

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 119/120 (1942)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Schraubenverbindungen - Stand der Technik  
**Autor:** Martinaglia, L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-52322>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

INHALT: Schraubenverbindungen - Stand der Technik. — Die Walliser Volksheilstätte in Montana. — Gesteinsklüftung 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. — Vortragkalender.

## 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

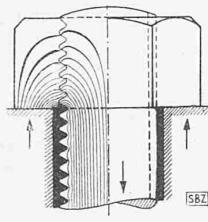


Abb. 1. Kraftfluss in einer Mutterschraube

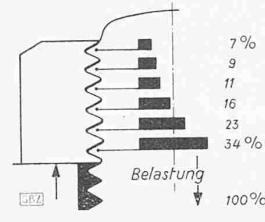


Abb. 2. Lastverteilung auf die einzelnen Muttergängen

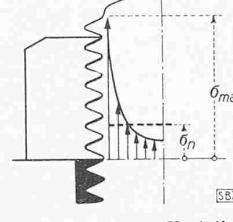


Abb. 3. Belastungs-Verteilung auf den Kernquerschnitt

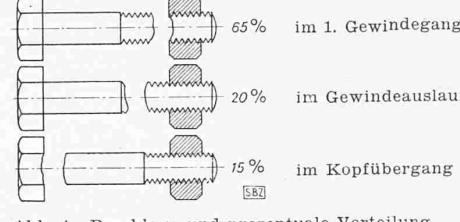


Abb. 4. Bruchlage und prozentuale Verteilung der Brüche an normalen Mutterschrauben

## 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 versuchsmässig nachgewiesen wurde, dass die Schraube mit verminderter 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 bezieht 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  $180^\circ$  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 Gewindegang eine örtlich erhöhte Beanspruchung, eine Spannungsspitze (Abb. 3). Ist  $\sigma_n$  die gerechnete mittlere Beanspruchung:

Belastung  $\sigma_n$  = Kernquerschnitt und  $\sigma_{max}$  die höchste im Gewindegang tatsächlich auftretende Spannung, so ergibt das Verhältnis

$\frac{\sigma_{max}}{\sigma_n} = \alpha_k$  die Formziffer, bei Spitzgewinden ohne wesentliche Ausrundung Werte bis 8.

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.

### 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 zusammengespannten Teile (die Flanschen) etwas gestaucht, ihre gesamte Zusammendrückung 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)

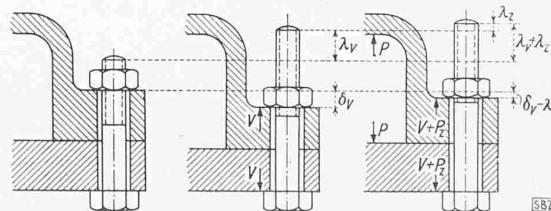


Abb. 6. Vorgänge in der Schraubenverbindung beim Anziehen und im Betrieb

$C_1$  ist die Federkonstante des Schraubenbolzens,  $C_2$  diejenige der verspannten Teile. Die Federkonstante  $C$  gibt an, mit wieviel kg ein Körper belastet werden muss, um ihn um 1 cm zu längen oder zu stauchen. Die Federkonstante ist ein Mass für die Steifigkeit eines bestimmten Körpers, ihre Dimension ist kg/cm. Wirkte 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 zusammengespannten 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 zusammengezogenen Teilen verbraucht, und nur der übrigbleibende Rest  $P_Z$  wird von der Schraube aufgenommen.

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

Die Schraube wird im Betriebe belastet mit:

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

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

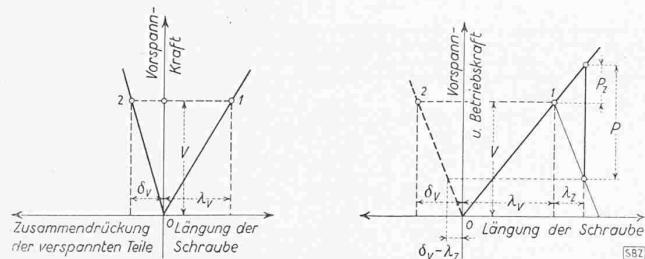


Abb. 7. Formänderungsdreiecke der Schraubenverbindung

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 vorgeschriebenen 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  $\delta_V$  cm gelängt, während die verspannten Teile um  $\delta_Z$  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 Parallelen 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 Anzugmomentes) 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 Zugspannungen  $\sigma_{nV}$  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 Zugstreckengrenze der Schraube um rd. 25 % herabgesetzt wird. Die Vorspannung plus zusätzliche Kraft dürfen also 75 % der Zugstreckengrenze der Schraube nicht überschreiten.

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

aus der Abb. 8 ergibt sich:

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

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

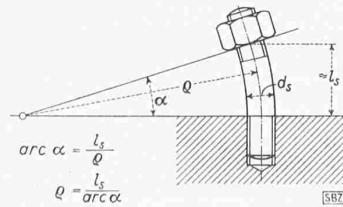


Abb. 8. Schraube bei Biegungsbeanspruchung

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 aufgezwungene Formänderung etwas ausgleicht. Zu Vergleichzwecken 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 Schraublänge. 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 normalisierten) Gewinden mit besonders grosser Ausrundung im Gewindegrund (Abb. 10) und erreichen damit grössere Bruchsicherheiten.

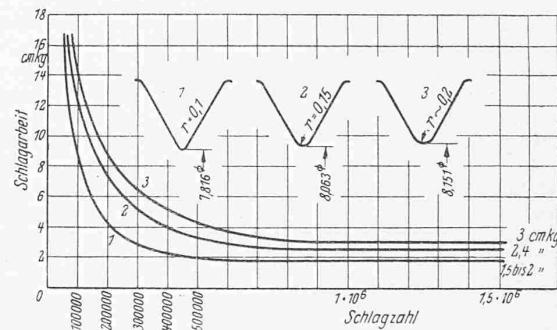


Abb. 9. Einfluss der Ausrundung im Gewindegrund auf die Dauerhaltbarkeit bei Schlagbeanspruchung

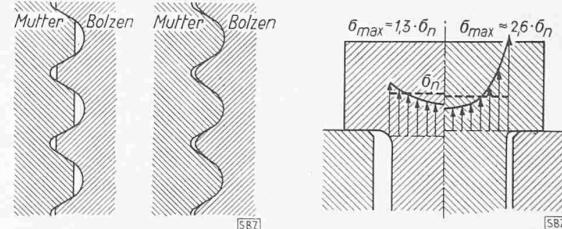


Abb. 10. Spezialgewinde mit sehr grosser Ausrundung für besonders hoch belastete Schraubenverbindungen

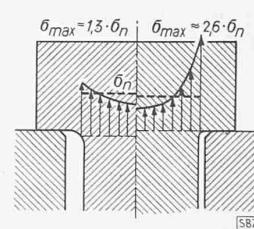


Abb. 11. Ausrundung am Kopfübergang bei der Dehnschraube und der normalen Starrschraube

**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).

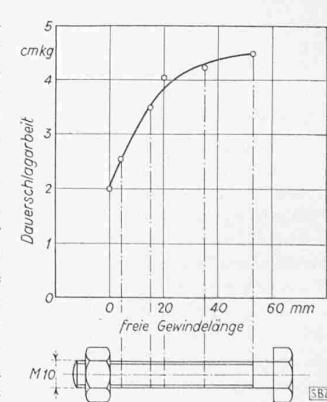
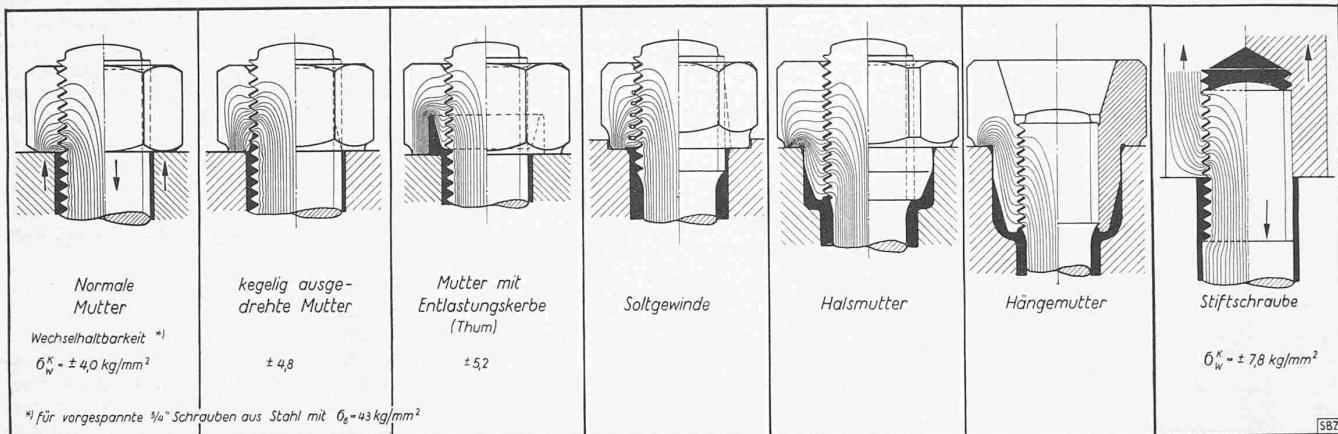


Abb. 12. Einfluss der freien Gewindelänge auf die Dauerhaltbarkeit bei Schlagbeanspruchung von Normalschrauben



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 verminderd werden. Alle Versuche, diese Stelle zu verbessern, zielen daraufhin, den stark zusammengedrängten 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 zusammengedrängte 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 Spannungsausschlags 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, sodass 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 obren 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 Gussseisens 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 eingeschraubten 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 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 Lokierung 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 0,5 d 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 Zwangsvorformungen aufzunehmen hat.

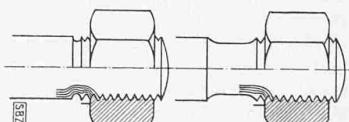


Abb. 22. Ausführung der Gewinderille

**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).

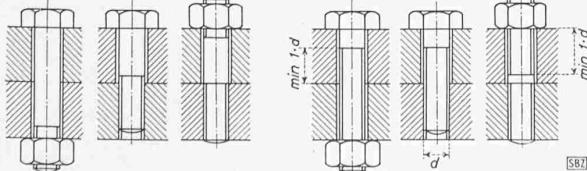
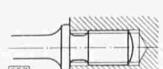


Abb. 13. Richtlinien für die Anwendung der günstigen freien Gewindelänge bei Normschrauben

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 Schraubenproblems und aus einer grossen Anzahl von Versuchen die Überlegenheit der Dehnschraube über die Normalschraube mit starrem Schaft hervorgeht, ist sehr oft eine gewisse Ablehnung dieser beanspruchungsgerechteren Gestalt der Schraube zu beobachten.

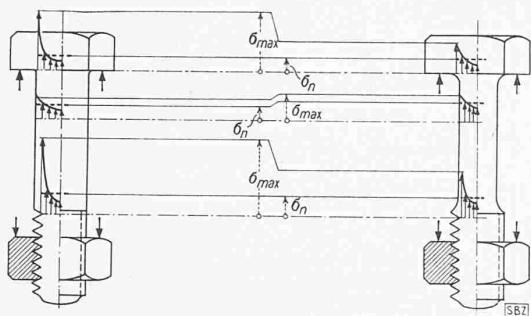


Abb. 23. Normalschraube und Dehnschraube  
Beanspruchung im ersten tragenden Gewindegang gleich hoch  
Beanspruchung im Kopfüber-  
gang hoch  
Beanspruchung im Gewinde-  
auslauf hoch  
Schraube starr,  
Zusätzliche Biegung und Ver-  
formung durch Schlag werden  
hauptsächlich vom freien Ge-  
windeteil aufgenommen

Beanspruchung im Kopfüber-  
gang vermindert durch grosse  
Ausrundung

Beanspruchung im Gewindeaus-  
lauf vermindert durch besseren  
Kraftfluss

Schraube elastisch,  
Zusätzliche Biegung und Ver-  
formung 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 bedeutet (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 bruchsichere Schraubenverbindungen. Wie günstig sich das Verringern des Schaftdurchmessers auf die Grösse der für eine Schraube dauernd ertragbaren Schlagarbeit oder Wechsellauf auswirkt, zeigen Grosszahlversuche (Abbildungen 24 und 25). Die Dehnschraube vermag durch ihre grössere Elastizität höhere Schlagarbeiten und Wechsellaisten aufzunehmen ohne zu brechen. Bei stossweise, schlagartig und schwelend 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

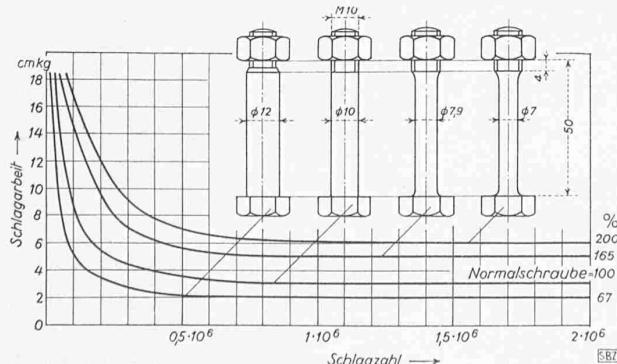


Abb. 24. Einfluss des Schaftdurchmessers auf die Höhe der ertragbaren Dauerschlagarbeit

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 (Massendrücke, 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 zusammengespannten 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 zusammengespannten 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).

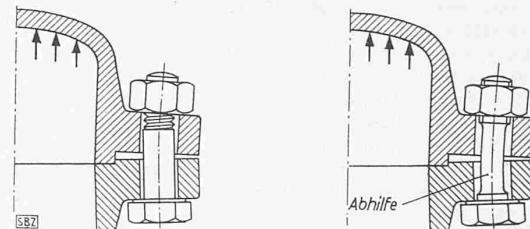


Abb. 26. Vorteile der Dehnschraube bei Zwangsverformung

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

Dehnschraube biegungselastisch;  
der ganze Schaft nimmt die Ver-  
formung 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

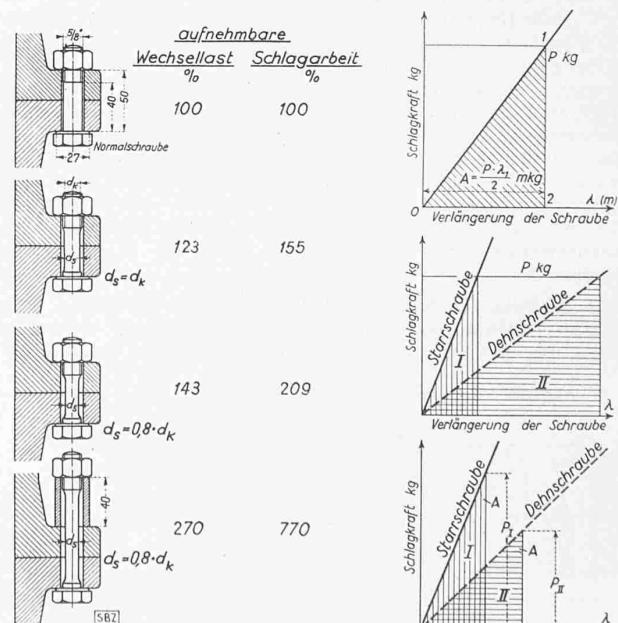


Abb. 25. Verbesserung der Dauerhaltbarkeit der Schraube durch Anwendung der Dehnschraube bei schwingender und schlagartiger Beanspruchung

Abb. 27/29. Verhalten der Schraube bei Schlag-  
beanspruchung

Lockwerden 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 Starrschraube.

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 Dehnängen mit hohem Arbeitsvermögen 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).

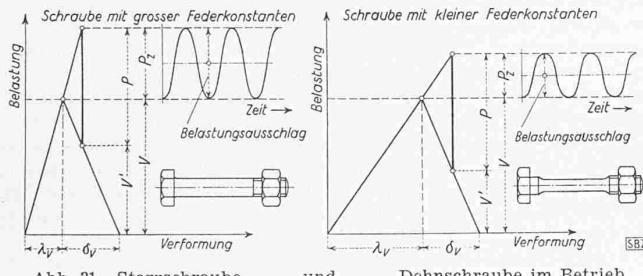


Abb. 30. Schlagbeanspruchung in Bauteilen von veränderlichem Querschnitt

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 Schafes nicht überschritten werden. Das Verhältnis der Zugwechselhaltbarkeit des Gewindes  $\sigma_w^K$  (im Kernquerschnitt gerechnet) zur Zugwechselhaltbarkeit  $\sigma_w$  des Schafes schwankt je nach Material zwischen:  $\sigma_w^K / \sigma_w = 0,45 \dots 0,70$ , und zwar zeigen die Werkstoffe mit hoher Zugfestigkeit den kleineren Verhältniswert, da die Zugwechselhaltbarkeit geschnittener Gewinde mit steigender Zugfestigkeit nur wenig zunimmt, während die Zugwechselfestigkeit glatter Stäbe fast proportional mit den Werten des statischen Zugversuchs wächst. Die Zahlentafel 1 gibt Anhaltswerte über die Bemessung von Dehnschäften.

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 Dichtungsart (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 Temperaturvoranreilung 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

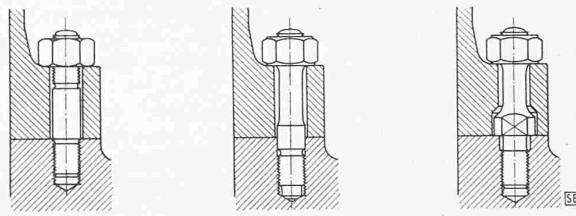


Abb. 32. Wärmebeanspruchte Bolzenverbindungen

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 Schafes und Entlastung durch den Dehnschaft  
Bolzen mit Bund  
Weitgehende Entlastung des Gewindes von der Biegebeanspruchung. Lange Gewinderille, Dehnschaft

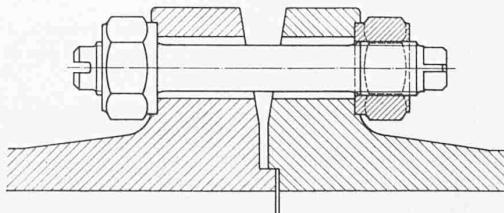


Abb. 33. Wärmebeanspruchte Hochdruckflanschverbindung. Gemässigter Dehnschaft, übergreifendes Muttergewinde

Zahlentafel 1

Schraubendurchmesser $d$ mm   engl. "	Schraubendurchmesser $d$ mm   engl. "	Verhältnis $\frac{f_s}{f_k} = \frac{\text{Schaftquerschnitt}}{\text{Kernquerschnitt}}$			
		40 kg/mm <sup>2</sup>	60 kg/mm <sup>2</sup>	80 kg/mm <sup>2</sup>	100 kg/mm <sup>2</sup>
31   1 1/4"	und darüber	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 Trennlinie: Schaftdurchmesser gleich Schraubendurchmesser, $d_s = d$			
16   5/8"			1,00	0,95	0,85
14   —				1,00	0,90
					0,95

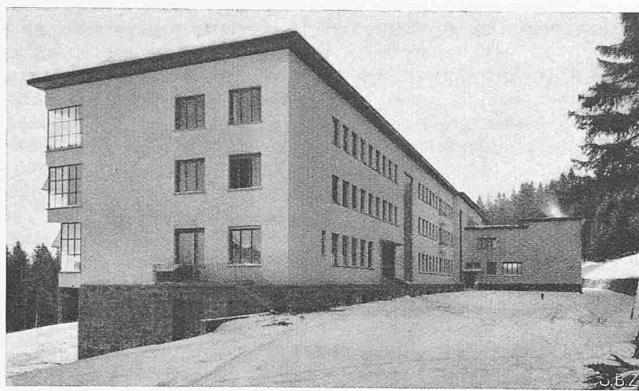


Abb. 3. Rückfront, von der Nordostecke gesehen

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 verformungsfreier 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 Gewindegang; grosse Entlastungsübergänge; Kleihalten 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 Gewindeform von warmfesten Schrauben.** Aeusserst 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 Flanschauflagen einen grösseren Gesamtquerschnitt unterbringen. Zweitens sind sie besser anziehbar, da die Gewindefreibung 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 Tuberkulöse, 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 Einzelerscheinung. 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.

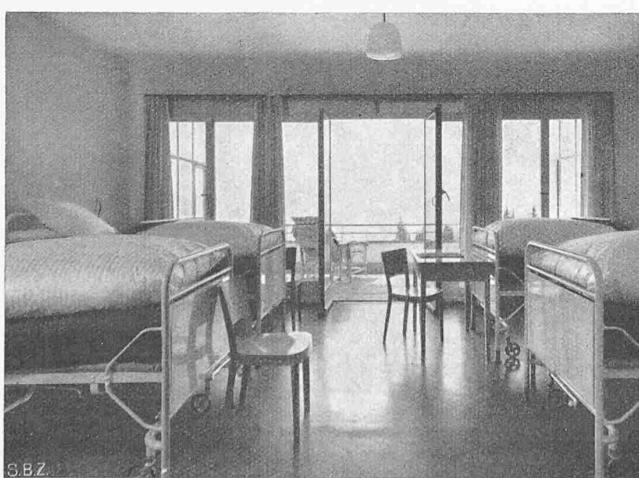


Abb. 4. Vierbetten-Krankenzimmer (1 in Abb. 8)

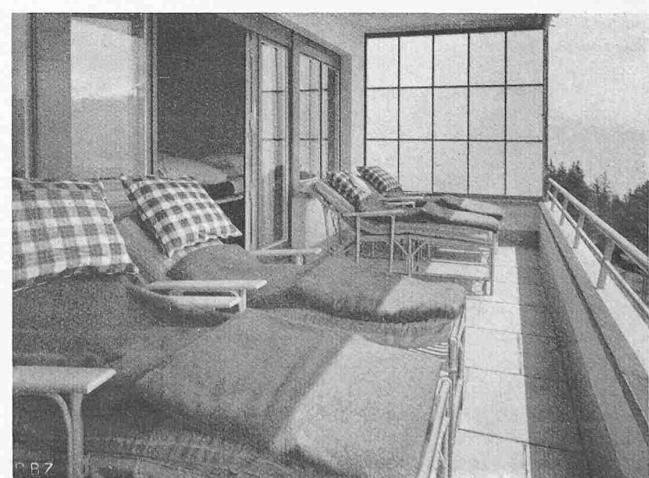


Abb. 5. Liegeveranda im 1. und 2. Obergeschoss