

Hochbeanspruchte Schraubenverbindungen

Informationen für den Konstrukteur

Die vorliegende Schrift richtet sich an den Konstrukteur. Sie gibt ihm Hinweise, wie er seine Konstruktionsaufgaben sicherheitstechnisch richtig lösen kann. Die Schrift ist jedoch nicht als Konstruktionsunterlage gedacht; dafür steht ausreichend Fachliteratur zur Verfügung.

Für das Instandhaltungspersonal ist bei der Suva die Broschüre «Hochbeanspruchte Schraubenverbindungen – Kurzinformation für Monteure» (Bestellnummer 84003.d) erhältlich. Sie kann kostenlos bei der Suva bezogen werden.



Suva
Arbeitssicherheit
Postfach, 6002 Luzern
www.suva.ch

Auskünfte
Tel. 041 419 58 51

Bestellungen
www.suva.ch/waswo
Fax 041 419 59 17
Tel. 041 419 58 51

Titel
Hochbeanspruchte Schraubenverbindungen
Informationen für den Konstrukteur

Autor
Bereich Technik

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – mit Quellenangabe gestattet.
Überarbeitete Ausgabe: Oktober 2015

Bestellnummer
66032.d (nur als PDF-Datei erhältlich)

Inhalt

1	Einleitung	5
<hr/>		
2	Häufige Mängel bei hochbeanspruchten Schraubenverbindungen – und mögliche Lösungen	6
<hr/>		
3	Theoretische Grundlagen	8
3.1	Verspannungsdreieck	8
3.2	Lockern von Schraubenverbindungen	9
3.3	Losdrehen von Schraubenverbindungen	12
3.4	Anziehen von Schraubenverbindungen	13
3.5	Anziehverfahren	14
3.6	Kontrolle der Schraubenverbindung	18
<hr/>		
4	Das Wichtigste in Kürze	19
4.1	Berechnung und Gestaltung	19
4.2	Materialwahl	19
4.3	Verbindungsteile	19
4.4	Sicherungsmethoden	19
4.5	Anziehen der Schrauben	20
4.6	Anschlusskonstruktion	20
4.7	Kontrolle der Schraubenverbindungen	20
4.8	Wiederverwendbarkeit der Schraubenverbindung	21
<hr/>		
5	Gesetzliche Bestimmungen	22
<hr/>		
6	Literaturhinweise	24
<hr/>		

Das Modell Suva

Die vier Grundpfeiler der Suva

- Die Suva ist mehr als eine Versicherung; sie vereint Prävention, Versicherung und Rehabilitation.
- Die Suva wird von den Sozialpartnern geführt. Die ausgewogene Zusammensetzung im Verwaltungsrat aus Arbeitgeber-, Arbeitnehmer- und Bundesvertretern ermöglicht breit abgestützte, tragfähige Lösungen.
- Gewinne gibt die Suva in Form von tieferen Prämien an die Versicherten zurück.
- Die Suva ist selbsttragend; sie erhält keine öffentlichen Gelder.

1 Einleitung

Als Schraubenverbindung bezeichnen wir eine lösbare Verbindung von zwei oder mehreren Teilen, die durch eine oder mehrere Schrauben miteinander verbunden sind.

Die Schraubenverbindung wird häufig als einfaches, untergeordnetes Maschinenbauelement betrachtet und oft unterschätzt. Das Konstruieren einer hochbeanspruchten Schraubenverbindung ist jedoch eine anspruchsvolle Aufgabe: Die Verbindung ist so zu bemessen, dass das Verbundteil seine Funktion zuverlässig erfüllt und den auftretenden Kräften standhält.

Eine Schraubenverbindung könnte dann als «ideal» bezeichnet werden, wenn sie sich unter dem Einfluss von äusseren Kräften wie ein einzelnes Konstruktionsteil verhielte. Die verbundenen Teile dürften sich weder gegeneinander verschieben noch in den Trennfugen (Trennstellen zwischen den Einzelteilen) teilweise oder ganz voneinander abheben.

Ein Versagen der Schraubenverbindung kann schwerwiegenden Schaden verursachen. Für die Sicherheit einer hochbeanspruchten Schraubenverbindung ist entscheidend, dass die Vorspannkraft erhalten bleibt.

Dies bedingt

- ein möglichst genaues Erfassen der auftretenden Kräfte
- eine genaue Berechnung der aufzubringenden Vorspannkraft
- richtige Materialwahl
- richtige Montage nach den Vorgaben des Konstrukteurs
- periodische Kontrollen nach einem zweckmässigen Verfahren

2 Häufige Mängel bei hochbeanspruchten Schraubenverbindungen – und mögliche Lösungen

Bei Kontrollen an Arbeitshebebühnen, Kranen und Baumaschinen findet man neben einwandfreien Schraubenverbindungen immer wieder auch mangelhafte vor.

Die hauptsächlichen Mängel sind:

Unterlagsscheiben von ungenügender Festigkeit

Die Verwendung von Unterlagsscheiben mit ungenügender Festigkeit bewirkt eine plastische Deformation derselben und führt zum Verlust der Vorspannkraft der Schraubenverbindung (siehe auch Ziffer 4.2).

Es sind HV-Scheiben nach DIN 6916 zu verwenden. Diese sind auf der Rückseite mit HV und dem Herstellerzeichen beschriftet (Bild 1).

Für Stahlkonstruktionen mit I-Profilen sind Scheiben nach DIN 6917 zu verwenden, für Konstruktionen mit U-Profilen Scheiben nach DIN 6918.

Die Fase der Scheibe muss immer zum Schraubenkopf zeigen (Bild 1).

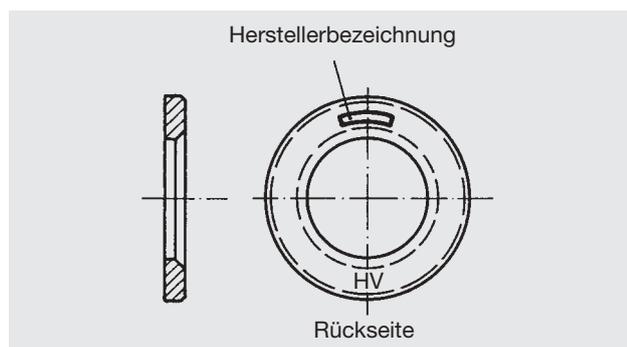


Bild 1: Unterlagsscheibe für hochfeste Schraubenverbindungen nach DIN 6916.

Ungenügende Materialfestigkeit der Schraubenverbindungen

Dimensionierungsfehler, falsche Werkstoffwahl und mangelnde Vorspannkraft führen zu Schraubenbrüchen.

Hochfeste Schrauben und Muttern sind mit der Festigkeitsklasse bezeichnet (Bild 2 und 3).

Die mechanischen Eigenschaften von Schrauben und Muttern sind aus der Norm ISO 898 ersichtlich.

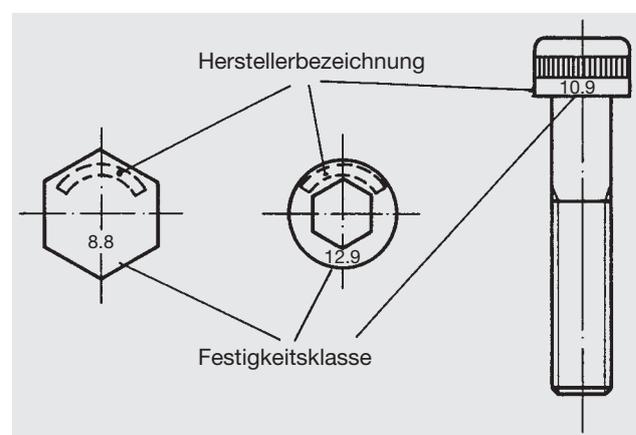


Bild 2: Bezeichnung von Sechskantschrauben und Schrauben mit Innensechskant nach DIN 6914 bzw. DIN 6912.

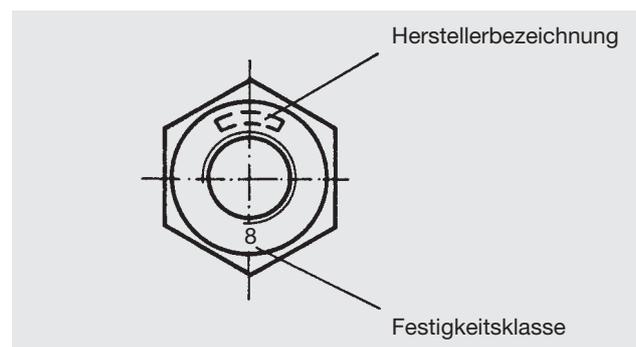


Bild 3: Bezeichnung der Muttern nach DIN 6915.

Zu kleine Klemmlängen

Schraubenverbindungen mit ungenügender Klemmlänge können sich lockern und losdrehen.

Die Klemmlänge l_k sollte mindestens 5-mal den Schraubendurchmesser d betragen (Bild 4).

Die Klemmlänge kann mit Distanzhülsen von ausreichender Festigkeit vergrößert werden (Bild 4 c).

Fehlende oder beeinträchtigte Zugänglichkeit der Schrauben

Durch ungenügende Platzverhältnisse für das Ansetzen der Werkzeuge zur Kontrolle der Vorspannkraft wird die Instandhaltung der Schraubenverbindung erschwert oder sogar verhindert.

Die Schrauben müssen für das Überprüfen des Anziehdrehmoments zugänglich sein.

Ungenügend bearbeitete Auflageflächen der Verbindungsteile für Schraubenkopf, Mutter und Unterlagsscheibe

Kein rechter Winkel zwischen Schraubenachse und Flanschen bzw. zwischen Distanzhülse und Flanschen

Es kommt vor, dass Distanzhülsen schief auf der Auflage stehen, weil sie angeheftet wurden.

Schraubenverbindungen mit I- und U-Profilen ohne die erforderlichen schrägen HV-Scheiben nach DIN 6917 und 6918

Diese Mängel führen zum Verlust der Vorspannkraft, weil sich die Verbindungsteile setzen und die Schrauben deformieren (siehe auch Ziffer 4.2).

Fehlen der Hinweise auf die erforderlichen Kontrollen des Anziehdrehmoments in der Instandhaltungsanleitung.

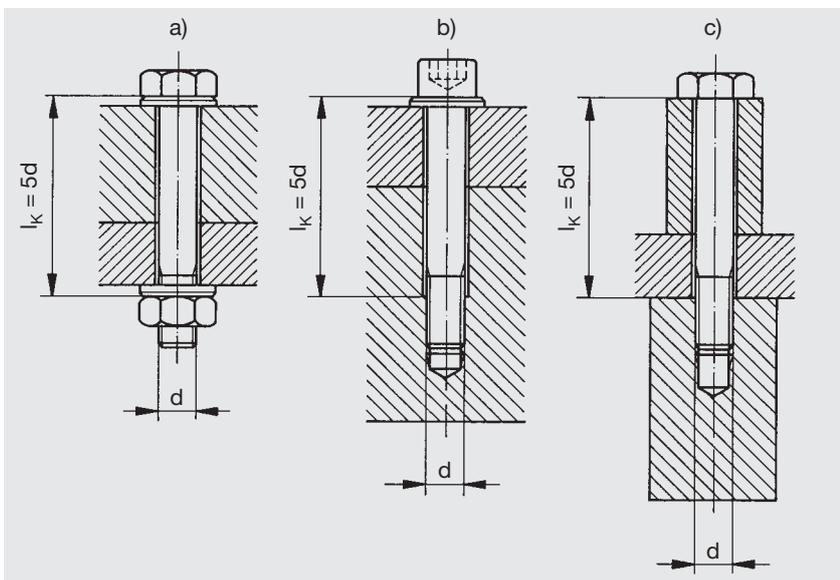


Bild 4: Klemmlänge l_k bei Schraubenverbindungen.

3 Theoretische Grundlagen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den VDI-Richtlinien über systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen VDI 2230 und auf verschiedenen anderen Veröffentlichungen (siehe Literaturhinweise).

3.1 Verspannungsdreieck

Das klassische Verspannungsdreieck geht von linearen Verformungskennlinien für spannende und verspannte Teile aus. Wird eine zentrisch beanspruchte Schraube auf eine bestimmte Vorspannkraft – in diesem Fall auf die Montagevorspannkraft F_M – angezogen, dann dehnt sie sich um den Betrag f_{SM} . Die verspannten Platten werden dabei um den Betrag f_{PM} zusammengedrückt. Die Trennfugen (Trennstellen der zu verbindenden Teile) werden zusammengepresst (Bild 5).

Dieser Vorgang kann mit einer Druckfeder verglichen werden, die zwischen einer Schraube und einer Mutter eingespannt ist.

Weil im Montagezustand die Vorspannkraft F_M in der Schraube und den verspannten Platten gleich gross ist, entsteht durch entsprechendes Verschieben der Kennlinie der verspannten Platten das Verspannungsdreieck (Bild 5 und 6).

Aus dem Verspannungsdreieck ist neben der Montagevorspannkraft F_M auch die Schraubenverlängerung f_{SM} und die Verkürzung der verspannten Platten f_{PM} ersichtlich.

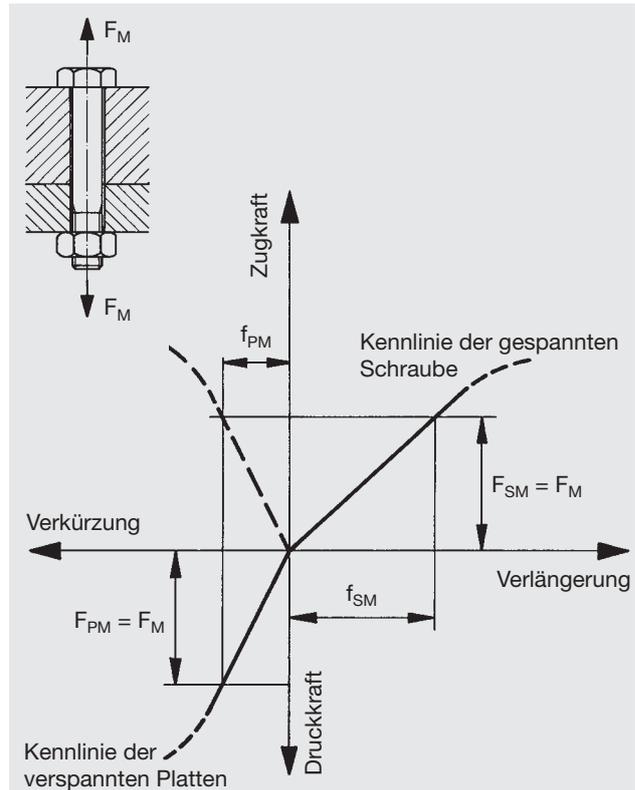


Bild 5: Kraft-Verformungskennlinien für Schrauben und Platten im Montagefall.

Zeichenerklärung:

- F_M Montagevorspannkraft
- F_{PM} Montagevorspannkraft auf die verspannten Teile
- F_{SM} Montagevorspannkraft auf die Schraube
- f_{PM} Verkürzung der verspannten Teile durch F_M
- f_{SM} Verlängerung der Schraube durch F_M

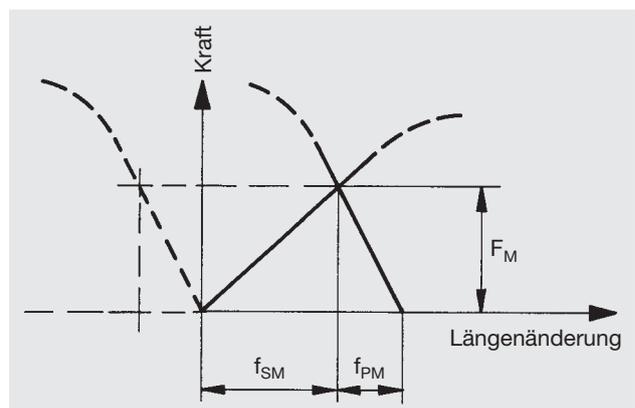


Bild 6: Verspannungsdreieck $F_M = F_{SM} = F_{PM}$

Wirkt nun eine axiale Betriebskraft F_A (Zugkraft auf die Schraube) auf die verspannte Verbindung ein, so wird die Schraube entlang ihrer Kennlinie weiter verlängert. Gleichzeitig wird durch diese Verlängerung der Schraube die Vorspannung der Platten teilweise rückgängig gemacht. Die Schraube wird durch die Betriebskraft F_A zusätzlich um den Betrag F_{SA} auf F_S belastet. Die Platten werden um den Betrag F_{PA} auf die Restklemmkraft F_{KR} entlastet (Bild 7).

Zum Bestimmen der Dauerschwingbeanspruchung der Schraube muss vom Zusatzbetrag F_{SA} ausgegangen werden. Dies wird in Bild 7 durch Sinuslinien angedeutet.

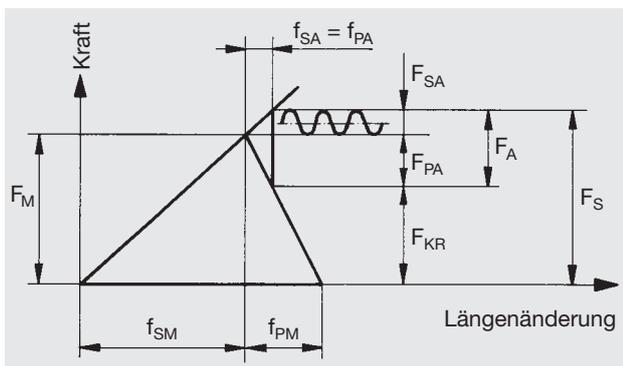


Bild 7: Verspannungsdreieck für axiale Zugkraft.

Zeichenerklärung:

- F_A Axiale Betriebskraft
- F_{KR} Restklemmkraft in der Trennfuge der verspannten Platten bei Entlastung durch F_{PA}
- F_M Montagevorspannkraft
- F_{PA} Anteil der Axialkraft, der die verspannten Teile entlastet
- F_S Schraubenkraft im Betriebszustand
- F_{SA} Anteil der Axialkraft F_A , der die Schraube zusätzlich belastet
- f_{PA} Verkürzung der verspannten Teile durch F_{PA}
- f_{PM} Verkürzung der verspannten Teile durch F_M
- f_{SA} Verlängerung der Schraube durch F_{SA}
- f_{SM} Verlängerung der Schraube durch F_M

3.2 Lockern von Schraubenverbindungen

Die vielfach verwendete Bezeichnung «Lösen» wird im Folgenden durch die Begriffe «Lockern» (Ziffer 4.2) und «Losdrehen» (Ziffer 4.3) ersetzt.

Schraubenverbindungen werden gelockert durch einen Vorspannkraftverlust infolge Setzens oder durch bleibende, plastische Verformung des Verbindungselements oder des Konstruktionsteils.

Als «Setzen» bezeichnet man das Einebnen der Oberflächenrauigkeiten in der Verbindung. Der Setzbetrag ist abhängig von der Grösse der Rauigkeit und der Anzahl Trennfugen. Je grösser die Anzahl der Trennfugen (Berührungsflächen der Schraubenverbindungsteile), desto grösser wird der Setzbetrag f_z . Auch die Steifigkeit der verspannten Teile hat Einfluss auf den Setzbetrag. Die Abhängigkeit zwischen Setzbetrag f_z und Vorspannkraftverlust F_z zeigt Bild 8.

Viel gefährlicher als dieses normale Einebnen der Rauigkeiten sind plastische Deformationen, die durch Überschreiten der kritischen Flächenpressung unter dem Schraubenkopf oder der Mutter auftreten können.

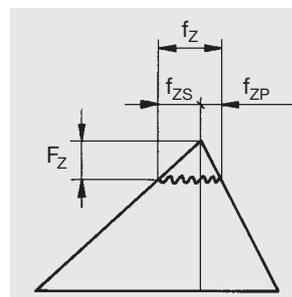


Bild 8: Zusammenhang zwischen Setzbetrag und Vorspannkraftverlust.

Zeichenerklärung:

- F_z Vorspannkraftverlust infolge Setzens
- f_z Plastische Verformung durch Setzen: Setzbetrag
- f_{ZP} Plastische Verformung durch Setzen der verspannten Teile
- f_{ZS} Plastische Verformung durch Setzen der Schraube

Wenn zum Übertragen eines Reibschlusses eine bestimmte Klemmkraft erforderlich ist, muss die Restvorspannkraft F_{V2} , die sich nach dem Setzen einstellt, der Rechnung zugrunde gelegt werden (Bild 9).

Durch den Einsatz elastischer Schrauben – Schrauben mit möglichst günstigem Klemmlängenverhältnis l_K/d – bei relativ starren verspannten Teilen wird sowohl der Vorspannkraftabfall wie auch die dynamische Beanspruchung der Schraube gering gehalten.

Als Faustregel für ein günstiges Klemmlängenverhältnis gilt:

$$5d < l_K < 15d$$

l_K Klemmlänge der Schraubenverbindung
 d Schraubendurchmesser

In Bild 10 ist ersichtlich, dass sich für die elastische Schraube eine flache Kennlinie ergibt. Die Kennlinie der starren verspannten Teile ist demgegenüber steil.

Durch den Einsatz von elastischen Schrauben bei starren verspannten Teilen wird sowohl der Vorspannkraftverlust F_Z als auch die dynamische Beanspruchung der Schraube F_{SA} gering gehalten. Dies erhöht die Sicherheit gegen Lockern wesentlich.

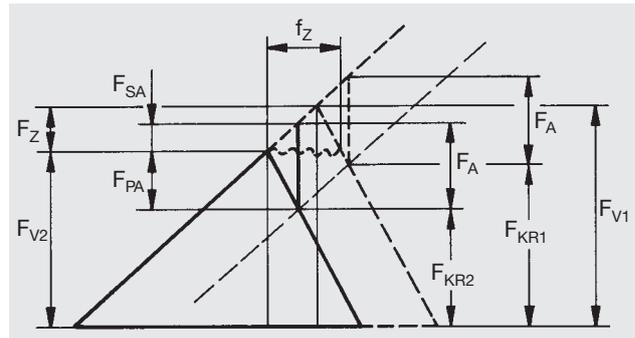


Bild 9: Änderung der Vorspannkraft F_V und der Klemmkraft F_{KR} durch Setzen.

Zeichenerklärung:

- F_A Axiale Betriebskraft
- F_{KR1} Klemmkraft in der Trennfuge nach der Montage
- F_{KR2} Klemmkraft in der Trennfuge bei Entlastung durch F_{PA} und Setzen
- F_{PA} Anteil der Axialkraft F_A , der die verspannten Teile entlastet
- F_{SA} Anteil der Axialkraft F_A , der die Schraube zusätzlich belastet
- F_{V1} Vorspannkraft vor dem Setzen
- F_{V2} Vorspannkraft nach dem Setzen (Restvorspannkraft)
- F_Z Vorspannkraftverlust infolge Setzens
- f_Z Plastische Verformung durch Setzen: Setzbetrag

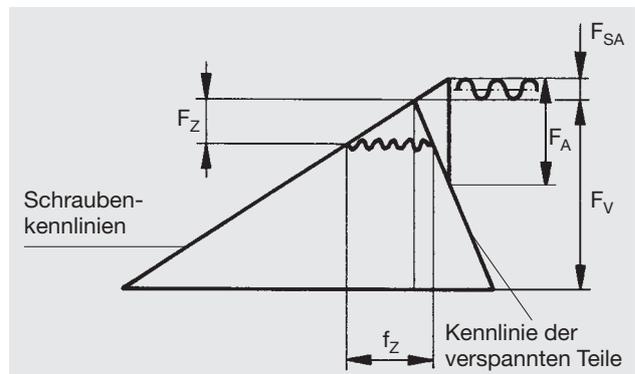


Bild 10: Vorspannkraftabfall und dynamische Beanspruchung.

Zeichenerklärung:

- F_A Axiale Betriebskraft
- F_{SA} Anteil der Axialkraft F_A , der die Schraube zusätzlich belastet
- F_V Vorspannkraft, allgemein
- F_Z Vorspannkraftverlust infolge Setzens
- f_Z Plastische Verformung durch Setzen: Setzbetrag

Die bisherigen Ausführungen gelten für eine zentrisch verspannte und zentrisch belastete Schraubenverbindung. Weitاًus häufiger werden jedoch Schraubenverbindungen exzentrisch belastet. Entsprechend verändert das Verspannungsdreieck seine Form (Bild 11). Die Wirkungslinie der Betriebskraft F_A liegt nicht in der Schraubenachse, und die Schraubenachse selbst fällt nicht mit der Schwerpunktachse der verspannten Teile zusammen.

Die Kennlinie der verspannten Teile verläuft nur bis zur Abhebegrenze linear. Die Abhebegrenze – einseitiges Abheben bei exzentrischer Belastung – wird erreicht, wenn sich zwei Teile in der Trennfuge voneinander abheben, ausgelöst durch die neben der Schraubenachse wirkende Betriebskraft. Das einseitige Abheben kann mit dem Öffnen eines Scharniers verglichen werden. Das Abheben bei exzentrischer Belastung kann durch hohe Vorspannkraften verhindert werden. Dadurch wirkt die Betriebskraft nur im linearen Teil der Kennlinie (Bild 11).

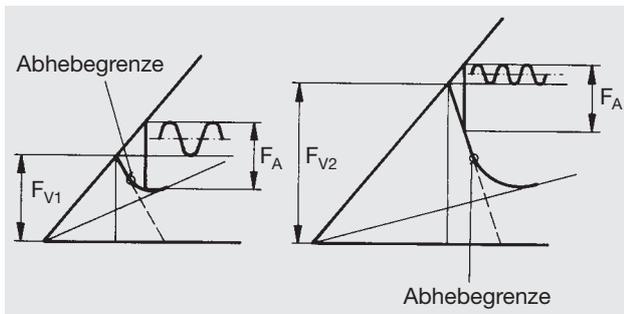


Bild 11: Verspannungsdreieck bei exzentrischer Krafteinwirkung.

a) Niedrige Vorspannkraft

b) Hohe Vorspannkraft

Zeichenerklärung:

F_A = Betriebskraft, nicht in der Schraubenachse liegend

F_{V1}, F_{V2} = Vorspannkraft

Durch die Wahl von elastischen Schrauben, durch Aufbringen einer grossen Vorspannkraft F_V und durch Kleinhalten des Setzbetrags f_z lässt sich ein Lockern der Schraubenverbindung verhindern.

Allein durch den Einsatz einer hochfesten Schraube werden noch keine hohen Vorspannkraften erreicht. Entscheidend ist, dass die Schrauben mit geeigneten Werkzeugen angezogen und die der Berechnung zugrunde gelegten Annahmen eingehalten werden, so dass die entsprechende Vorspannkraft auch wirklich aufgebracht wird.

3.3 Losdrehen von Schraubenverbindungen

Losdrehvorgänge an Schrauben führen – neben dem Dauerbruch der Schraube – am häufigsten zum Versagen einer dynamisch belasteten Verbindung.

Im Zustand der Ruhe sind alle gängigen Befestigungselemente selbsthemmend. Unter schwelenden axialen Zugbelastungen kann sich eine Schraubenverbindung praktisch nicht losdrehen. Diese Ansicht wird damit begründet, dass der Reibungswinkel immer grösser ist als der Steigungswinkel des Gewindes. Auch bei optimaler Schmierung (z.B. mit MoS₂) kann der Reibungswinkel nicht kleiner als 4,5° sein. Der Steigungswinkel beim metrischen ISO-Regelgewinde M3 bis M36 liegt jedoch im Bereich zwischen 2,2° und 3,7°.

Diese Ausführungen können mit der Geometrie der Mechanik der schiefen Ebene nachvollzogen werden. Ein fester Körper mit dem Gewicht L, der auf einer schiefen Ebene liegt, bewegt sich so lange nicht, wie der Neigungswinkel φ kleiner ist als der Reibungswinkel ρ (Bild 12).

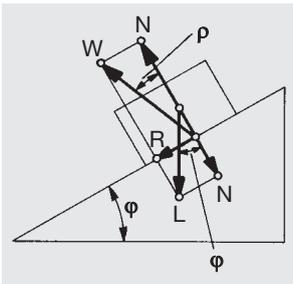


Bild 12: Körper auf schiefer Ebene.

- L = Körpergewicht
- N = Normalkraft
- R = Reibungskraft
- W = Gesamtwiderstand
- φ = Neigungswinkel
- ρ = Reibungswinkel

Wird die Theorie der schiefen Ebene auf die Schrauben angewendet, so errechnet sich das Losdrehmoment M_L nach der Formel:

$$M_L = F_V \left[\frac{d_2}{2} (-\tan \varphi + 1,155 \mu_G) + \frac{D_{km}}{2} \mu_K \right]$$

Das Losdrehmoment M_L setzt sich zusammen aus

- Gewindesteigungsmoment
 $M_{GS} = -F_V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan \varphi = -F_V \frac{P}{2\pi}$
- Gewindereibmoment
 $M_{GR} = F_V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot 1,155 \mu_G$
- Kopfreibmoment
 $M_K = F_V \cdot \frac{D_{km}}{2} \cdot \mu_K$

Für gleiche Reibungszahlen im Gewinde und unter dem Kopf ($\mu_G = \mu_K = \mu$) und für $\tan \varphi = P/(d_2 \cdot \pi)$ gilt folgende Formel:

$$M_L \approx F_V \left[-0,16 P + \mu \left(0,58 d_2 + \frac{D_{km}}{2} \right) \right]$$

Zeichenerklärung:

- D_{km} Wirksamer Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage
- F_V Vorspannkraft
- M_L Losdrehmoment
- P Steigung des Gewindes
- d_2 Flankendurchmesser des Gewindes
- μ Reibungszahl allgemein
- μ_G Reibungszahl im Gewinde
- μ_K Reibungszahl für Kopfaufgabe
- φ Steigungswinkel des Schraubengewindes

Die Schraubenverbindung kann sich nur dann selbständig losdrehen, wenn $M_L \leq 0$ wird. Dies kann nur geschehen, wenn die Reibungszahl μ gegen Null strebt.

Versuche haben gezeigt, dass rein axial belastete Schraubenverbindungen sich nur dann selbständig losdrehen können, wenn die Vorspannung verlorengeht.

Wenn aber eine Schraubenverbindung durch eine Querkraft beansprucht wird, kann sich diese Verbindung unter bestimmten Voraussetzungen auch unter voller Vorspannkraft losdrehen. Wird unter dynamischer Beanspruchung senkrecht zur Schraubenachse der Reibschluss durchbrochen und kommt es zu kleinen Relativbewegungen

zwischen den verspannten Teilen, so wird die Verbindung scheinbar reibungsfrei.

Wenn in der Formel

$$M_L \approx F_V \left[-0,16 P + \mu \left(0,58 d_2 + \frac{D_{km}}{2} \right) \right]$$

$\mu = 0$ gesetzt wird, lässt sich das innere Losdrehmoment mit folgender Formel errechnen:

$$M_L \approx -0,16 P \cdot F_V$$

Gegen das Losdrehen der Schraubenverbindung können weitgehend die gleichen Massnahmen getroffen werden wie gegen das Lockern:
Ausreichend hohe Klemmkräfte aufbringen und Erhöhung der elastischen Dehnung durch grössere Klemmlänge.

3.4 Anziehen von Schraubenverbindungen

Das Anziehverfahren beeinflusst die erforderliche Abmessung der Schraube, weil zusätzlich zur Axialkraft ein Drehmoment oder eine Zugkraft von der Schraube aufgenommen werden muss. Der Einfluss, der bei verschiedenen Anziehverfahren von der Streuung der Vorspannkraft ausgeht, ist besonders stark.

Es muss dafür gesorgt werden, dass das Anziehverfahren, das der Berechnung zugrunde liegt, auch bei der Montage angewendet wird.

Das aufgebrachte Anziehdrehmoment garantiert, dass die zusammengefügte Teile als ein einziges verbundenes Konstruktionsteil bezeichnet werden können.

3.4.1 Beanspruchung der Schraube beim Anziehen

Beim Anziehen wird die Schraube durch die Vorspannkraft F_M auf Zug und durch das im Gewinde wirkende Moment M_{GA} zusätzlich auf Torsion beansprucht.

Vereinfacht gilt die Formel:

$$M_{GA} \approx F_M \cdot \frac{d_2}{2} \left(\frac{P}{d_2} + 1,155 \mu_G \right)$$

Zeichenerklärung:

F_M Montagevorspannkraft

M_{GA} Im Gewinde wirksamer Teil des Anziehdrehmoments

P Steigung des Gewindes

d_2 Flankendurchmesser des Gewindes

μ_G Reibungszahl im Gewinde

Die Formel gilt für kleine Reibungs- und Steigungswinkel des Gewindes.

3.4.2 Streuung der Montagevorspannkraft F_M beim Anziehen

Entsprechend dem gewählten Anziehverfahren sind die Genauigkeit des Anziehgeräts, die Reibungsbeiwerte der Schraubenverbindung sowie die elastischen und plastischen Verformungen in den Trennfugen (Setzbetrag) zu berücksichtigen.

Durch den **Anziehfaktor $A = F_{Mmax}/F_{Mmin}$** wird die Montageungenauigkeit der beim Anziehen erzielten Vorspannkraft gegenüber der geforderten Mindestvorspannkraft berücksichtigt.

Zeichenerklärung:

F_{Mmax} Montagevorspannkraft, für die eine Schraube ausgelegt werden muss, damit – trotz der Ungenauigkeit des Anziehverfahrens und der zu erwartenden Setzbeträge während des Betriebs – die erforderliche Klemmkraft in der Verbindung erzeugt wird und erhalten bleibt

F_{Mmin} Kleinste Montagevorspannkraft, die sich bei F_{Mmax} infolge Ungenauigkeit des Anziehverfahrens einstellt

Der Anziehfaktor A bewegt sich zwischen 1,0 für streckgrenzgesteuertes Anziehen bis ca. 4,0 für Schlagschrauber. Schlagschrauber sind allerdings als nicht geeignetes Anziehwerkzeug für hochbeanspruchte Schraubenverbindungen zu betrachten. Für das häufig verwendete drehmomentkontrollierte Anziehen beträgt der Anziehfaktor ca. 1,5.

3.5 Anziehverfahren

Damit bei der Montage die vorgesehene Vorspannkraft tatsächlich erreicht wird, muss der Konstrukteur festlegen, welches Anziehwerkzeug verwendet werden muss.

3.5.1 Anziehen von Hand mit Schraubenschlüssel

Beim Anziehen von Hand mit einem Gabel- oder Ringschlüssel wird die Höhe der Vorspannkraft durch den Monteur bestimmt. Die Beurteilung, ob die Schraube tatsächlich die richtige Vorspannkraft aufweist, wird von der körperlichen Verfassung und vom subjektiven Eindruck des Monteurs sowie von der Schlüssellänge beeinflusst. Das Verfahren ist also äusserst ungenau.

Aus Bild 13 ist ersichtlich, dass Schrauben bis Grösse M12 zu stark und Schrauben, die einen grösseren Durchmesser aufweisen, mit zu kleinem Anziehdrehmoment angezogen werden.

Bei zu stark angezogener Schraubenverbindung kann die Schraube wegen Überbeanspruchung brechen, und wenn das Anziehdrehmoment zu klein ist, kann sich die Schraube lösen oder sie wird durch Dauerbruch zerstört.

Für hochbeanspruchte Schraubenverbindungen, bei denen die richtige Vorspannkraft gewährleistet sein muss, ist diese Anziehmethode also völlig ungeeignet.

3.5.2 Drehmomentgesteuertes Anziehen

Unter drehmomentgesteuertem Anziehen versteht man im Allgemeinen das Anziehen mit anzeigenden oder signalgebenden Drehmomentschlüsseln. Im Prinzip fällt jedoch auch das motorische Anziehen mit Drehschraubern unter diesen Oberbegriff; denn ein Druckluftdrehschrauber gibt ein messbares und einstellbares Moment ab. Heute sind auch hydraulisch angetriebene Drehmomentschrauber auf dem Markt.

Das Gesamtanziehdrehmoment setzt sich aus dem Gewindeanziehdrehmoment und dem Kopf- bzw. Mutterreibungsmoment zusammen:

$$M_A = M_{GA} + M_K$$

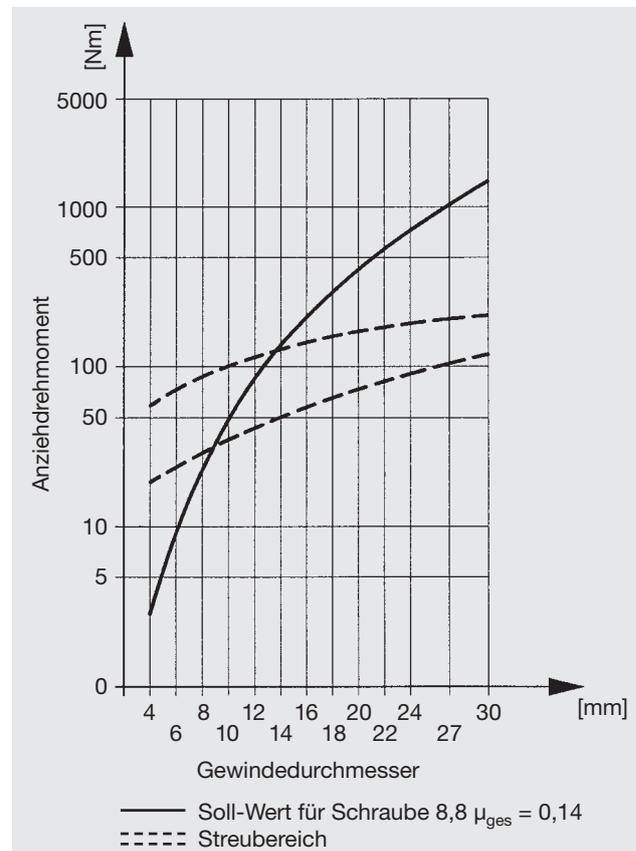


Bild 13: Streuung der beim Handanziehverfahren mit Ringschlüssel erreichten Anziehdrehmomente im Vergleich zu den Sollwerten.

Das Gewindeanziehdrehmoment M_{GA} wiederum setzt sich aus dem Gewindereib- und -steigungsmoment zusammen; es errechnet sich aus der Geometrie der Mechanik der schiefen Ebene (Bild 12):

$$M_{GA} = F_M \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \mu_G)$$

Das Kopf- bzw. Mutterreibungsmoment M_K errechnet sich aus:

$$M_K = F_M \cdot \frac{D_{km}}{2} \tan \mu_K$$

Zeichenerklärung:

D_{km}	Wirksamer Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage
F_M	Montagevorspannkraft
M_A	Anziehdrehmoment für die Montage
M_{GA}	Im Gewinde wirksamer Teil des Anziehdrehmoments
M_K	Reibungsmoment in der Kopf- bzw. Mutterauflage
d_2	Flankendurchmesser des Gewindes
μ_G	Reibungszahl im Gewinde
μ_K	Reibungszahl für Kopfauflage
φ	Steigungswinkel des Schraubengewindes

Beim drehmomentgesteuerten Anziehen mit Drehmoment-schlüssel setzt sich der Gesamtfehler aus folgenden Teil-
fehlern zusammen:

- Fehler bei der Abschätzung der Reibungszahl (Reibungs-
koeffizient). Mit der geschätzten Reibungszahl wird das
maximale Anziehdrehmoment M_A bestimmt.
- Streuung der Reibungszahl innerhalb eines Schrauben-
und eines Bauteilloses, einschliesslich der Messabwe-
ichungen, die die Reibradien beeinflussen.
- Ungenauigkeit der Anziehwerkzeuge, einschliesslich der
Bedienungs- und Ablesefehler.

Der Schätzfehler bei der Reibungszahl kann dadurch ein-
geengt werden, dass das Sollanziehdrehmoment durch
eine Verlängerungsmessung an der Schraube bestimmt
wird.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Teilfehler muss
in der Schraubenberechnung ein Anziehungsfaktor A von 1,4
bis 1,8 eingesetzt werden.

3.5.3 Streckgrenzgesteuertes Anziehverfahren

Mit dem streckgrenzgesteuerten Anziehen hat die Elek-
tronik Einzug in die Verschraubungstechnik gehalten.
Für dieses Anziehverfahren werden hauptsächlich elek-
trisch oder pneumatisch betriebene und mit elektroni-

scher Steuereinheit ausgerüstete Anziehwerkzeuge ver-
wendet.

Das streckgrenzgesteuerte Anziehverfahren beruht darauf,
dass bei Erreichen der Streckgrenze des Schraubenwerk-
stoffs das Anziehdrehmoment nicht mehr linear mit dem
Drehwinkel zunimmt.

Die Schraubenverbindung wird bis zu einem Fügемoment,
d. h. bis zum satten Anliegen der Trennflächen angezo-
gen. Nach Erreichen des Fügемoments vergleicht das
Gerät den Differenzenquotienten $dM_A/d\vartheta$ mit dem im
Werkzeug gespeicherten Maximalwert $(dM_A/d\vartheta)_{max}$.
Der Streckgrenzpunkt der Schraube wird beim Anziehen
durch Messung des Drehmoments und des Drehwinkels
sowie durch Errechnen von deren Differenzenquotienten
ermittelt. Wird der Streckgrenzpunkt erreicht, fällt der Dif-
ferenzenquotient ab und löst das Abschalten des Anzieh-
werkzeugs aus.

Zeichenerklärung:

$\frac{dM_A}{d\vartheta}$ Differenzquotient aus aufgebrachtem Anziehdrehmoment M_A und
dem gemessenen Drehwinkel der Schrauben beim Anziehen.

Für dieses Anziehverfahren kann der Anziehungsfaktor $A = 1,0$
eingesetzt werden, weil die Schrauben nach der kleinsten
erforderlichen Montagevorspannkraft F_{Mmin} dimensioniert
werden.

Die erzielte Vorspannkraft bei der Montage eines Schrau-
ben- und Bauteilloses wird weitgehend von der Streuung
der Streckgrenze des Schraubenwerkstoffs bestimmt.
Der von der Gewindereibung herrührende Streuungsanteil
ist bedeutend kleiner als beim drehmomentgesteuerten
Anziehverfahren. Er darf aber nicht vernachlässigt werden.

3.5.4 Drehwinkelgesteuertes Anziehen

Das drehwinkelgesteuerte Anziehen ist indirekt ein Ver-
fahren der Verlängerungsmessung. Wie beim streckgrenz-
gesteuerten Anziehen wird die Verschraubung bis zu
einem Fügемoment angezogen. In der zweiten Phase
wird mit dem vorgegebenen Winkel die Schraubenver-
bindung in den plastischen Bereich vorgespannt. Die
Streuung der Vorspannkraft ist im überelastischen Bereich

wegen annähernd horizontalem Verlauf der Verformungskennlinie am geringsten. Die Genauigkeit der Vorspannkraft wird vorwiegend von der Festigkeitsstreuung des Schraubenwerkstoffs und der Streuung der Gewindereibung bestimmt. Fügomentfehler und Fehler im Anziehungswinkel würden sich nur im steilen Kurvenverlauf des elastischen Teils der Verformung auf die Vorspannkraft auswirken.

Der Nachziehwinkel wird zweckmässigerweise in Versuchen ermittelt oder so berechnet, dass er die Streckgrenze der Schraubenverbindung sicher überschreitet.

Für die Dimensionierung der Schraubenverbindung wird der Anziehungsfaktor $A = 1,0$ gesetzt, weil die Schraube nach der Mindestvorspannkraft F_{Min} gewählt wird.

Durch das Überschreiten der Streckgrenze des Schraubenwerkstoffs ist die Wiederverwendbarkeit der Schrauben eingeschränkt.

3.5.5 Anziehen mit Verlängerungsmessung

Die elastische Verlängerung der Schraube im angezogenen Zustand kann zur Bestimmung der wirksamen Vorspannkraft benutzt werden. Die Längenänderung einer Durchsteckschraubenverbindung lässt sich aufgrund der konstruktiv gegebenen Abmessungen der Schraubenverbindung direkt in Vorspannkraft umrechnen.

Das Verfahren wird umso genauer, je grösser die tatsächliche Längenänderung ist. Die tatsächliche Längenänderung vergrössert sich bei einer grossen Klemmlänge.

Das sogenannte hydraulische Anziehen von Schrauben basiert auf dieser Grundlage. Es bietet den Vorteil, dass gleichzeitig mehrere Schraubenverbindungen auf gleiche Vorspannkraftwerte angezogen werden können. Hierbei wird der Schraubenbolzen an seinem freien, über die Mutter hinausstehenden Ende gefasst und gegenüber den zu verspannenden Teilen auf Zug belastet. Die abgehobene Mutter wird durch Drehen auf die verspannten Teile zur Auflage gebracht. Beim Entlasten der Schraube verbleibt eine definierte Vorspannkraft im Schraubenbolzen.

Dieses Anziehverfahren hat den Nachteil, dass die Schraube über die spätere Vorspannkraft hinaus belastet werden muss, weil das Zurückfedern der verspannten Teile einen Verlust an Montageklemmkraft bedingt. Je nach den Abmessungsverhältnissen von Schraube und verspannten Teilen ergeben sich unterschiedliche Grössen der Vorspannkraft. Sie müssen experimentell ermittelt werden.

Das Messverfahren zur Bestimmung der Schraubendehnung hat den weiteren Nachteil, dass es nur an Durchsteckschraubenverbindungen mit ausreichender Zugänglichkeit angewandt werden kann. Die Schrauben müssen zudem einzeln mit genauen Messwerkzeugen nachgemessen werden.

3.5.6 Motorisches Anziehverfahren

Das motorische Anziehverfahren kommt hauptsächlich in der Serienfabrikation zur Anwendung.

Die grosse Zahl verschiedener Schraubensysteme – pneumatisch oder elektrisch betrieben – unterteilt sich in

- Drehschrauber mit Begrenzung des Anziehdrehmoments
- Schlagschrauber mit tangentialen Drehschlägen ohne Drehmomentvoreinstellung

Infolge der dynamischen Einwirkungen dieser Schrauber auf die Verschraubungen stellen sich im Vergleich zum Anziehen mit Drehmomentschlüssel zusätzliche Faktoren ein, die das Verschraubungsergebnis beeinflussen können. Wichtige Kenngrössen sind die zeitabhängige Anzugscharakteristik der Schrauber und der Anzugswinkel bis zum Erreichen der Vorspannkraft.

Die Einstellung der motorischen Schrauber muss stets an der Originalverschraubung erfolgen und dazu sind mehrere Versuche erforderlich. Die erreichten Anziehdrehmomente sind mit anzeigenden Drehmomentschlüsseln durch Nachziehen zu bestimmen. Genauer wäre es, die tatsächliche Vorspannkraft aus den Längenänderungen der Schraube zu berechnen. Diese Berechnungsart ist aber wegen der fehlenden Zugänglichkeit der Schraubenverbindung meist nicht anwendbar.

Drehschrauber

Drehschrauber übertragen ein Drehmoment auf die anziehende Schraubenverbindung. Das Reaktionsmoment muss bei Einspindelschraubern von der Bedienungsperson aufgenommen werden.

Drehschrauber (Mehrfachschräuber) mit dynamischer Drehmomentmessung – sie erfolgt meist über die Abstützung des Schraubers – arbeiten genauer als Einspindel-schrauber.

Der Anziehungsfaktor A beträgt für Drehschrauber 1,7 bis 2,5.

Schlagschrauber

Bei Schlagschraubern wird die Motorenenergie über das Schlagwerk (Schlagkörper und Aufschlagteil) in tangen-tiale Drehimpulse umgesetzt. Dadurch wird die Schraube stufenweise vorgespannt. Grosse Impulse bewirken ein schnelles Anziehen der Schraube, während kleine Schlag-energien unter Umständen nicht ausreichen, die Schraube in einer bestimmten Zeitspanne anzuziehen. Die Vermin-derung der Schlagenergie kann zum vorzeitigen Abschalten des Schraubers führen und die Schraubenverbindung wird nicht genügend fest angezogen. Art, Form, Zeitdauer, Grösse und Gleichmässigkeit der Schlagimpulse sowie ihre Frequenz haben erheblichen Einfluss auf die erzielten Montagevorspannkraften.

Für hochbeanspruchte Schraubenverbindungen ist ein Schlagschrauber ungeeignet. Ein kontrolliertes Anziehen ist nicht möglich.

Darum muss für Schlagschrauber ein Anziehungsfaktor A von 2,5 bis 4 eingesetzt werden.

3.6 Kontrolle der Schraubenverbindung

Damit eine hochbeanspruchte Schraubenverbindung ihre Funktion richtig erfüllt, muss Gewähr bestehen, dass die aufgebrauchten Vorspannkraften während der Betriebszeit/Lebensdauer erhalten bleiben.

Weil sich das Material setzt, muss die Schraubenverbindung erstmals kurz nach der Inbetriebnahme, in der Regel nach 1 bis 3 Monaten, kontrolliert werden.

Bevor mit der Kontrolle begonnen wird, ist die Verbindung möglichst gut von einer allfällig wirkenden Betriebskraft zu entlasten. Bei Rotationsverbindungen, wie sie in Drehkränzen von Arbeitshebebühnen, Baggern, Kranen usw. vorkommen, sind die Schraubenverbindungen durch Anbringen von Kompensationsgewichten am Gerät zu entlasten.

3.6.1 Kontrolle mit Drehmomentschlüssel

Für die Kontrolle empfiehlt es sich, wie folgt vorzugehen:

- Markieren der Position der Mutter zur Schraube
- Lösen der Mutter
- Anziehen der Mutter mit 80 % des vorgegebenen Anziehdrehmoments

Es können sich zwei Fälle ergeben:

Erster Fall

Die Mutter lässt sich drehen, bis die Markierung auf der Mutter diejenige auf der Schraube erreicht oder diese überschreitet. In diesem Fall sind Schraube und Mutter zu ersetzen.

Zweiter Fall

Die Mutter lässt sich mit 80 % des vorgesehenen Anziehdrehmoments nicht so weit drehen, dass die Markierung auf der Mutter diejenige auf der Schraube erreicht.

In diesem Fall ist die Mutter mit 100 % des vorgesehenen Anziehdrehmoments anzuziehen.

3.6.2 Kontrolle mit Spannvorrichtungen

Für die Kontrolle empfiehlt es sich, wie folgt vorzugehen:

- Schraube mit 80 % der Vorspannkraft belasten
- Kontrollieren, ob sich die Mutter drehen lässt

Es können sich zwei Fälle ergeben:

Erster Fall

Die Mutter lässt sich drehen. In diesem Fall sind Schraube und Mutter zu ersetzen.

Zweiter Fall

Die Mutter lässt sich nicht drehen. Die Schraube wird in diesem Fall mit 100 % der Vorspannkraft belastet. Wenn nötig ist die Mutter bis auf die Auflage nachzuziehen.

4 Das Wichtigste in Kürze

Verlangt eine Konstruktion die Verwendung von hochbeanspruchten Schrauben, sind alle Aspekte einer solchen Schraubenverbindung zu berücksichtigen.

Es ist ratsam, beim Hersteller von Schrauben und Konstruktionsteilen, z.B. von Drehverbindungen, die notwendigen technischen Informationen einzuholen.

Die Vorschriften der Hersteller sind unbedingt einzuhalten.

4.1 Berechnung und Gestaltung

Damit eine Schraubenverbindung ihre Funktion mit Sicherheit erfüllt, sind folgende wichtige Faktoren zu berücksichtigen:

- Grösstmögliche Klemmlänge wählen.
Sie sollte mindestens 5-mal den Schraubendurchmesser betragen. Falls erforderlich, ist die Klemmlänge mit Distanzhülsen von hochfester Qualität zu vergrössern.
- Mindestschraubtiefe für Sacklöcher bestimmen.
Richtwert: ca. 1,5-mal Schraubendurchmesser
- Verteilung der Schrauben.
Auf einem Lochkreis (Teilkreis der Verbindungsschrauben) einer Drehverbindung müssen die Schrauben gleichmässig verteilt werden.
- Bestimmen der Flächenpressung der zu verbindenden Teile, Schraubenkopf- und Mutterauflagen.
Beim Überschreiten der Grenzflächenpressung sind HV-Scheiben oder Schrauben bzw. Muttern mit Flansch zu verwenden.
- Zentrierungen.
Wenn es die Konstruktion erfordert, sind an den zu verschraubenden Teilen Zentrierungen (z. B. Bolzen) anzubringen, um Scher-Beanspruchungen der Schrauben zu verhindern.
- Ausreichend Platz vorsehen.
Für die Anziehwerkzeuge im Bereich des Schraubenkopfs und der Mutter ist ausreichend Platz vorzusehen.

4.2 Materialwahl

- Geeignete Schrauben wählen.
Es werden normalerweise Schrauben der Klasse 8.8, 10.9 oder 12.9 eingesetzt.
- Entsprechende Qualität der Muttern wählen (Klasse 8, 10 oder 12).
- HV-Scheiben nach DIN 6916, 6917 oder 6918 verwenden.

4.3 Verbindungsteile

- Die Auflageflächen der Verbindungsteile für Schraubenkopf, Mutter bzw. HV-Scheiben müssen planbearbeitet sein.
- Die Auflageflächen zwischen den Verbindungsteilen müssen planbearbeitet sein.
- Die Auflageflächen für Verbindungsteile müssen rechtwinklig zur Schraubenachse liegen.

4.4 Sicherungsmethoden

4.4.1 Massnahmen gegen das Lockern

Es sind konstruktive Massnahmen vorzusehen, die das Lockern der Schraubenverbindung weitgehend verhindern.

Dies kann wie folgt erreicht werden:

- Schrauben mit grosser Nachgiebigkeit wählen, nämlich
 - Schraubenverbindungen mit einer Klemmlänge von mehr als 5-mal Schraubendurchmesser
 - Dehnschrauben
- Setzbeträge kleinhalten
 - durch glatte und saubere Trennfugenflächen
 - durch eine möglichst kleine Zahl von Trennfugen
 - durch Beachten der kritischen Flächenpressung.
Die Grenzflächenpressung kann verkleinert werden durch den Einsatz von HV-Scheiben oder Schrauben mit Flansch, evtl. Muttern mit Flansch.
- Hohe Vorspannkraft aufbringen. Dies wird erreicht durch kontrolliertes, drehmomentgesteuertes bzw. streckgrenzgesteuertes Anziehen.

4.4.2 Massnahmen gegen das Losdrehen

Es sind konstruktive Massnahmen vorzusehen, die das Losdrehen der hochfesten Schraubenverbindung weitgehend verhindern.

Dies kann wie folgt erreicht werden:

- durch eine hohe Vorspannkraft; diese kann erzielt werden durch den Einsatz von
 - grösseren Schraubendimensionen oder höheren Schraubenwerkstoffklassen
 - Schrauben mit grösseren Klemmlängen durch saubere Trennfugenflächen mit niedriger Rauigkeit

4.5 Anziehen der Schrauben

Dem kontrollierten Anziehen der Schrauben ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Durch das Anziehen von Hand mit einem Gabel- oder Ringschlüssel ist kein kontrolliertes Anziehen gewährleistet.

Damit bei der Montage die vorgesehene Vorspannkraft auch erreicht wird, muss vom Konstrukteur das richtige Anziehwerkzeug bestimmt werden (Drehmomentschlüssel, Präzisions-Winkeldrehschrauber, hydraulische Zugspannvorrichtung).

Vorzugsweise ist für das Anziehen von Schrauben über M30 eine hydraulische Zugspannvorrichtung zu verwenden.

Das Montagepersonal ist darüber zu instruieren, ob die Schrauben trocken, geölt oder mit MOS_2 -Fett geschmiert zu verwenden sind.

Aus den Tabellen der VDI-Richtlinien 2230, Blatt 1, können – in Abhängigkeit von der Reibungszahl – die Montagevorspannkraft und das Anziehdrehmoment für Schrauben der Klasse 8.8, 10.9 und 12.9 abgelesen werden.

4.6 Anschlusskonstruktion

Damit die hochbeanspruchte Schraubenverbindung nicht zusätzlichen Belastungen ausgesetzt ist, muss die Anschlusskonstruktion eine ausreichende Steifigkeit aufweisen. In den Lastzonen muss die Konstruktion genügend versteift sein, damit die Kräfteinleitung möglichst günstig auf die Schraubenverbindung wirkt.

Elastische Platten, Flanschen usw. führen zu einer Verbiegung des Schraubenschafts und können einen vorzeitigen Bruch der Schraubenverbindung verursachen.

4.7 Kontrolle der Schraubenverbindungen

Das Instandhaltungspersonal ist anzuhalten, die Vorspannkraft sämtlicher Schrauben mit dem Drehmomentschlüssel oder mit einer Spannvorrichtung periodisch zu überprüfen.

Mit der Kontrolle hochbeanspruchter Schraubenverbindungen dürfen nur verantwortungsbewusste Leute mit ausreichender Ausbildung und Erfahrung beauftragt werden.

Die notwendigen Angaben müssen in der Instandhaltungsanleitung vorhanden sein.

Die periodischen Kontrollen sind je nach Einsatzart nach 1000 bis 2000 Betriebsstunden durchzuführen.

Die Schraubenverbindungen sind auch auf mechanische Beschädigung und Rost zu kontrollieren.

Gegebenenfalls sind die Schrauben zu ersetzen.

4.8 Wiederverwendbarkeit der Schrauben- verbindung

Bei der Wiederverwendung der Bestandteile von gebrauchten Schraubenverbindungen ist zu kontrollieren, ob

- Schraube, Mutter und Unterlagsscheiben von der vorgeschriebenen Qualität sind
- keine Rostansätze am Schraubenschaft, Schrauben- oder Muttergewinde vorhanden sind
- keine Deformationen an Unterlagsscheiben vorliegen
- Kopfauflage und Schraubengewinde keine mechanischen Beschädigungen aufweisen
- Mutterauflage und Muttergewinde keine mechanischen Beschädigungen aufweisen

Risse können von blossen Auge oft nicht erkannt werden.

Im Zweifelsfall: Ersetzen

Für grössere – teure – Schrauben kann eine von Fachspezialisten durchgeführte zerstörungsfreie Prüfung von Nutzen sein.

5 Gesetzliche Bestimmungen

Das Bundesgesetz über die Produktesicherheit (PrSG) vom 12. Juni 2009 (Stand am 1. Juli 2010) hält Folgendes fest:

Art. 1 Zweck und Geltungsbereich

¹ Mit diesem Gesetz sollen die Sicherheit von Produkten gewährleistet und der grenzüberschreitende freie Warenverkehr erleichtert werden.

² Dieses Gesetz gilt für das gewerbliche oder berufliche Inverkehrbringen von Produkten.

Art. 3 Grundsätze

¹ Produkte dürfen in Verkehr gebracht werden, wenn sie bei normaler oder bei vernünftigerweise vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und die Gesundheit der Verwenderinnen und Verwender und Dritter nicht oder nur geringfügig gefährden.

² Sie müssen den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen nach Artikel 4 oder, wenn keine solchen Anforderungen festgelegt worden sind, dem Stand des Wissens und der Technik entsprechen.

³ Für die Gewährleistung der Sicherheit und der Gesundheit der Verwenderinnen und Verwender und Dritter sind zu berücksichtigen:

- a. die angegebene oder voraussichtliche Gebrauchsdauer eines Produkts;
- b. der Umstand, dass das Produkt auf andere Produkte einwirkt, sofern seine Verwendung mit diesen andern Produkten vernünftigerweise vorhersehbar ist;
- c. der Umstand, dass das Produkt für Konsumentinnen und Konsumenten bestimmt ist oder unter vernünftigerweise vorhersehbaren Bedingungen auch von Konsumentinnen und Konsumenten benutzt werden kann;
- d. der Umstand, dass das Produkt von Personengruppen verwendet werden kann, die dabei einer grösseren Gefahr ausgesetzt sind als andere (z. B. Kinder, Menschen mit Behinderungen oder ältere Menschen).

⁴ Dem spezifischen Gefährdungspotenzial eines Produkts müssen überdies entsprechen:

- a. seine Kennzeichnung und Aufmachung;
- b. die Verpackung sowie die Anleitungen für seinen Zusammenbau, die Installation und die Wartung;
- c. Warn- und Sicherheitshinweise;
- d. Gebrauchs- und Bedienungsanleitung und Angaben zu seiner Entsorgung;
- e. alle sonstigen produktbezogenen Angaben oder Informationen.

⁵ Ein Produkt ist nicht allein deshalb als gefährlich zu betrachten, weil ein sichereres Produkt in Verkehr gebracht wurde.

⁶ Die Pflichten nach diesem Abschnitt müssen erfüllt werden:

- a. vom Hersteller;
- b. subsidiär vom Importeur, Händler oder Erbringer von Dienstleistungen.

Art. 10 Kontrolle und Verwaltungsmassnahmen

¹ Die Vollzugsorgane können Produkte, die in Verkehr gebracht werden, kontrollieren und nötigenfalls Muster erheben.

² Ergibt die Kontrolle, dass ein Produkt den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen oder dem Stand des Wissens und der Technik nicht entspricht, so verfügt das Vollzugsorgan die geeigneten Massnahmen.

³ Ist es zum Schutz der Sicherheit oder Gesundheit der Verwenderinnen und Verwender oder Dritter erforderlich, so kann das Vollzugsorgan insbesondere:

- a. das weitere Inverkehrbringen eines Produkts verbieten;
- b. die Warnung vor den Gefahren eines Produkts, seine Rücknahme oder seinen Rückruf anordnen und nötigenfalls selbst vollziehen;

- c. die Ausfuhr eines Produkts, dessen weiteres Inverkehrbringen nach Buchstabe a verboten worden ist, verbieten;
- d. ein Produkt, von dem eine unmittelbare und ernste Gefahr ausgeht, einziehen und vernichten oder unbrauchbar machen.

⁴ Die Vollzugsorgane warnen die Bevölkerung vor gefährlichen Produkten, wenn der Inverkehrbringer nicht oder nicht rechtzeitig wirksame Massnahmen trifft. Sie machen ihre Informationen über die Gefährlichkeit bestimmter Produkte und über die getroffenen Massnahmen öffentlich zugänglich.

⁵ Massnahmen nach Absatz 3 werden, sofern dies zum Schutz der Bevölkerung erforderlich ist, als Allgemeinverfügung erlassen. Hat ein kantonales Vollzugsorgan oder eine beauftragte Organisation das Produkt überprüft, so stellt es oder sie dem zuständigen Aufsichtsorgan des Bundes Antrag auf Erlass einer Allgemeinverfügung.

Bei Personenschäden nimmt die Suva als Versicherer gegenüber haftpflichtigen Drittpersonen wie Verkäufern, Herstellern und Vermietern Regress, sofern nachweislich ein Konstruktionsmangel vorliegt und dieser als Fahrlässigkeit einzuschätzen ist (Art. 41 des Bundesgesetzes über die Unfallversicherung [UVG]).

Das Bundesgesetz über die Produkthaftpflicht (Produkthaftpflichtgesetz, Pr HG) vom 18. Juni 1993 hält Folgendes fest:

Art. 1 Absatz 1a

Die herstellende Person (Herstellerin) haftet für den Schaden, wenn ein fehlerhaftes Produkt dazu führt, dass:

- a) eine Person getötet oder verletzt wird;

Art. 4 Fehler

Ein Produkt ist fehlerhaft, wenn es nicht die Sicherheit bietet, die man unter Berücksichtigung aller Umstände zu erwarten berechtigt ist; insbesondere sind zu berücksichtigen:

- a) die Art und Weise, in der es dem Publikum präsentiert wird;
- b) der Gebrauch, mit dem vernünftigerweise gerechnet werden kann;
- c) der Zeitpunkt, in dem es in Verkehr gebracht wurde.

Ein Produkt ist nicht allein deshalb fehlerhaft, weil später ein verbessertes Produkt in Verkehr gebracht wurde.

6 Literaturhinweise

In den folgenden Veröffentlichungen finden sich weitere Literaturhinweise.

Suva-Informationsschrift 84003.d:

Hochbeanspruchte Schraubenverbindungen,
Kurzinformation für Monteure,
Luzern 2015

Richtlinie VDI 2230:

Systematische Berechnung hochbeanspruchter
Schraubenverbindungen.
Beuth-Verlag GmbH, Köln und Berlin 2003

Illgner, K. H., und Blume, D.:

Schrauben-Vademecum, Veröffentlichung der Bauer &
Saurte Karcher GmbH,
9. Auflage, Rasch 2001

Junker, G. H., und Strelow, D.:

Untersuchungen über die Mechanik des selbsttätigen
Lösens und die zweckmässige Sicherung von Schrau-
benverbindungen,
Draht-Welt 52 1966, H. 2, 3 und 5

Junker, G. H.:

Mechanische Grundlagen moderner Steuerungsverfah-
ren für Verschraubungsprozesse, VDI-Z. Bd. 129 (1987)
Nr. 9-September

Merkblatt 302:

Sicherungen der Schraubenverbindungen, Beratungs-
stelle für Stahlverwendung,
6. Auflage, Düsseldorf 1983

Bossert AG, Zug:

Fachtechnische Information 1
Das Sichern von Schraubenverbindungen,
4. Auflage, Zug 1988