.

**36 Anwendung der Stiftschraube.** Die gleichen Richtungen der Formänderungen in den Gängen des Gewindeloches und Bolzens, die günstige, nur schwach umgelenkte Führung des Kraftflusses (Abb. 20) bedingen eine bemerkenswert höhere Dauerfestigkeit der Stiftschraube gegenüber der Mutterschraube (Durchsteckschraube). Eine  $\frac{3}{4}$ "-Stiftschraube erträgt einen um 90% höheren Spannungsausschlag als die entsprechende Mutterschraube. Handelt es sich um knapp bemessene Schraubenverbindungen, dann ist aus diesem Grunde die Stiftschraube anzustreben. Bei Guss und Leichtmetall ist allerdings der Lockerung des Gewindes bei mehrfachem Demontieren Beachtung zu schenken.

**37 Ausführung von Bolzen.** Die schwächste Stelle des normalen Bolzens kann durch mehrere konstruktive Massnahmen entlastet werden (Abb. 21). Bei Beachtung dieses Problems ist zu bemerken, dass beim Bolzen die Wirkung der Einspannung beim ersten tragenden Gang noch hinzukommt.

**38 Um die Wirkung des Gewindeauslaufes herabzusetzen,** sollte auch bei normalen Schrauben eine möglichst lange Gewinderille angestrebt werden. Die Rille muss mindestens 0,5d lang und deren Durchmesser 0,2...0,3 mm unter dem Kerndurchmesser abgedreht sein, damit der auslaufende Gewindestahl keine Spuren hinterlässt (Abb. 22). Man erhält so mit einem einfachen und billigen Mittel eine Steigerung der Dauerhaltbarkeit, besonders wenn die Schraube zusätzliche Biegekräfte durch Zwangsverformungen aufzunehmen hat.

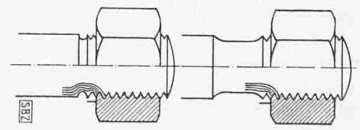
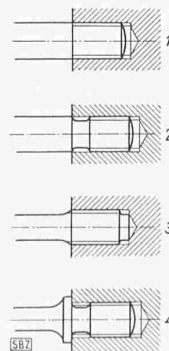


Abb. 22. Ausführung der Gewinderille

Abb. 21 (links). Ausbildung der Bolzen



- 1 Normale Stiftschraube (Bolzen): Im gefährdeten ersten Gang zusätzl. Beanspruchung durch die Einspannung, empfindlich bei zusätzl. Biegung
- 2 Besser: erste tragende Gewindegänge aus der gefährlichen Zone gezogen, weniger biegeempfindlich
- 3 Besser als 1 und 2: erste tragende Gewindegänge von der Einspannung entlastet (Bolzen sitzt unten auf!). Entlastung von zusätzlicher Biegung durch den elastischen Schaft
- 4 Beste aber teuerste Lösung: weitgehende Entlastung des Gewindes von der Biegebeanspruchung

<sup>2)</sup> Vgl. SBZ, Bd. 98, S. 207\* (1931).

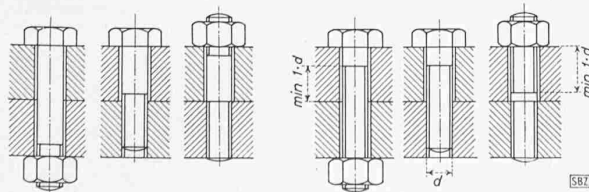


Abb. 13. Richtlinien für die Anwendung der günstigen freien Gewindelänge bei Normschrauben

Links ungünstig  
Schraube empfindlich gegen Schlag und zusätzl. Biegung

Rechts besser  
Schraube elastischer, weniger empfindl. gegen zusätzl. Biegung

#### 4 Die Dehnschraube

Obwohl aus der theoretischen Betrachtung des Schrauben-Problems und aus einer grossen Anzahl von Versuchen die Ueberlegenheit der Dehnschraube über die Normalschraube mit starrem Schaft hervorgeht, ist sehr oft eine gewisse Ablehnung dieser beanspruchungsgerechteren Gestalt der Schraube zu beobachten.

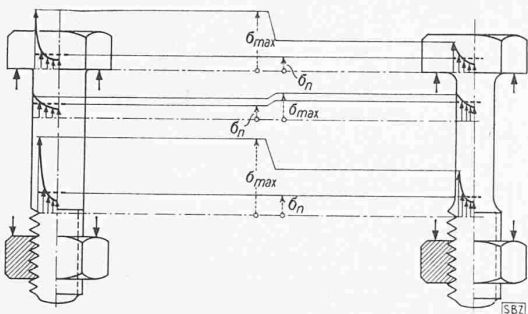


Abb. 23. Normalschraube und Dehnschraube  
Beanspruchung im ersten tragenden Gewindegang gleich hoch  
Beanspruchung im Kopfübergang hoch  
Beanspruchung im Gewindeauslauf hoch  
Schraube starr, Zusätzliche Biegung und Verformung durch Schlag werden hauptsächlich vom freien Gewindeteil aufgenommen  
Beanspruchung im Kopfübergang vermindert durch grosse Ausrundung  
Beanspruchung im Gewindeauslauf vermindert durch besseren Kraftfluss  
Schraube elastisch, Zusätzliche Biegung und Verformung durch Schlag werden vom ganzen elastischen Schaft aufgenommen

Man muss sich von dem falschen Gefühl freimachen, dass das Zurückdrehen des Schraubenschaftes eine Schwächung der Schraube bedeute (Abb. 23). Massgebend für die Festigkeit einer Verbindung ist ihre schwächste Stelle, bei der Schraube also der Querschnitt, in dem die höchste Spannungsspitze auftritt. Diese Stelle ist der erste tragende Gewindegang (Abb. 2 und 3). Die Tatsache, dass man ein Konstruktionselement oft durch Anbringen einer Zusatzhohlkehle oder Wegnahme von Material erheblich verbessern kann, gilt auch für die Schraube; der Dehnschaft entlastet durch seine grössere Elastizität die drei Schwachstellen der Schraube erheblich (Abb. 5). Ein elastisches Bauglied wird unvorhergesehene Spitzenkräfte gleichmässiger auf den ganzen Teil verteilen und damit unschädlich machen.

41 Schwingend und schlagartig beanspruchte Schrauben. Bei schwingend und schlagartig beanspruchten Schrauben ergibt das Zurückdrehen des Schaftes bruchsicere Schraubenverbindungen. Wie günstig sich das Verringern des Schaftdurchmessers auf die Grösse der für eine Schraube dauernd ertragbaren Schlagarbeit oder Wechsellast auswirkt, zeigen Grosszahlversuche (Abbildungen 24 und 25). Die Dehnschraube vermag durch ihre grössere Elastizität höhere Schlagarbeiten und Wechsellasten aufzunehmen ohne zu brechen. Bei stossweise, schlagartig und schnell beanspruchten Schraubenverbindungen oder Konstruktionselementen mit Gewinden sollte der Schaftquerschnitt wo immer möglich herabgesetzt werden.

Selbstverständlich wird man nur hochbeanspruchte oder betriebswichtige Schrauben als Dehnschrauben ausbilden. 95 % aller Schrauben im allgemeinen Maschinenbau sind weit unter ihrer

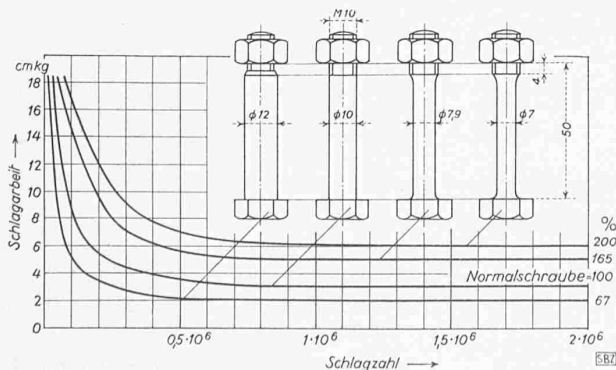


Abb. 24. Einfluss des Schaftdurchmessers auf die Höhe der ertragbaren Dauerschlagarbeit

Dauerhaltbarkeit beansprucht. Die reinen Befestigungs- und Sicherungsschrauben an Putzdeckeln, Gehäusen, Verschalungen, Bedienungsöffnungen, Supporten, Gestellen, Wannen, Flanschen, Ständern usw., überhaupt alle Schrauben, die keine wesentlichen Betriebskräfte aufzunehmen haben und deren Aufgabe es ist, nicht kraftleitende Teile zu verbinden, sind normalerweise aus Montagegründen stark überbemessen. Hier ist die billige Magazinschraube richtig; die teure Spezialschraube soll nur in einer stark belasteten Verbindung verwendet werden. Für alle Fälle, wo wesentliche Betriebsbeanspruchungen (Massendrucke, Gas- und Flüssigkeitsdrücke, grosse Momente) wirken, ist die Dehnschraube anzustreben.

42 Durch Zwangsverformung zusätzlich beanspruchte Schrauben. Wärmedehnungen, Montagespannungen und die Beanspruchung bei auftretender Belastung verändern die Form der zusammengeschraubten Maschinenelemente, indem sich die im entlasteten Zustand ebenen Querschnitte krümmen. Dadurch werden die Auflageflächen der Schraubenköpfe und Muttern aus ihrer vorher parallelen Lage verschoben; die Schraube wird sich den elastischen Verformungen der zusammengeschraubten Teile anpassen, ihr Schaft wird verbogen und dadurch auf Biegung beansprucht. Gerade bei der Betrachtung des Schraubenproblems von dieser Seite wird der grosse Vorteil der Dehnschraube offenbar (Abb. 26).

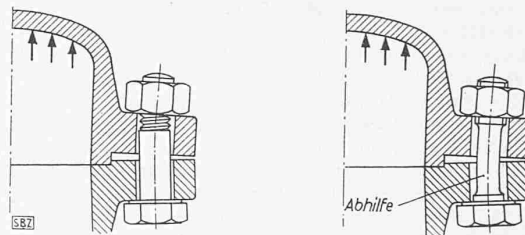


Abb. 26. Vorteile der Dehnschraube bei Zwangsverformung

Normalschraube starr; die Biegeverformung wird hauptsächlich vom freien Gewindeteil aufgenommen, Biegeschwächster Querschnitt: Gewinde (hohe Formziffer!)

Dehnschraube biegeelastisch; der ganze Schaft nimmt die Verformung auf und entlastet so das Gewinde. Biegeschwächster Querschnitt: Schaft (Formziffer  $\approx 1$ )

43 Durch Schlagbeanspruchung beanspruchte Schrauben. Eine eingeleitete Schlagarbeit muss in Verformungsarbeit umgesetzt werden, und zwar so, dass nur elastische Formänderungen auftreten. Die auftretenden Spannungen müssen unter der Streckgrenze bleiben, damit keine Längungen und somit

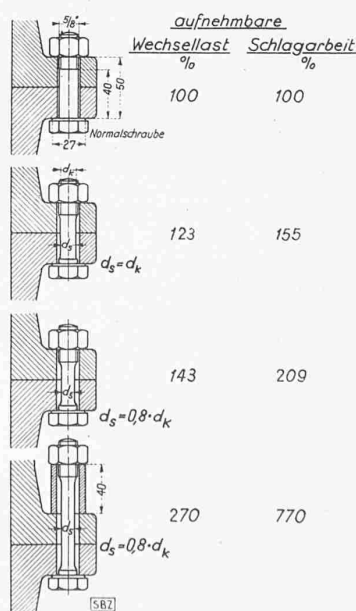


Abb. 25. Verbesserung der Dauerhaltbarkeit der Schraube durch Anwendung der Dehnschraube bei schwingender und schlagartiger Beanspruchung

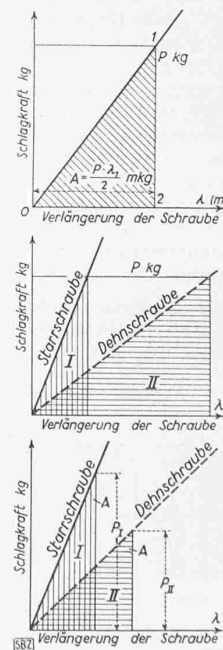


Abb. 27/29. Verhalten der Schraube bei Schlagbeanspruchung

Lockerwerden der Schraube auftreten. Die Schlagarbeit, die von der Schraube aufgenommen wird, ist  $A = \frac{P \lambda}{2}$  (m kg), sie wird durch das Dreieck 0-1-2 (Abbildung 27) dargestellt. Ist eine Schlagarbeit von bestimmter Grösse  $A$  mkg von der Schraube aufzunehmen, so ist die Höhe der auftretenden Schlagkraft  $P$  kg von der Steifigkeit der Schraube abhängig, d. h. die Beanspruchung (im Kernquerschnitt gerechnet) wird umso höher sein, je steifer die Schraube ist. Die Dehnschraube nimmt bei gleicher Beanspruchung eine grössere Schlagarbeit auf (Abb. 28), oder beim Aufnehmen einer bestimmten Schlagarbeit wird in der Dehnschraube eine kleinere Schlagkraft auftreten (Abb. 29). Da diese für die Beanspruchung massgebend ist, ergibt sich, dass die Dehnschraube gegen Stoss und Schlag unempfindlicher ist als die Stahrschraube.

Bei stark wechselnden Querschnitten werden praktisch nur die im Querschnitt schwächeren Teile beansprucht, weil die eingeleitete Schlagarbeit fast nur durch die Verformung dieser Teile vernichtet wird. Haben diese schwächeren Querschnitte örtlich nur eine geringe Ausdehnung (z. B. kurze Gewinderillen oder kurze Eindrehungen im Schaft), so besitzen sie auch nur ein geringes Arbeitsvolumen, die Beanspruchung wird darum hoch (Abb. 30). Grosse Dehnlängen mit hohem Arbeitsvolumen sind also anzustreben und kurze Eindrehungen zu vermeiden (Abb. 22).

Die theoretischen Ueberlegungen werden durch Betriebsbeobachtungen sowie zahlreiche Prüfergebnisse in Dauerschlagwerken bestätigt (Abb. 24 u. 25).

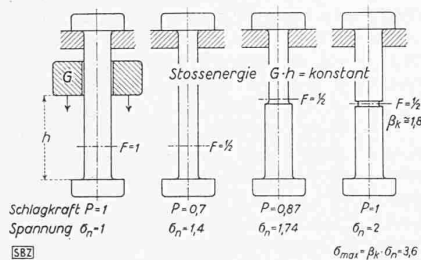


Abb. 30. Schlagbeanspruchung in Bauteilen von veränderlichem Querschnitt

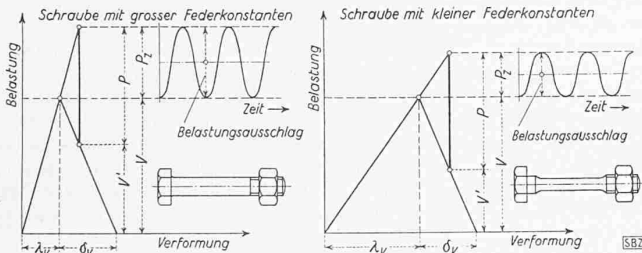


Abb. 31. Starrschraube und Dehnschraube im Betrieb

**44 Wirkung der wechselnden Betriebskraft.** Die Kräfteverhältnisse in der Schraubenverbindung bei der Starrschraube und Dehnschraube gehen aus dem Kraft-Verformungs-Schaubild (Abbildung 31) hervor. Sind die verspannten Teile in beiden Fällen gleich, so tritt bei der Dehnschraube trotz gleicher Betriebskraft  $P$  eine wesentlich geringere zusätzliche Kraft  $P_z$  auf, da ein grösserer Anteil der Betriebskraft zur Entspannung der zusammengeschraubten Elemente verbraucht wird. Dieser Einfluss der Steifigkeit ist für wechselnd beanspruchte Schraubenverbindungen von Bedeutung. Die Kraft  $P_z$  stellt die Schwellbelastung der Schraube dar. Wie schon gesagt wurde, ist nicht die absolute Höhe der Belastung  $V + P_z$  für die Dauerhaltbarkeit einer Schraubenverbindung massgebend, sondern — im normalen Vorspannungsbereich — allein die Grösse der zusätzlichen Kraft  $P_z$ , d. h. die Grösse des Spannungsausschlages.

**45 Bemessung des Dehnschaftes.** Der Durchmesser des Dehnschaftes kann nicht nach Belieben verkleinert werden: 1. beim normalen Anziehen muss eine Sicherheit gegen Ueberschreitung der Streckgrenze im Schaft (Abwürgen) gewährleistet sein; 2. im Betrieb darf die Zugwechselhaltbarkeit des Schaftes nicht überschritten werden. Das Verhältnis der Zugwechselhaltbarkeit des Gewindes  $\sigma_W^K$  (im Kernquerschnitt gerechnet) zur Zugwechselhaltbarkeit  $\sigma_{Wz}$  des Schaftes schwankt je nach Material zwischen:  $\sigma_W^K / \sigma_{Wz} = 0,45 \dots 0,70$ , und zwar zeigen die Werkstoffe mit hoher Zugfestigkeit den kleineren Verhältnisswert, da die Zugwechselhaltbarkeit geschnittener Gewinde mit steigender Zugfestigkeit nur wenig zunimmt, während die Zugwechselhaftigkeit glatter Stäbe fast proportional mit den Werten des statischen Zugversuchs wächst. Die Zahlentafel 1 gibt Anhaltswerte über die Bemessung von Dehnschaften.

**46 Wärmebeanspruchte Schrauben.** Für mittlere Drücke und Temperaturen bis zu  $400^\circ \text{C}$  sind sorgfältig hergestellte, nach neuen Prinzipien konstruierte, normale Maschinenschrauben im allgemeinen ausreichend. Bei Höchstdruckdampf und Temperaturen über  $400^\circ \text{C}$  treten in den Flanschverbindungen starke zusätzliche Beanspruchungen auf, deren Kenntnis für den Konstrukteur von ausserordentlicher Wichtigkeit ist. Gerade in Bezug auf die Ausbildung stark wärmebelasteter Hochdruckverbindungen findet man vielerorts vollständig voneinander abweichende, manchmal auch abwegige Gesichtspunkte.

**461 Beanspruchung wärmebelasteter Schrauben.** Die Gesamtbeanspruchung setzt sich aus folgenden Einzelspannungen zusammen:

1. Beanspruchung aus dem Dichtungsdruck (Vorspannung). Ihre Höhe ergibt sich aus dem Innendruck und der angewendeten Dichtungart (Hart- oder Weichdichtung).
2. Zusätzliche Beanspruchung durch die teilweise Aufnahme des Betriebsdruckes.
3. Zusätzliche Biegekräfte durch die Zwangsverformung der verspannten Teile.
4. Zusätzliche Zugkräfte, die durch den Temperaturunterschied zwischen Schraube und den verspannten Teilen entstehen und die besonders beim Anfahren durch die starke Temperaturvorwärmung im Flansch sehr hohe Werte annehmen können.
5. Zusatzkräfte, die durch die Wärmedehnung der ganzen Maschine und die dadurch bedingte Längenänderung ihrer Elemente auftreten.

**462 Werkstoffe für wärmebeanspruchte Schrauben.** Für die Auswahl von Werkstoffen ist ihr Verhalten in der Wärme massgebend; das entsprechende Prüfverfahren heisst — nicht sehr anschaulich — «Dauerstand»prüfung. Mit höherer Temperatur nimmt die Verformungsfähigkeit des Stahles zu; ausserdem dauert es längere Zeit, bis die bleibende Dehnung bei einem belasteten Stab ihren Endwert erreicht, der Prüfstab «kriecht». Die Zeit bis zum Stillstand dieses Fließens wird umso länger, je höher die Temperatur ist. Ueber einer gewissen Temperatur

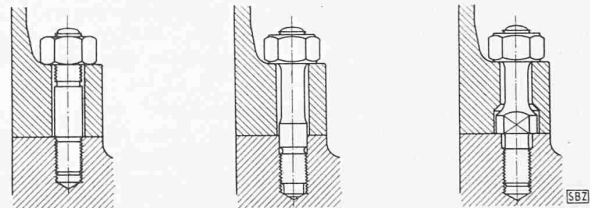


Abb. 32. Wärmebeanspruchte Bolzenverbindungen

**Normalbolzen**  
Hohe Biegespannungen im Gewindeauslauf, Einspannwirkung in der Gewinderille

**Versenkter Bolzen**  
Biegespannungen im Gewindeauslauf geringer. Bolzen sitzt unten auf; keine Verspannung in der Gewinderille. Stützwirkung des versenkten Schaftes und Entlastung durch den Dehnschaft

**Bolzen mit Bund**  
Weitgehende Entlastung des Gewindes von der Biegebeanspruchung. Lange Gewinderille, Dehnschaft

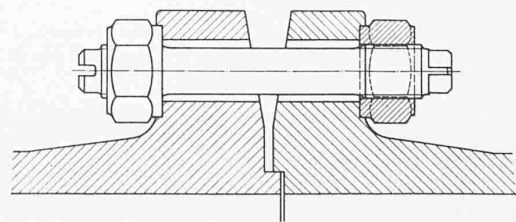


Abb. 33. Wärmebeanspruchte Hochdruckflanschverbindung. Gemässigter Dehnschaft, übergreifendes Muttergewinde

Zahlentafel 1

| Schrauben-<br>durchmesser<br>$d$<br>mm | engl.<br>$d$ | Verhältnis $= \frac{f_s}{f_k} = \frac{\text{Schaftquerschnitt}}{\text{Kernquerschnitt}}$<br>bei einer Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes von: |                       |                       |                        |
|----------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                                        |              | 40 kg/mm <sup>2</sup>                                                                                                                             | 60 kg/mm <sup>2</sup> | 80 kg/mm <sup>2</sup> | 100 kg/mm <sup>2</sup> |
|                                        |              | mm <sup>2</sup>                                                                                                                                   | mm <sup>2</sup>       | mm <sup>2</sup>       | mm <sup>2</sup>        |
| 31 und darüber                         | 1 1/4"       | 0,80                                                                                                                                              | 0,77                  | 0,72                  | 0,70                   |
| 28                                     | 1 1/8"       | 0,85                                                                                                                                              | 0,80                  | 0,75                  | 0,70                   |
| 25                                     | 1"           | 0,90                                                                                                                                              | 0,85                  | 0,80                  | 0,72                   |
| 22                                     | 7/8"         | 0,95                                                                                                                                              | 0,90                  | 0,85                  | 0,75                   |
| 20                                     | 3/4"         | 1,00                                                                                                                                              | 0,95                  | 0,90                  | 0,80                   |
| 18                                     | —            | Unter der Treppenlinie: 1,00                                                                                                                      |                       | 0,95                  | 0,85                   |
| 16                                     | 5/8"         | Schaftdurchmesser gleich Schraubendurchmesser, $d_s = d$ .                                                                                        |                       | 1,00                  | 0,90                   |
| 14                                     | —            |                                                                                                                                                   |                       |                       | 0,95                   |

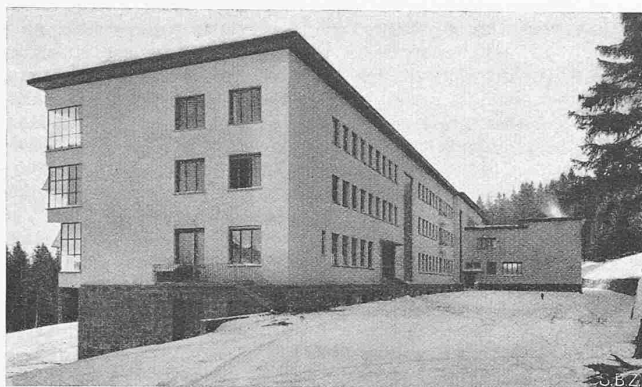


Abb. 3. Rückfront, von der Nordostecke gesehen

kommt das Kriechen überhaupt nicht mehr zum Stillstand, der Stab geht allmählich unter ständig zunehmender Verformung zu Bruch.

Dies beim glatten Stab. Bei gekerbten Teilen mit der sehr ungleichförmigen Spannungsverteilung ist das Formänderungsvermögen stark behindert, sodass bei langzeitigen Dauerstandversuchen das charakteristische Kriechen mit der starken Verformung nicht eintritt, der Bruch ist ein verformungsloser reiner Trennbruch. Man nimmt an, dass bei langwährender Temperatureinwirkung neben der gestaltbedingten Verformungsbehinderung noch Versprödungsvorgänge stattfinden. Die Ergebnisse von Dauerstandversuchen an glatten Stäben sind also nicht ohne weiteres als Grundlage zur Auswahl von warmfesten Schraubenwerkstoffen zu verwenden.

Heute verwendet man für die Schraubenbolzen hauptsächlich Chrom-Molybdän-Stähle, die noch mit Vanadin legiert sein können. Zu vermeiden sind nickellegierte Chromstähle, da sie trotz der an glatten Stäben gemessenen höheren Warmfestigkeit stark zur Warmversprödung neigen. Ungünstig verhalten sich ebenso Mangan-Silizium- und gekupferte Stähle.

**463 Gestaltung der warmfesten Schraube.** Auf Grund der angeführten Beanspruchungsverhältnisse gelten für Schrauben, die unter Last ständig hohen Temperaturen ausgesetzt sind, zum Teil die gleichen Grundsätze wie bei wechselbelasteten Schrauben: *Grosse Rundung im Gewindegrund; grosse Entlastungsübergänge; Kleinhalten von zusätzlichen Biegebeanspruchungen; Verminderter Schaftquerschnitt.* Für die Bemessung des Schaftes ist die Dauerstandfestigkeit des Werkstoffes massgebend. Da das Kriechen des Schaftes möglichst klein gehalten werden muss, kann man mit der Verminderung des Schaftes nicht so weit gehen, wie bei wechselbeanspruchten kalten Schrauben. Heissdampfschrauben werden mit Schaftdurchmessern ausgerüstet, der nur wenig kleiner als der Kerndurchmesser ist (nie aber gleich dem Kerndurchmesser, da der auslaufende Schneidstahl den Schaft beschädigen kann). Beispiele für die konstruktive Ausführung geben Abb. 32 und 33.

**464 Herstellung und Gewindeart von warmfesten Schrauben.** Ausserst saubere Bearbeitung der Gewindeflanken, des Schaftes,

der Entlastungsübergänge und der Mutterauflageflächen und der Dichtungen sind wichtig (siehe Abschnitt 61 bis 64). Verwendet werden vielfach Withworth-Feingewinde. Erstens haben sie den Vorzug, bei nahezu gleichem Gewindedurchmesser im Kernquerschnitt rund 10% grösser zu sein. Man kann also bei gleichen Flanschmassen einen grösseren Gesamtquerschnitt unterbringen. Zweitens sind sie besser anziehbar, da die Gewindeverformung kleiner ist; die notwendige hohe Vorspannung ist leichter zu erreichen.

**465 Einbau warmfester Schrauben.** Die Vorspannkraft wird aus dem notwendigen Dichtungsdruck errechnet; um diese Vorspannung beim Einbau einhalten zu können, wird sie durch Nachmessen der Schraubenverlängerung beim Anziehen überwacht (siehe Abschnitt 67). (Schluss folgt)

## Die Walliser Volksheilstätte in Montana

Von RAYMOND WANDER, Dipl. Arch. S.I.A., Zürich

Unterhalb des Kurortes Montana, auf 1350 m Höhe, inmitten eines schönen Lärchen- und Tannenwaldes, befindet sich der Neubau des Walliser Kantonalen Sanatoriums für Tuberkulose, der im August 1939 begonnen und Ende Mai 1941 eingeweiht wurde.

Das Bauprogramm, das natürlich weitgehend von den Bedingungen, die die verschiedenen Geldgeber, insbesondere eine private Stiftung stellten, beeinflusst worden ist, sah die Schaffung einer Abteilung für ungefähr 70 Männer und eine solche, räumlich von den Männern vollständig getrennte für 40 bis 50 Frauen vor. Die beiden Abteilungen sollten jedoch von der selben Küche, Waschküche und Heizung bedient werden und die gleichen medizinischen und chirurgischen Räume benutzen. Infolge der immerhin beschränkten Geldmittel und zur Vereinfachung des Betriebes kam nur die Unterbringung des ganzen zu erstellenden Baukomplexes unter einem Dach in Frage. Die verlangte räumliche Trennung von Männer- und Frauenabteilung wurde dadurch erreicht, dass der Ostflügel des 100 m langen Gebäudes den Männern reserviert ist, der westliche Teil hingegen den Frauen. In der Mitte, dazwischen geschoben, befinden sich die für beide Abteilungen gemeinsam zu benutzenden Einrichtungen und Räume, wie Küche, Wäscherei im Untergeschoss, medizinische und chirurgische Räume im Erdgeschoss, in den Obergeschossen die Zimmer für Frischoperierte beider Geschlechter, Privatzimmer und die katholische Hauskapelle, das Ganze kurz bezeichnet als medizinische Abteilung. Männer und Frauen haben je ihre separaten Eingänge, Treppenhäuser, Personenaufzüge und Aufenthaltsräume. Auch die «medizinische» Abteilung hat eine eigene Treppe, einen Eingang für ambulante Patienten und dazu den Bettenlift, der alle Patientenzimmer mit den Operationssälen und den Untersuchungsräumen verbindet.

Diese radikale Trennung der Geschlechter, wie sie bis jetzt sicherlich noch in keiner Heilstätte durchgeführt worden ist, prägt dieses Sanatorium zu einer Einzelercheinung. Sie hat den Vorzug der leichteren Disziplinierung der Kranken, den Nachteil aber des grösseren baulichen Aufwandes (doppelte Aufenthaltsräume, relative Weitläufigkeit der Anlage) und des komplizierteren Betriebes (doppelte Eingänge und Aufsicht). Für den Bau an und für sich verlangte der Bauherr, d. h. der Kanton Wallis, ganz allgemein, möglichst Einfachheit, aber solide und zweckmässige Ausführung.

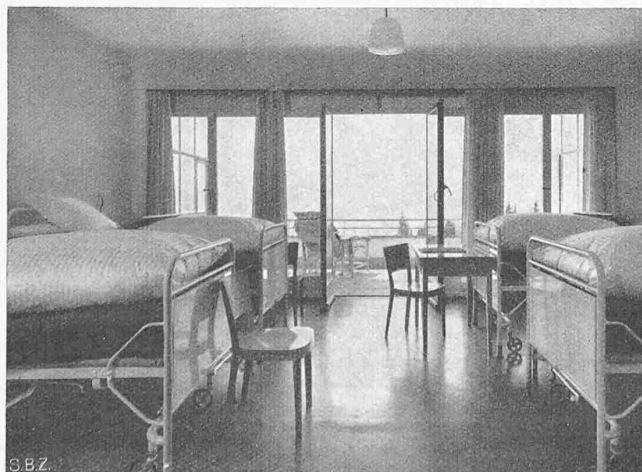


Abb. 4. Vierbetten-Krankenraum (1 in Abb. 8)

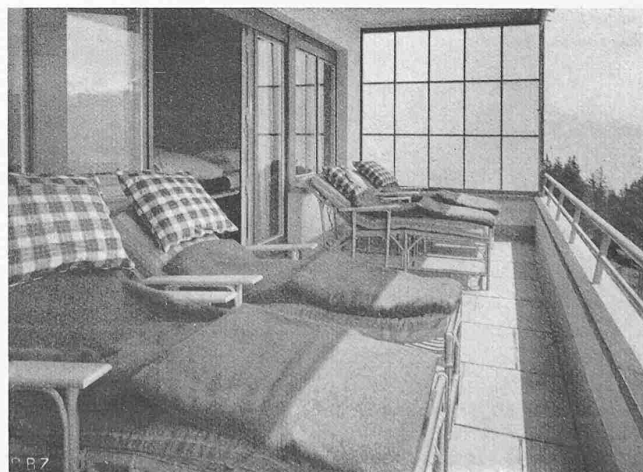


Abb. 5. Liegeveranda im 1. und 2. Obergeschoss