

DIN 25201-2



ICS 21.060.10

Ersatzvermerk
siehe unten

**Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren
Komponenten –
Schraubenverbindungen –
Teil 2: Konstruktion – Maschinenbauliche Anwendungen**

Design guide for railway vehicles and their components –
Bolted joints –
Part 2: Design – Mechanical application

Méthode de conception pour véhicules ferroviaires et ses constituants –
Raccords à vis –
Partie 2: Construction – Applications mécaniques

Ersatzvermerk

Mit DIN 25201-1:2004-06, DIN 25201-3:2004-06, DIN 25201-4:2004-06, DIN 25201-5:2005-06,
DIN 25201-6:2005-06 und DIN 25201-7:2004-06 Ersatz für DIN 25201:1986-11, DIN 25202:1992-04 und
DIN 25203:1992-04

Gesamtumfang 26 Seiten

Normenausschuss Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Inhalt

| | Seite |
|---|-------|
| Vorwort | 3 |
| 1 Anwendungsbereich | 3 |
| 2 Normative Verweisungen | 4 |
| 3 Symbole | 5 |
| 4 Allgemeines zu den Schraubenverbindungen | 6 |
| 4.1 Funktion einer Verbindung | 6 |
| 4.2 Prinzip einer Verbindung | 7 |
| 4.3 Montagevorspannkraft F_M | 7 |
| 5 Gestaltungsparameter | 7 |
| 5.1 Maße, Form- und Lagetoleranzen der zu verbindenden Teile | 7 |
| 5.2 Klemmlänge | 7 |
| 5.3 Nachgiebigkeit der Schraubenverbindung | 8 |
| 6 Wahl der Befestigungselemente | 8 |
| 6.1 Allgemeines | 8 |
| 6.2 Kraftangriff der Montagewerkzeuge | 8 |
| 6.3 Gewinde | 9 |
| 6.4 Schraubenwerkstoff | 9 |
| 6.5 Schraubenkopf | 9 |
| 6.6 Muttern | 9 |
| 6.7 Scheiben | 9 |
| 6.8 Oberflächenbeschichtungen | 9 |
| 7 Auslegung und Dimensionierung der Schraubenverbindungen | 10 |
| 7.1 Allgemeines | 10 |
| 7.2 Einflussgrößen auf die Auslegung | 10 |
| 7.2.1 Allgemeines | 10 |
| 7.2.2 Einschraubtiefe | 11 |
| 7.2.3 Reibungszahlen | 11 |
| 7.2.4 Verschraubungsklasse (Anziehungsfaktor α_A) | 13 |
| 7.3 Eintragungen in technischen Dokumenten | 15 |
| 7.4 Dimensionierung | 15 |
| 7.4.1 Vordimensionierung | 15 |
| 7.4.2 Berechnung | 15 |
| 7.4.3 Montage mit Anziehdrehmoment M_A | 15 |
| Anhang A (normativ) Vordimensionierung der Gewindenenddurchmesser | 16 |
| Anhang B (informativ) Beispiele für Eintragungen in technischen Dokumenten | 22 |
| Anhang C (informativ) Anhaltswerte für Montagevorspannkraften und Anziehdrehmomente | 24 |
| Literaturhinweise | 26 |

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 087 05-01 AA „Verbindungselemente“ des Normenausschusses Schienenfahrzeuge (FSF) erstellt.

DIN 25201 „Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten“ besteht aus:

- Teil 1: Einteilung, Kategorien der Schraubenverbindungen
- Teil 2: Konstruktion – Maschinenbauliche Anwendungen
- Teil 3: Konstruktion – Elektrische Anwendungen
- Teil 4: Sichern von Schraubenverbindungen
- Teil 5: Korrosionsschutz
- Teil 6: Anschlussmaße
- Teil 7: Montage

Änderungen

Gegenüber DIN 25201:1986-11, DIN 25202:1992-04 und DIN 25203:1992-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Normen wurden zusammengefasst;
- b) vollständige redaktionelle Überarbeitung;
- c) elektrische Verbindungen wurden aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN 25201: 1986-11

DIN 25202: 1992-04

DIN 25203: 1992-04

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für Schraubenverbindungen mit Schrauben und Muttern aus Stahl nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN 20898-2 im Schienenfahrzeugbereich. Sie ist mit werkstoffbedingten Einschränkungen auch auf Verbindungen mit Schrauben und Muttern aus den Stahlgruppen A2 und A4 nach DIN EN ISO 3506-1 und DIN EN ISO 3506-2 anzuwenden. Sie sollte den Konstrukteur bei der grundlegenden Auswahl von Schraubenverbindungen unterstützen und ihm Systematiken und Begriffe näher bringen. Grundsätzlich befreit die Norm nicht von experimentellen und/oder numerischen (FEM – Finite-Element-Method, BEM – Boundary-Element-Method) Untersuchungen zur Verifizierung der Ergebnisse. Insbesondere trifft dies zu bei kritischen Verbindungen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 13-28, *Metrisches ISO-Gewinde — Regel- und Feingewinde von 1 bis 250 mm Gewindedurchmesser, Kernquerschnitte, Spannungsquerschnitte und Steigungswinkel*

DIN 18800-1, *Stahlbauten — Bemessung und Konstruktion*

DIN 25200, *Schrauben und Muttern für Schienenfahrzeuge — Übersicht*

DIN 25201-1, *Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten — Schraubenverbindungen — Teil 1: Einteilung, Kategorien der Schraubenverbindungen*

DIN 25201-4, *Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten — Schraubenverbindungen — Teil 4: Sichern von Schraubenverbindungen*

DIN 25201-5, *Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten — Schraubenverbindungen — Teil 5: Korrosionsschutz*

DIN 25201-6:2005-06, *Konstruktionsrichtlinie für Schienenfahrzeuge und deren Komponenten — Schraubenverbindungen — Teil 6: Anschlussmaße*

DIN 34800, *Schrauben mit Außensechsrund mit kleinem Flansch*

DIN 34801, *Schrauben mit Außensechsrund mit großem Flansch*

DIN EN 1665, *Sechskantschrauben mit Flansch, schwere Reihe*

DIN EN 20273, *Mechanische Verbindungselemente — Durchgangslöcher für Schrauben*

DIN EN 20898-2, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen — Teil 2: Muttern mit festgelegten Prüfkraften; Regelgewinde*

DIN EN ISO 898-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl — Teil 1: Schrauben*

DIN EN ISO 2320, *Sechskantmutter aus Stahl mit Klemmteil — Mechanische und funktionelle Eigenschaften*

DIN EN ISO 3506-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen — Teil 1: Schrauben*

DIN EN ISO 3506-2, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen — Teil 2: Muttern*

DIN EN ISO 4014, *Sechskantschrauben mit Schaft — Produktklassen A und B*

DIN EN ISO 4017, *Sechskantschrauben mit Gewinde bis Kopf — Produktklassen A und B*

DIN EN ISO 4762, *Zylinderschrauben mit Innensechskant*

DIN ISO 261, *Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung — Übersicht*

DIN ISO 965-1, *Metrisches ISO-Gewinde allgemeiner Anwendung — Toleranzen — Teil 1: Prinzipien und Grundlagen*

VDI 2230 Blatt 1:2003-02, *Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen — Zylindrische Einschraubenverbindungen*

3 Symbole

| | |
|-------------------------|--|
| A_N | Nennquerschnitt |
| A_S | Spannungsquerschnitt nach DIN 13-28 |
| d | Schraubendurchmesser = Gewindeaußendurchmesser (Nenn Durchmesser) |
| D_a | Innendurchmesser der ebenen Mutterauflagefläche (Fasendurchmesser) |
| d_a | Innendurchmesser der ebenen Kopfauflage der Schraube |
| d_h | Bohrungsdurchmesser der verspannten Teile |
| d_{ha} | Innendurchmesser der Kopfseitigen ebenen Auflagefläche der verspannten Teile (Fasendurchmesser) |
| D_{ki} | Innendurchmesser der ebenen Kopfauflage |
| D_{Km} | wirksamer Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutterauflage |
| d_w | Außendurchmesser der ebenen Kopfauflagefläche der Schraube (Auflageaußendurchmesser) |
| d_2 | Flankendurchmesser des Schraubengewindes |
| f_z | Setzbetrag, plastische Verformung durch Setzen |
| F_Z | Vorspannkraftverlust infolge Setzens im Betrieb |
| F_M | Montagevorspannkraft |
| F_{mGM} | Abstreifkraft Mutter- bzw. innengewinde |
| F_{mGS} | Abstreifkraft Schraubengewinde |
| $F_{M \max}$ | maximale Montagevorspannkraft, für die eine Schraube ausgelegt werden muss, damit trotz Ungenauigkeit des Anziehverfahrens und zu erwartender Setzbeträge im Betrieb die erforderliche Klemmkraft in der Verbindung erzeugt wird und erhalten bleibt |
| $F_{\max(\text{Kopf})}$ | maximale Kraft am Kopf |
| $F_{M \min}$ | Erforderliche Mindest-Montage-Vorspannkraft; kleinste Montagevorspannkraft, die sich bei $F_{M \max}$ infolge Ungenauigkeit des Anziehverfahrens und maximaler Reibung einstellen kann |
| F_{Mm} | mittlere Montagevorspannkraft |
| F_{mS} | Bruchkraft des freien belasteten Schraubengewindes |
| $F_{M \text{ Tab}}$ | Montagevorspannkraft nach Tabelle C.1 |
| l_K | Klemmlänge |
| m_{eff} | effektive Mutterhöhe bzw. effektive Einschraubtiefe (Überdeckung von Außen- und Innengewinde) |
| M_A | Anziehdrehmoment bei der Montage zum Vorspannen einer Schraube auf F_M |
| $M_{A \text{ red}}$ | um die Streuung ΔM_M reduziertes Anziehdrehmoment |
| M_F | Fügemoment |
| ΔM_M | Streuung für das abgegebene Montagedrehmoment |
| P | Steigung des Schraubengewindes |
| R_a | Rauheit |
| R_m | Zugfestigkeit |
| R_z | Rauheit |
| α_A | Anziehfaktor |
| δ_P | elastische Nachgiebigkeit der verspannten Teile bei zentrischer Verspannung und zentrischer Kräfteinleitung |
| δ_S | elastische Nachgiebigkeit der Schraube |
| μ_G | Reibungszahl im Gewinde |
| μ_{ges} | Vergleichsreibungszahl für das Gesamtreibungsverhalten einer Schraubenverbindung |
| μ_K | Reibungszahl in der Kopfauflage |
| μ_T | Reibungszahl in der Trennfuge |
| ν | Ausnutzungsgrad der Streckgrenzspannung beim Anziehen (Grenze der Vollplastizierung des gefährdeten Querschnitts) |
| τ_{BM} | Scherfestigkeit der Mutter (Näherungswert etwa $0,6 R_m$) |
| Φ_K | Kraftverhältnis bei zentrischer Verspannung und zentrischer Kräfteinleitung in Ebenen durch die Schraubenkopf- und Mutterauflage |

4 Allgemeines zu den Schraubenverbindungen

4.1 Funktion einer Verbindung

Eine Schraubenverbindung nach dieser Norm hat die Aufgabe, Bauteile so miteinander zu verbinden, dass das Auftreten von Schlupf oder das Auseinanderklaffen verhindert wird, eine Demontage jedoch möglich ist.

Die übertragenen statischen oder dynamischen Kräfte entsprechen denen, die in nachstehendem Bild 1 aufgeführt sind.

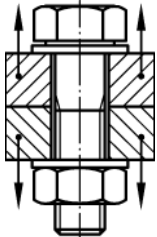
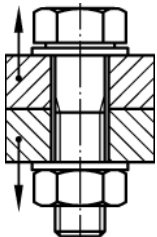
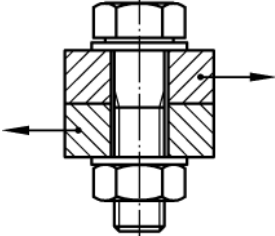
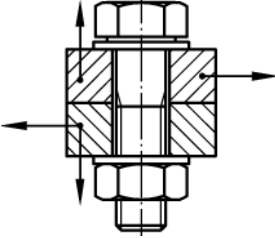
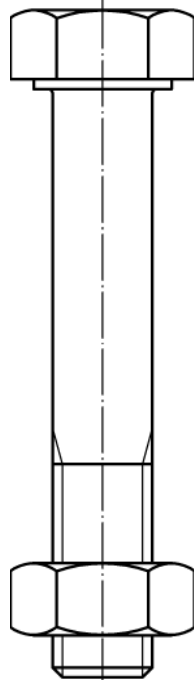
| Kräfte, die von außen auf die Verbindung einwirken | Art der Beanspruchung, die sich daraus für das einzelne Befestigungselement ergibt |
|---|--|
|  | <p>Reine Zugbeanspruchung (zentrische Axialkräfte)</p> |
|  | <p>Zug- und Biegebeanspruchung (außermittige Axialkräfte)</p> |
|  | <p>Scher- und Biegebeanspruchung (Querkräfte)</p> |
|  | <p>Zusammengesetzte Beanspruchung (Zug-, Biege- und Querkräfte)</p> |

Bild 1 — Kräfte und Beanspruchungen auf die Schraubenverbindung

4.2 Prinzip einer Verbindung

Die Festigkeit einer Schraubenverbindung entspricht der Festigkeit ihres schwächsten Elementes. Abgesehen von Sonderfällen sollte dieses Element die Schraube sein.



| Schraubenabschnitt | Tragfähigkeit | Versagen durch: |
|----------------------------------|-------------------------|--|
| Kopf | $F_{\max(\text{Kopf})}$ | Abscheren des Schraubenkopfes Bruch im Übergang Kopf-Schaft |
| Schaft | $A_N R_m$ | Bruch im ungekerbten Schaftbereich |
| Freies belastetes Gewinde | F_{mS} | Bruch im Gewindeauslauf Bruch im freien belasteten Gewindeteil |
| Im Eingriff befindliches Gewinde | F_{mGM} F_{mGS} | Bruch im ersten tragenden Gewindegang Abstreifen des im Eingriff befindlichen Bolzen- und/oder Muttergewindes |

Konstruktionsprinzip: $F_{mS} < F_{\max(\text{Kopf})}, A_N R_m, F_{mGM}, F_{mGS}$

Bild 2 — Konstruktionsprinzip bezüglich der Versagensmöglichkeiten einer Schraubenverbindung
(am Beispiel einer Schaftschraube)

4.3 Montagevorspannkraft F_M

Die Montagevorspannkraft ist die Größe, die sicherstellt, dass eine statische und/oder dynamische Kraft dauerhaft übertragen werden kann.

5 Gestaltungsparameter

5.1 Maße, Form- und Lagetoleranzen der zu verbindenden Teile

Die Werte für Anschlussmaße und Toleranzen sind in DIN 25201-6:2005-06, Abschnitte 3 und 4 angegeben.

5.2 Klemmlänge

Die Dicke der Bauteile bestimmt die Klemmlänge und die Länge der Schraube (siehe Bild 3). Damit die elastische Dehnung im Schaft der Schraube ausreichend groß bleibt, ist folgendes Verhältnis anzustreben:

$$\frac{l_K}{d} \geq 3 \text{ bis } 5$$

Dabei ist

l_k die Klemmlänge (in mm);

d der Schraubendurchmesser (in mm).

Um diese Bedingung zu erfüllen, kann es bei vorgegebener Dicke notwendig sein, zusätzlich Hülsen zu verwenden oder den Schraubendurchmesser zu verringern. Im letzteren Fall kann das zu einer Erhöhung der Schraubenanzahl oder zur Verwendung von Schrauben mit höherer Festigkeit führen.

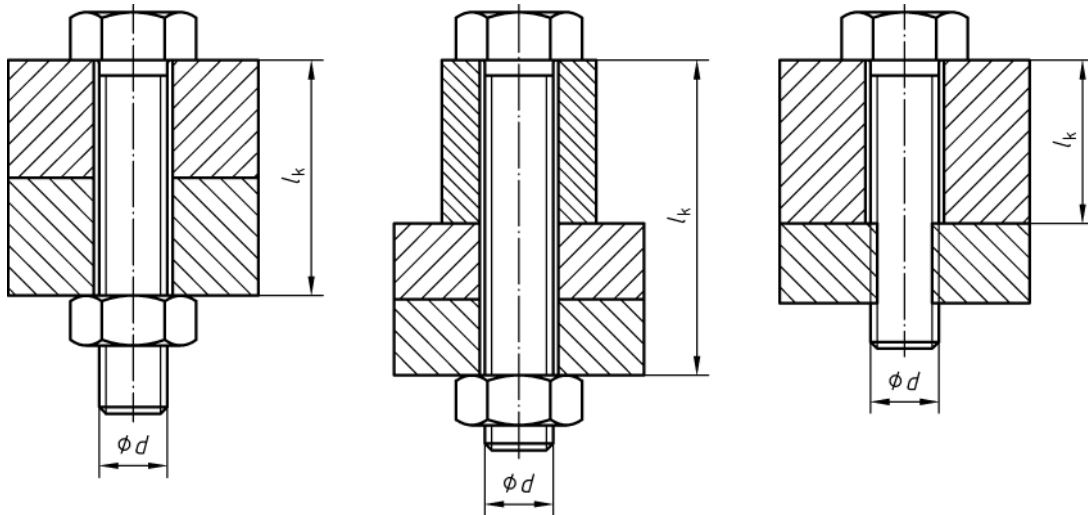


Bild 3 — Klemmlänge l_k

5.3 Nachgiebigkeit der Schraubenverbindung

Die elastische Nachgiebigkeit (Kehrwert der Steifigkeit) der Schraube δ_s sollte möglichst groß, die Nachgiebigkeit der verspannten Bauteile δ_p sollte möglichst klein sein.

Es ist ein möglichst kleines Kraftverhältnis Φ_k anzustreben, ausgedrückt durch:

$$\Phi_k = \frac{\delta_p}{\delta_s + \delta_p}$$

um die Ausschlagsspannung in der Schraube und den Vorspannkraftverlust durch Setzen zu minimieren.

6 Wahl der Befestigungselemente

6.1 Allgemeines

Grundsätzlich sind Verbindungselemente nach DIN 25200 und DIN 25201-4 zu verwenden. Es ist so zu konstruieren, dass Unterlegteile auf das erforderliche Minimum beschränkt sind. Schrauben und Muttern müssen der gleichen Festigkeitsklasse angehören oder aus dem gleichen Werkstoff bestehen.

6.2 Kraftangriff der Montagewerkzeuge

Grundsätzlich sind Montagewerkzeuge für Innen- und Außensechskant sowie Innen- und Außensechsrund einzusetzen.

6.3 Gewinde

Es ist Metrisches ISO-Gewinde, Reihe 1 mit Regelgewinde nach DIN ISO 261 einzusetzen.

6.4 Schraubenwerkstoff

Grundsätzlich sind nur Schrauben einzusetzen, die die Technischen Lieferbedingungen nach DIN EN ISO 898-1 oder DIN EN ISO 3506-1 erfüllen.

6.5 Schraubenkopf

Es sind Sechskant-, Sechsrund- oder Zylinderkopfgeometrien einzusetzen.

Ist das Konstruktionsprinzip einer Schraube nach Bild 2 nicht gewahrt, ist darauf zu achten, dass die in den jeweiligen Normen gegebenen Hinweise in der Konstruktion und Berechnung befolgt werden.

6.6 Muttern

Grundsätzlich sind nur Muttern einzusetzen, die die Technischen Lieferbedingungen nach DIN EN 20898-2 oder DIN EN ISO 3506-2 erfüllen.

Sollten Muttern mit Klemmteil als Sicherungselement gegen Verlieren nach DIN 25201-4 eingesetzt werden, müssen sie die Technischen Lieferbedingungen nach DIN EN ISO 2320 erfüllen.

Bei Durchmessern $\leq M12$ müssen die durch das Klemmteil zusätzlich entstehenden Torsionsmomente berücksichtigt werden.

6.7 Scheiben

Es sind Scheiben, Spannscheiben und Keilscheibenpaare nach DIN 25200 und DIN 25201-4 einzusetzen.

6.8 Oberflächenbeschichtungen

Die Oberflächenbeschichtungen beeinflussen die Funktionssicherheit und Lebensdauer der Verbindung. Faktoren für die Auswahl einer Beschichtung sind:

- Korrosionsbeständigkeit
Es ist nicht nur die elektrochemische Spannungsreihe zu beachten, sondern auch das tatsächliche Korrosionsverhalten der beteiligten Werkstoffe und Beschichtungen zu berücksichtigen (siehe dazu DIN 25201-5).
- Bei Zugfestigkeiten $\geq 1\,000\text{ N/mm}^2$ und bei einsatzgehärteten und angelassenen Teilen sind Beschichtungen zu wählen, bei denen die Gefahr des wasserstoffinduzierten Sprödbruchs ausgeschlossen ist.
- Reibung
Die Beschichtungen beeinflussen die bei der Montage erreichte Vorspannkraft. Es sind Beschichtungen mit definiertem und engem Reibungszahlfenster zu wählen (Werte nach 7.2.3).

7 Auslegung und Dimensionierung der Schraubenverbindungen

7.1 Allgemeines

Für die Funktionsfähigkeit von Schraubenverbindungen mit dynamischer und/oder statischer Beanspruchung muss eine bestimmte Vorspannkraft vorhanden sein. Die erforderliche Vorspannkraft wird durch den Einsatz von Schrauben und Muttern mit ausreichend hoher Festigkeit erreicht, die unter Anwendung der vorgegebenen Verschraubungsklasse mit der errechneten oder vorgegebenen Steuer- und Kontrollgröße angezogen werden.

Entsprechend den Risikoklassen nach DIN 25201-1 sind bei der Auslegung der Schraubenverbindung die Mindestanforderungen nach Tabelle 1 zu erfüllen.

Tabelle 1 — Mindestanforderungen

| | Risikoklasse | | | G ^a (gering) |
|--|---|--|---------------------------|--|
| | H (hoch) | M ^a (mittel) | | |
| Sicherheitsphilosophie | Ausfallredundanz ^b muss bei betriebsbedingten Beanspruchungen vorhanden sein | Ausfallredundanz ^b kann bei betriebsbedingten Beanspruchungen vorgesehen werden | | keine Ausfallredundanz erforderlich |
| Nachweis der Schraubenverbindung | Verspannungsfall 2 und 3 | Verspannungsfall 2 und 3 | Verspannungsfall 1 | Auslegung auf Grundlage von Erfahrungswerten möglich |
| | Berechnung nach anerkannten Regeln der Technik oder Versuch ist erforderlich z. B.: Berechnung nach Richtlinie VDI 2230 Blatt 1 | Versuch (oder Berechnung) | | |
| Dokumentation des Nachweises | erforderlich | empfohlen | erforderlich | nicht erforderlich |
| Angaben in technischen Dokumenten ^c (Zeichnungen) | Risikoklasse, Montagedrehmoment oder Drehwinkel/Montagedrehmoment oder Vorspannkraft oder Längenänderung, Verschraubungsklasse, Schmier- und Trennmittel, Montagehinweise | | | Angaben nicht vorgeschrieben |
| ^a Bei Unsicherheiten in der Zuordnung der Risikoklasse ist nach der höheren Risikoklasse vorzugehen. ^b Ausfallredundanz: <ul style="list-style-type: none"> • Schraubenanzahl größer als rechnerisch erforderlich • ein weiterer Lastpfad, der bei Versagen der Verbindung eine Sicherungsfunktion übernimmt (z. B. Fangseil, Fangvorrichtung) Wo keine Redundanz hergestellt werden kann, sind verkürzte Kontrollabstände im Betriebseinsatz erforderlich. | | | | |
| ^c Bezeichnungsbeispiele siehe Anhang B | | | | |

7.2 Einflussgrößen auf die Auslegung

7.2.1 Allgemeines

Die Berechnung der Schraubenverbindung wird vorzugsweise nach VDI 2230 Blatt 1 empfohlen. Sind in der auszulegenden Schraubenverbindung Besonderheiten vorhanden, so sind diese entsprechend in der Berechnung zu berücksichtigen. Beispiele hierfür sind:

- Abweichende Kopfformen (gegebenenfalls geringere Montagevorspannkraft);
- reduzierte zulässige Flächenpressungen, z. B. bei Al-Guss- und Al-Knetlegierungen nicht über $0,6 R_{p0,2}$ bis $0,8 R_{p0,2}$;

- Setzbeträge für Oberflächenbeschichtungen (aus Versuchen, Erfahrungswerten oder aus Abschätzungen);
- Abweichung der verspannten Bauteile vom Rechenmodell (z. B. bei Langlöchern, großen Bohrungen, konvexe und konkave Form der Trennfugen);
- Überschreiten der Werte nach DIN 25201-6:2005-06, Abschnitte 3 und 4.

7.2.2 Einschraubtiefe

Bei Verwendung von Schrauben in Gewindebohrungen gelten die nach VDI 2230 Blatt 1 ermittelten Anziehdrehmomente nur, wenn die Mindest-Einschraubtiefen nach Bild 4 ausgenutzt werden.

Bild 4 gestattet die graphische Abschätzung der erforderlichen effektiven Einschraubtiefe von Schraubenverbindungen (beinhaltet keine Ansenkungen und Fasen).

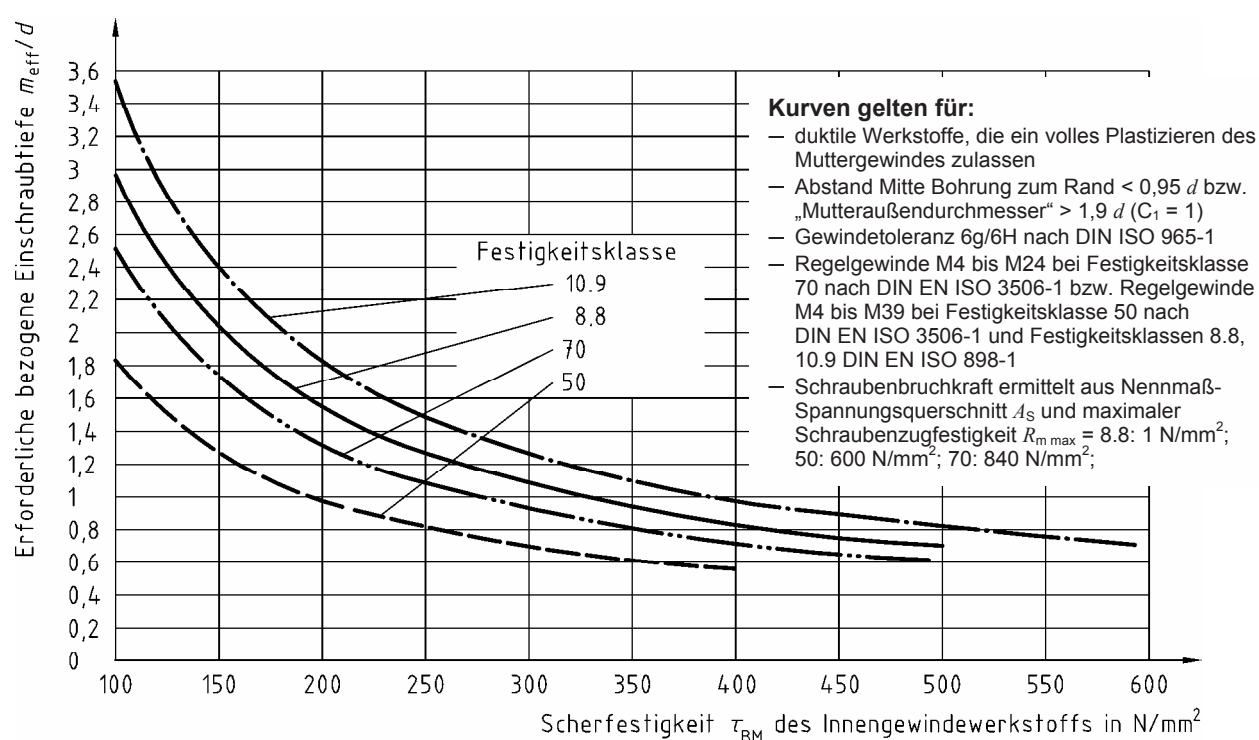


Bild 4 — Richtwerte für die erforderliche bezogene effektive Einschraubtiefe $\frac{m_{\text{eff}}}{d}$

7.2.3 Reibungszahlen

Die Reibungsverhältnisse (siehe Tabelle 2) sind vom Oberflächenzustand (siehe auch 5.2) abhängig. Korrosionsschutz, Schmierzustand und Herstellverfahren (spanend oder nicht spanend bearbeitet) üben dabei einen unterschiedlichen Einfluss aus.

Die Kopf- und Gewindereibungszahlen der Schrauben sollten in folgendem Reibungszahlfenster liegen (gilt nicht bei Einsatz von Klebstoffen):

Bei der Verwendung von Einzelreibungszahlen:

Kopfreibungszahl: $0,08 \leq \mu_K \leq 0,16$

Gewindereibungszahl: $0,08 \leq \mu_G \leq 0,16$

d) Bei der Verwendung von Gesamtreibungszahlen: $0,09 \leq \mu_{\text{ges}} \leq 0,14$

Die Gleichung für die Berechnung der Gesamtreibungszahl μ_{ges} :

$$\mu_{\text{ges}} = \frac{\frac{M_A}{F_M} - 0,16 \cdot P}{0,58 \cdot d_2 + \frac{D_{\text{Km}}}{2}}$$

mit $D_{\text{Km}} = \frac{(d_w + D_{\text{Ki}})}{2}$

und $D_{\text{Ki}} = \max(D_a, d_{\text{ha}}, d_h, d_a)$

Alle Schraubenlose und Einsatzpaarungen sollten in diesen Reibungszahlfenstern liegen.

Um diese Reibungszahlen¹⁾ zu erreichen, sind die Schrauben und Muttern mit geeigneten Mitteln zu schmieren oder Schrauben und Muttern mit integriertem Schmiermittel einzusetzen.

Anhaltswerte für Kopfreibungszahlen:

$\mu_K = 0,08$: MoS₂-haltiges Schmiermittel

Anhaltswerte für Gewindereibungszahlen:

$\mu_G = 0,08$: MoS₂-haltiges Schmiermittel

Tabelle 2 — Näherungswerte für Haftreibungszahlen in der Trennfuge

| Stoffpaarung ^a | Haftreibungszahl μ_T im Zustand | |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------|
| | trocken | geschmiert |
| Stahl – Stahl/Stahlguss | 0,1 bis 0,23 | 0,07 bis 0,12 |
| Stahl – GG | 0,12 bis 0,24 | 0,06 bis 0,1 |
| GG – GG | 0,15 bis 0,3 | 0,2 |
| Bronze – Stahl | 0,12 bis 0,28 | 0,18 |
| GG – Bronze | 0,28 | 0,15 bis 0,2 |
| Stahl – Kupferlegierung | 0,07 | |
| Stahl – Aluminiumlegierung | 0,1 bis 0,28 | 0,05 bis 0,18 |
| Aluminium – Aluminium | 0,21 | |

^a aus VDI 2230 Blatt 1:2003-02, Tabelle A6

Größere Reibungszahlen für μ_T können bei entsprechendem Nachweis (Versuch oder Nachweis nach z. B. DIN 18800-1) verwendet werden.

¹⁾ Siehe VDA 235-101

7.2.4 Verschraubungsklasse (Anziehungsfaktor α_A)

Die Montagevorspannkraft wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, hierzu gehören:

- Reibungsverhältnisse in den sich relativ zueinander bewegenden Oberflächen;
- Festigkeit der Verbindungselemente;
- geometrische Form der Schraubverbindung;
- Anziehungsmethode und das Anziehungswerkzeug.

Fehler beim Abschätzen der Reibungszahlen, Streuung der Reibungszahlen innerhalb eines Schraubenloches und der zu verschraubenden Bauteile, unterschiedlich genaue Anziehungsmethoden und Instrumentenfehler führen zu einer mehr oder weniger großen Streuung der Montagevorspannkraft. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer Überdimensionierung der Schraubenverbindung, die durch den Anziehungsfaktor α_A zum Ausdruck kommt. Der in die Berechnung einbezogene Faktor α_A legt gleichzeitig die anzuwendende Verschraubungsklasse fest.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über Zusammenhänge der Einflussgrößen.

Tabelle 3 — Verschraubungsklassen, Richtwerte für den Anziehfaktor α_A und die Streuung des abgegebenen Montagedrehmomentes M_M der eingesetzten Werkzeuge

| Ver- schrau- bungs- klasse | Streuung ΔM_M^a des abgegebenen Montagedreh- momentes M_M | Anzieh- faktor $\alpha_A = \frac{F_{Mmax}}{F_{Mmin}}$ | Streuung $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$ | Anziehverfahren | Einstell- verfahren | Bemerkungen | | |
|-------------------------------------|--|---|---|---|---|---|--|---|
| A | b | 1,05 bis 1,2 | ± 2 % bis ± 10 % | Längungs- gesteuertes Anziehen mit Ultraschall | Schalllaufzeit | <ul style="list-style-type: none"> - Kalibrierwerte erforderlich - Bei $l_k/d < 2$ progressive Fehlerzunahme zu - Kleinerer Fehler bei direkter mechanischer Ankopplung, größerer bei indirekter Ankopplung | | |
| | | 1,1 bis 1,5 | ± 5 % bis ± 20 % | Mechanische Längungs- messung | Einstellung über Längungs- messung | <ul style="list-style-type: none"> - Notwendig ist die genaue Ermittlung der axialen elastischen Nachgiebigkeit der Schraube. Die Streuung ist wesentlich abhängig von der Genauigkeit des Messverfahrens - Bei $l_k/d < 2$ progressive Fehlerzunahme zu beachten | | |
| | | 1,2 bis 1,4 | ± 9 % bis ± 17 % | Streckgrenz- gesteuertes Anziehen motorisch oder manuell | Vorgabe des relativen Drehmoment- Drehwinkel- Koeffizienten | Die Vorspannkraftstreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos. Die Schrauben werden hier für F_{Mmin} dimensioniert; eine Auslegung der Schrauben für F_{Mmax} mit dem Anziehfaktor α_A entfällt deshalb für diese Anziehmethode | | |
| | | 1,2 bis 1,4 | ± 9 % bis ± 17 % | Drehwinkel- gesteuertes Anziehen motorisch oder manuell | Versuchs- mäßige Bestimmung von Schwell- moment und Drehwinkel (Stufen) | | | |
| B | ± 5 % bis ± 10 % | b | 1,2 bis 1,6 | ± 9 % bis ± 23 % | Hydraulisches Anziehen | Einstellung über Längen- bzw. Druckmessung | Niedrigere Werte für lange Schrauben ($l_k/d > 5$) Höhere Werte für kurze Schrauben ($l_k/d \leq 2$) | |
| | | | 1,4 bis 1,6 | ± 17 % bis ± 23 % | Drehmoment- gesteuertes Anziehen mit Drehmoment- schlüssel, signalgebendem Schlüssel oder Drehschrauber mit dynamischer Drehmoment- messung | Versuchsmäßige Bestimmung der Sollanzieh- drehmomente am Originalver- schraubungsteil, z. B. durch Längungs- messung der Schraube | Niedrigere Werte: Große Zahl von Einstell- bzw. Kontrollversuchen (z. B. 20) erforderlich; geringe Streuung des abgegebenen Mon- tagedrehmomentes (z. B. ± 5 %) nötig | Niedrigere Werte für: <ul style="list-style-type: none"> - kleine Drehwinkel, d. h. relativ steife Verbindungen - relativ weiche Gegenlage - Gegenlagen, die nicht zum „Fressen“ neigen, z. B. phosphatiert oder bei ausreichender Schmierung |
| | | 1,6 bis 2,0 (mit Reibungs- zahlen nach 7.2.3) | ± 23 % bis ± 33 % | Drehmoment- gesteuertes Anziehen mit Drehmoment- schlüssel, signalgebendem Schlüssel oder Drehschrauber mit dynamischer Drehmoment- messung | Bestimmung des Sollanzieh- drehmomentes durch Schätzen der Reibungs- zahl (Ober- flächen- und Schmier- verhältnisse) | Niedrigere Werte für: Drehmomentschlüssel bei gleichmäßigem Anziehen und für Präzisionsdreh- schrauber Höhere Werte für: Signal gebende oder ausknickende Drehmomentschlüssel | Höhere Werte für: <ul style="list-style-type: none"> - große Drehwinkel, d. h. relativ nachgiebige Verbindungen sowie Feingewinde - große Härte der Gegenlage, verbunden mit rauer Oberfläche | |

ANMERKUNG Die bisherigen Verschraubungsklassen C und D nach DIN 25202:1992-04 dürfen nicht mehr angewendet werden.

Quellen: ERRI S 1071/RP 1 und VDI 2230 Blatt 1

^a Die Streuung des abgegebenen Montagedrehmomentes in Prozent gibt an, wie weit das abgegebene Montagedrehmoment vom Nennmoment des Werkzeugs abweichen kann.

^b Bei diesen Verfahren ist das Montagedrehmoment keine Steuerungsgröße.

7.3 Eintragungen in technischen Dokumenten

Siehe Tabelle 1 und Anhang B.

7.4 Dimensionierung

7.4.1 Vordimensionierung

Der Mindestgewindenenddurchmesser wird maßgeblich aus den auf die Schraubenverbindung wirkenden Längs- und Querkräften bestimmt. Zur Vordimensionierung von Schraubenverbindungen sind nachfolgend im Anhang A drei Bilder (Diagramme) aufgeführt. Aus den Bildern A.2 bis A.4 lässt sich bei bekannter Quer- und Längsbelastung auf die Schraubenverbindung je nach Festigkeitsklasse der erforderliche Gewindenenddurchmesser abschätzen.

7.4.2 Berechnung

Ausgehend von der Vordimensionierung nach 7.4.1 ist bei Schraubenverbindungen der Verspannungsfälle 2 und 3 der Risikoklasse H und der Verspannungsfälle 1, 2 und 3 der Risikoklasse M eine Berechnung vorzugsweise nach VDI 2230 Blatt 1 oder FEM, BEM oder gleichwertigen Untersuchungen oder Versuchen erforderlich (siehe auch DIN 25201-1).

7.4.3 Montage mit Anziehdrehmoment M_A

Das nominelle Anziehdrehmoment M_A muss für die Angabe in den technischen Unterlagen um den Betrag der Streuung für das abgegebene Montagedrehmoment ΔM_M nach Tabelle 3, der dem vorgesehenen Anziehverfahren (Verschraubungsklasse) entspricht, reduziert werden.

$$M_{A\text{red}} = \left(1 - \frac{|\Delta M_M|}{X}\right) \cdot M_A$$

Dabei ist

| | |
|-------------------|--|
| M_A | das Anziehdrehmoment (in Nm); |
| ΔM_M | das Montagedrehmoment (in Nm); |
| $M_{A\text{red}}$ | das reduzierte Anziehdrehmoment (in Nm); |
| X | Reduzierungsfaktor = 100 % |

Anhang A (normativ)

Vordimensionierung der Gewindenenddurchmesser

Bild A.1 zeigt ein Beispiel für den in den Bildern A.2 bis A.4 gewählten Setzbetrag f_z mit Werten nach Tabelle A.1.

Die Bilder A.2, A.3 und A.4 ermöglichen eine Vordimensionierung der Gewindenenddurchmesser für bekannte Quer- und Längskräfte auf eine Schraubenverbindung, sofern die den Bildern zugrunde gelegten Parameter eingehalten werden. Im Bild A.5 ist ein Beispiel für die Auswahl einer Schraube und die Bestimmung des Ausnutzungsgrades der Montagevorspannkraft dargestellt.

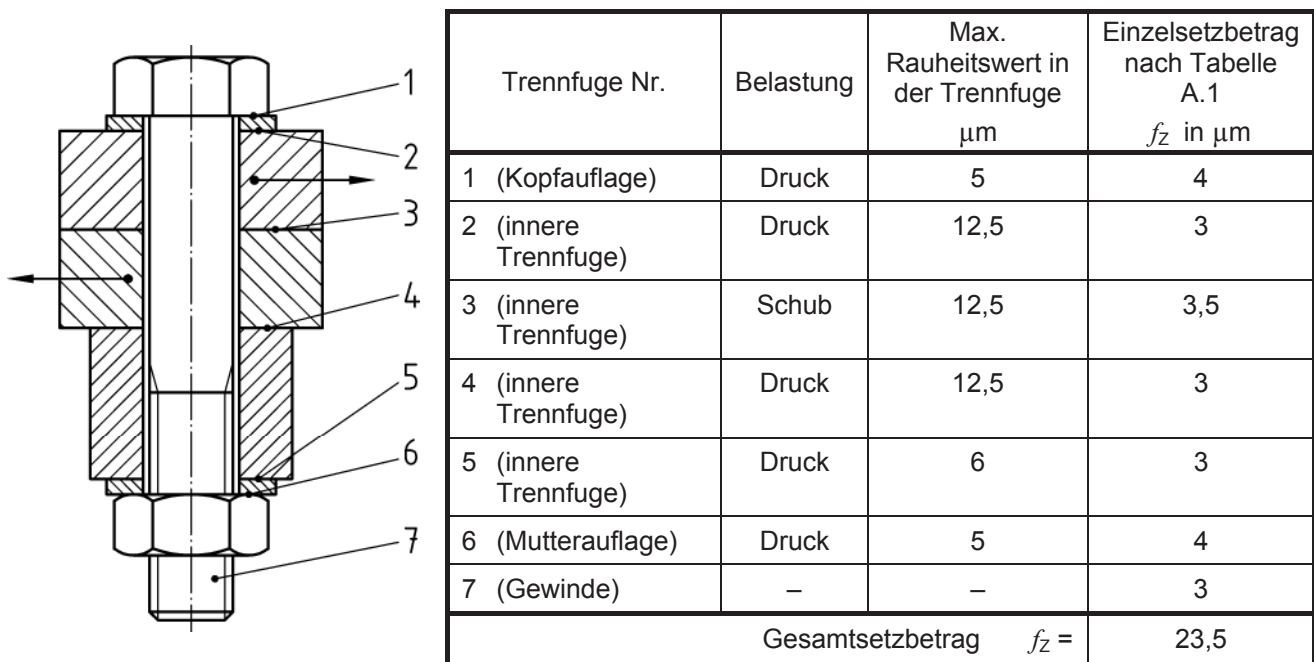


Bild A.1 — Beispiel für den in den Bildern A.2 bis A.4 gewählten Setzbetrag f_z mit Werten nach Tabelle A.1

Tabelle A.1 — Richtwerte für Setzbeträge bei Schrauben, Muttern und kompakten verspannten Teilen aus Stahl nach VDI 2230 Blatt 1 (blanke Oberflächen, Einhaltung der Grenzflächenpressung)

| Profilkennwert R_z in μm | Profilkennwert R_a in μm | Belastung | Richtwerte für Einzelsetzbeträge f_z in μm | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------|---|-----------------------------|---------------------|
| | | | Im Gewinde ^a | je Kopf- oder Mutterauflage | je innere Trennfuge |
| < 10 | < 0,6 | Zug/Druck | 3 | 2,5 | 1,5 |
| | | Schub | 3 | 3 | 2 |
| 10 bis < 40 | 0,6 bis < 4 | Zug/Druck | 3 | 3 | 2 |
| | | Schub | 3 | 4,5 | 2,5 |
| 40 bis < 160 | 4 bis < 22 | Zug/Druck | 3 | 4 | 3 |
| | | Schub | 3 | 6,5 | 3,5 |

^a Anhaltswerte für Gewindegewinde für Einschraubverbindungen: 5 μm (10 μm bei Aluminium)

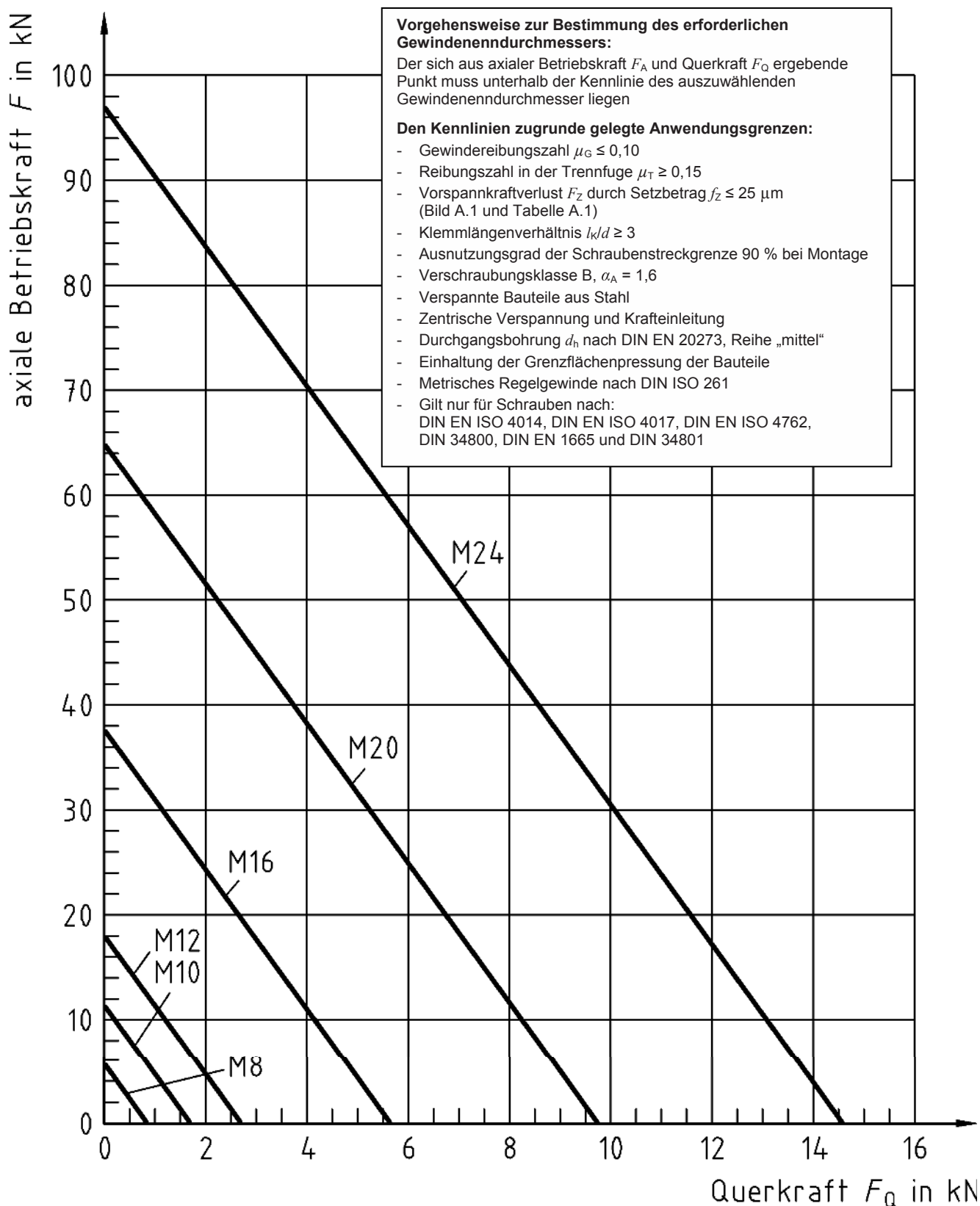


Bild A.2 — Berechnete Vordimensionierung der Gewindenenddurchmesser für Festigkeitsklasse 8.8

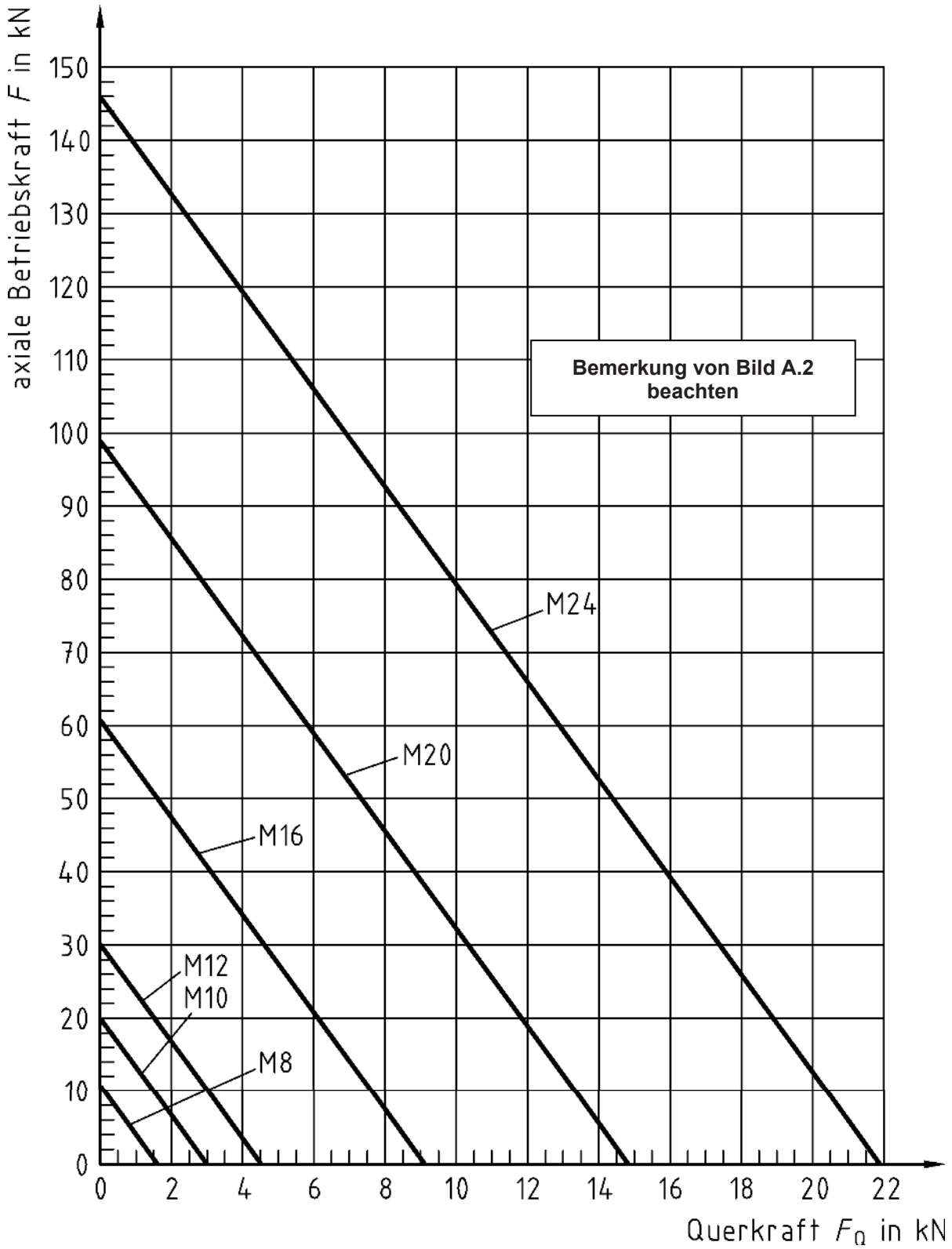


Bild A.3 — Berechnete Vordimensionierung der Gewindenenddurchmesser für Festigkeitsklasse 10.9

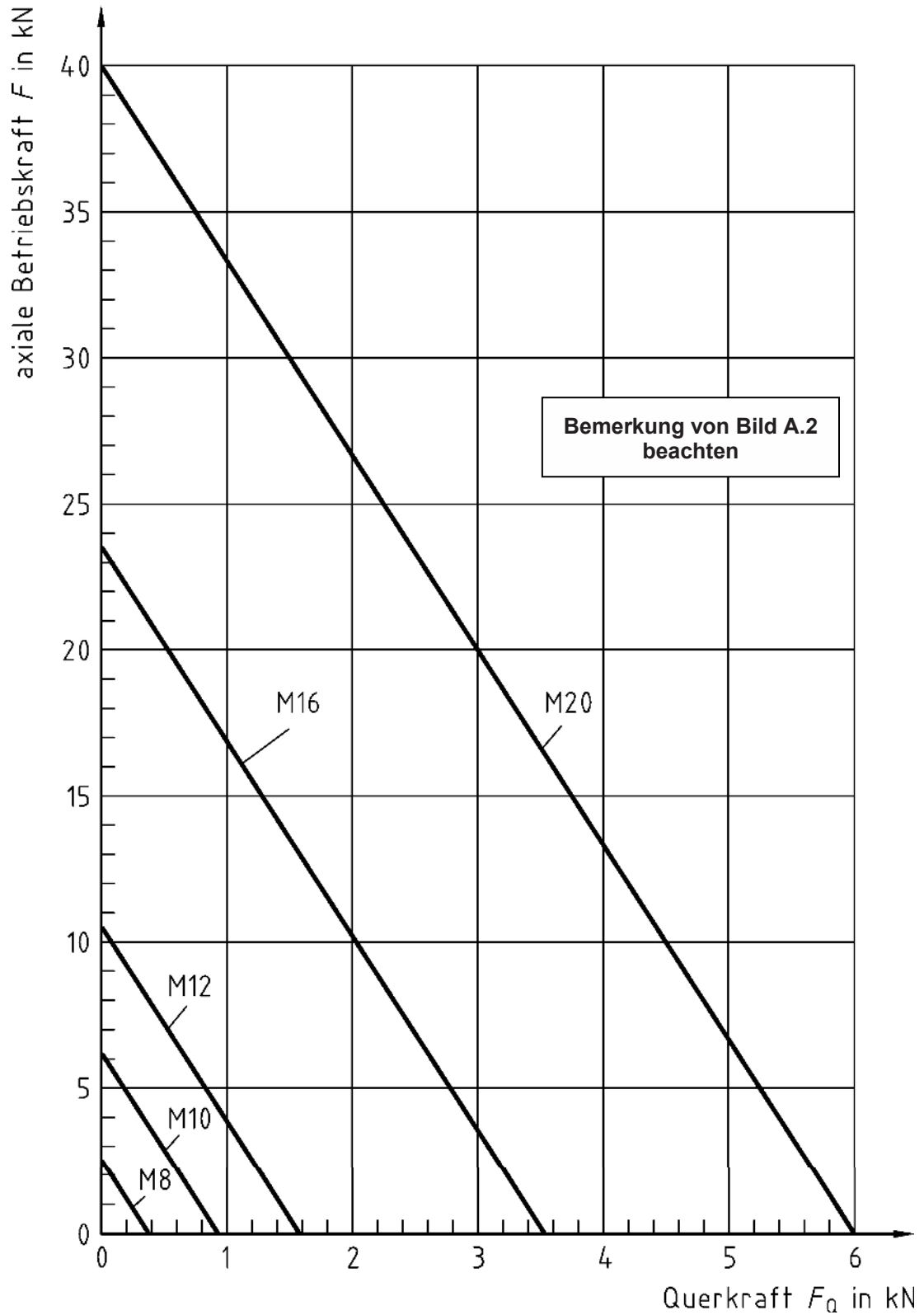


Bild A.4 — Berechnete Vordimensionierung der Gewindenenddurchmesser für Schrauben A2-70 und A4-70

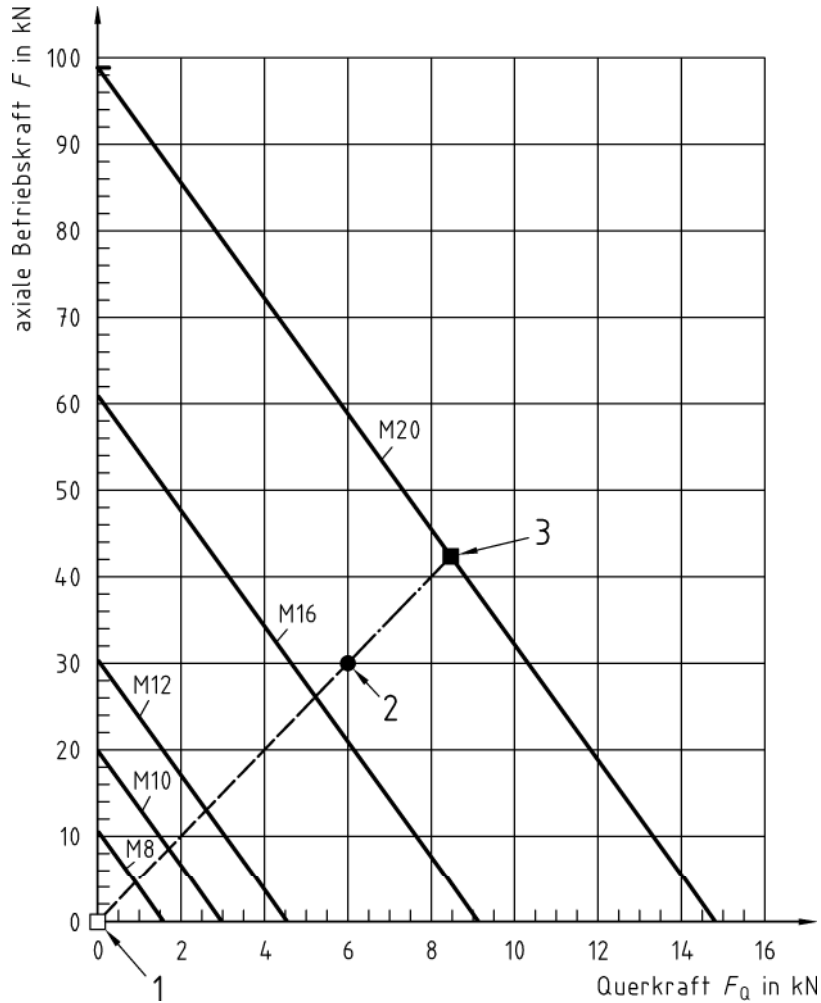
BEISPIEL Überschlägige Ermittlung des Ausnutzungsgrades der Montagevorspannkraft einer Schraubenverbindung

Eine Schraubenverbindung muss folgende vorhandenen äußeren Kräfte übertragen:

Längskraft auf die Schraubenverbindung: $F_A = 30 \text{ kN}$

Querkraft auf die Schraubenverbindung: $F_Q = 6 \text{ kN}$

Die Schraubenverbindung muss für die Bedingungen aus Bild A.3 vordimensioniert werden.



Legende

- 1 Ursprung Punkt „0“
- 2 Äußere Belastung auf die Schraubenverbindung Punkt „A“
- 3 Beanspruchbarkeit bzgl. Montagevorspannkraft der Schraubenverbindung M20 10.9 Punkt „B“

Bild A.5 — Vorhandene Beanspruchung „A“ und „Beanspruchbarkeit“ „B“ der ausgewählten Schraubennenngröße M20 (Diagramm nach Bild A.3: „Berechnete Vordimensionierung der Gewindegewinde für Festigkeitsklasse 10.9“)

Die Beanspruchbarkeit einer Schraubenverbindung mit Schraube der Nenngröße M20, Festigkeitsklasse 10.9 (M10-10.9) entspricht dem Punkt „B“ bzw. der Strecke 0B. Die vorhandene äußere Belastung entspricht dem Punkt „A“ bzw. der Strecke 0A.

Der Ausnutzungsgrad in Prozent der aufgrund der Montagevorspannkraft der Schraube M20-10.9 vorhandenen Beanspruchbarkeit entspricht dem Verhältnis der Strecken 0A zu 0B.

$$\text{Ausnutzungsgrad der Montagevorspannkraft} = \frac{\text{Strecke 0A}}{\text{Strecke 0B}} [\%]$$

Anhang B (informativ)

Beispiele für Eintragungen in technischen Dokumenten

BEISPIEL 1

Streckgrenzgesteuertes Anziehen nach Verschraubungsklasse A in der Risikoklasse H:

Streckgrenzgesteuertes Anziehen DIN 25201-2 – A
Risikoklasse H
Gewinde und Kopfauflage geschmiert
Trennfugen sauber und fettfrei halten

BEISPIEL 2

Drehwinkelgesteuertes Anziehen nach Verschraubungsklasse A in der Risikoklasse H. Es ist zuerst ein Fügoment²⁾ von $M_F = 15 \text{ Nm}$ und anschließend der Anziehdrehwinkel $\alpha = 30^\circ$ aufzubringen:

Drehwinkelgesteuertes Anziehen DIN 25201-2 – A
Risikoklasse H
15 Nm – 30 Grad –
Gewinde und Kopfauflage geschmiert
Trennfugen sauber und fettfrei halten

BEISPIEL 3

Drehmomentgesteuertes Anziehen nach Verschraubungsklasse B in der Risikoklasse M, beispielsweise beträgt das Anziehdrehmoment $M_A = 23 \text{ Nm}$ bei Werkzeugangriff an der Mutter (Auflagedurchmesser), Gewinde und Mutterauflage sind geschmiert, die Trennfugen dürfen mit Schmiermittel benetzt sein:

DIN 25201-2 – B
Risikoklasse M
 $M_A = 23 \text{ Nm}$ – Mutterseitig, Gewinde und Mutterauflage geschmiert

²⁾ In VDI 2230 Blatt 1 wird das Fügoment M_F als das Moment angegeben, bei dem ein vollständiger Kontakt aller Trennflächen entsteht. Der Drehwinkel wird erst nach Überschreitung des Schwellmoments ($\geq M_F$) gezählt.

BEISPIEL 4

Tabelle B.1 zeigt ein Beispiel für Eintragungen in technischen Dokumenten.

Tabelle B.1 — Mögliche Angabe in Tabellenform über dem Schriftkopf der Zeichnung

| Pos. | Risiko- klasse | Verschraubungs- klasse | Anziehdrehmoment M_A in Nm | Schmierung | Montagehinweis |
|--------|-------------------|---------------------------|---------------------------------|--|--|
| 18, 58 | M | B | 64 | Gewinde und Schraubenkopfauflage mit Pos. 45 | Trennfugen sauber und fettfrei halten |
| 24 | H | B | 176 | Gewinde und Mutterauflage mit Pos. 45 | Anziehdrehmoment gilt für Antrieb am Schraubenkopf, Trennfugen sauber und fettfrei halten |

Anhang C (informativ)

Anhaltswerte für Montagevorspannkkräfte und Anziehdrehmomente

Die Montagevorspannkkräfte sind in Tabelle C.1 dargestellt, reduzierte Anziehdrehmomente werden in Tabelle C.2 dargestellt.

Tabelle C.1 — Montagevorspannkkräfte $F_{M\ Tab}$ und Anziehdrehmomente M_A für Schrauben mit metrischem Regelgewinde nach DIN ISO 261 und Kopfabmessungen von Sechskantschrauben DIN EN ISO 4014 und DIN EN ISO 4017³⁾ und Bohrung „mittel“ nach DIN EN 20273

| Gewinde | Festigkeitsklasse ^a | Montagevorspannkkräfte $F_{M\ Tab}$ in kN für $\mu_G =$ | | | | | | Anziehdrehmomente M_A ^b in Nm für $\mu_K =$ | | | | | |
|---------|--------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--|------|------|------|------|------|
| | | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 |
| M4 | 8.8 | 4,6 | 4,5 | 4,4 | 4,3 | 4,2 | 3,9 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 4,1 |
| | 10.9 | 6,8 | 6,7 | 6,5 | 6,3 | 6,1 | 5,7 | 3,3 | 3,9 | 4,6 | 4,8 | 5,3 | 6,0 |
| | A2-70 | 3,3 | 3,2 | 3,1 | 3,0 | 2,9 | 2,8 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,9 |
| | A4-80 | 4,4 | 4,3 | 4,1 | 4,0 | 3,9 | 3,7 | 2,1 | 2,5 | 2,8 | 3,1 | 3,4 | 3,8 |
| M5 | 8.8 | 7,6 | 7,4 | 7,2 | 7,0 | 6,8 | 6,4 | 4,4 | 5,2 | 5,9 | 6,5 | 7,1 | 8,1 |
| | 10.9 | 11,1 | 10,8 | 10,6 | 10,3 | 10,0 | 9,4 | 6,5 | 7,6 | 8,6 | 9,5 | 10,4 | 11,9 |
| | A2-70 | 5,3 | 5,2 | 5,1 | 4,9 | 4,8 | 4,5 | 3,1 | 3,6 | 4,1 | 4,6 | 5,0 | 5,7 |
| | A4-80 | 7,1 | 6,9 | 6,8 | 6,6 | 6,4 | 6,0 | 4,1 | 4,8 | 5,5 | 6,1 | 6,6 | 7,6 |
| M6 | 8.8 | 10,7 | 10,4 | 10,2 | 9,9 | 9,6 | 9,0 | 7,7 | 9,0 | 10,1 | 11,3 | 12,3 | 14,1 |
| | 10.9 | 15,7 | 15,3 | 14,9 | 14,5 | 14,1 | 13,2 | 11,3 | 13,2 | 14,9 | 16,5 | 18,0 | 20,7 |
| | A2-70 | 7,5 | 7,3 | 7,2 | 7,0 | 6,8 | 6,4 | 5,4 | 6,3 | 7,1 | 7,9 | 8,6 | 9,9 |
| | A4-80 | 10,0 | 9,8 | 9,5 | 9,3 | 9,0 | 8,5 | 7,2 | 8,4 | 9,5 | 10,5 | 11,5 | 13,2 |
| M8 | 8.8 | 19,5 | 19,1 | 18,6 | 18,1 | 17,6 | 16,5 | 18,5 | 21,6 | 24,6 | 27,3 | 29,8 | 34,3 |
| | 10.9 | 28,7 | 28,0 | 27,3 | 26,6 | 25,8 | 24,4 | 27,2 | 31,8 | 36,1 | 40,1 | 43,8 | 50,3 |
| | A2-70 | 13,7 | 13,4 | 13,1 | 12,7 | 12,4 | 11,7 | 13,0 | 15,2 | 17,3 | 19,2 | 21,0 | 24,1 |
| | A4-80 | 18,3 | 17,9 | 17,5 | 17,0 | 16,5 | 15,6 | 17,3 | 20,3 | 23,0 | 25,6 | 28,0 | 32,1 |
| M10 | 8.8 | 31,0 | 30,3 | 29,6 | 28,8 | 27,9 | 26,3 | 36 | 43 | 48 | 54 | 59 | 68 |
| | 10.9 | 45,6 | 44,5 | 43,4 | 42,2 | 41,0 | 38,6 | 53 | 63 | 71 | 79 | 87 | 100 |
| | A2-70 | 21,8 | 21,3 | 20,8 | 20,3 | 19,7 | 18,6 | 26 | 30 | 34 | 38 | 41 | 48 |
| | A4-80 | 29,1 | 28,5 | 27,8 | 27,0 | 26,3 | 24,8 | 34 | 40 | 45 | 51 | 55 | 64 |
| M12 | 8.8 | 45,2 | 44,1 | 43,0 | 41,9 | 40,7 | 38,3 | 63 | 73 | 84 | 93 | 102 | 117 |
| | 10.9 | 66,3 | 64,8 | 63,2 | 61,5 | 59,8 | 56,3 | 92 | 108 | 123 | 137 | 149 | 172 |
| | A2-70 | 31,8 | 31,1 | 30,3 | 29,5 | 28,7 | 27,1 | 44 | 52 | 59 | 65 | 72 | 82 |
| | A4-80 | 42,4 | 41,4 | 40,4 | 39,4 | 38,3 | 36,1 | 59 | 69 | 78 | 87 | 95 | 110 |
| M16 | 8.8 | 84,7 | 82,9 | 80,9 | 78,8 | 76,6 | 72,2 | 153 | 180 | 206 | 230 | 252 | 291 |
| | 10.9 | 124,4 | 121,7 | 118,8 | 115,7 | 112,6 | 106,1 | 224 | 264 | 302 | 338 | 370 | 428 |
| | A2-70 | 59,7 | 58,4 | 57,1 | 55,6 | 54,1 | 51,1 | 108 | 127 | 145 | 162 | 178 | 206 |
| | A4-80 | 79,6 | 77,9 | 76,1 | 74,1 | 72,2 | 68,1 | 143 | 169 | 193 | 216 | 237 | 274 |
| M20 | 8.8 | 136 | 134 | 130 | 127 | 123 | 116 | 308 | 363 | 415 | 464 | 509 | 588 |
| | 10.9 | 194 | 190 | 186 | 181 | 176 | 166 | 438 | 517 | 592 | 661 | 725 | 838 |
| | A2-70 | 93 | 91 | 89 | 87 | 84 | 80 | 210 | 248 | 284 | 317 | 347 | 402 |
| M24 | 8.8 | 196 | 192 | 188 | 183 | 178 | 168 | 529 | 625 | 714 | 798 | 875 | 1011 |
| | 10.9 | 280 | 274 | 267 | 260 | 253 | 239 | 754 | 890 | 1017 | 1136 | 1246 | 1440 |
| | A2-50 | 63 | 61 | 60 | 58 | 57 | 54 | 169 | 199 | 228 | 254 | 279 | 322 |
| M30 | 8.8 | 313 | 307 | 300 | 292 | 284 | 268 | 1053 | 1246 | 1428 | 1597 | 1754 | 2035 |
| | 10.9 | 446 | 437 | 427 | 416 | 405 | 382 | 1500 | 1775 | 2033 | 2274 | 2498 | 2893 |
| | A2-50 | 100 | 98 | 96 | 93 | 91 | 86 | 336 | 397 | 455 | 509 | 559 | 647 |
| M36 | 8.8 | 458 | 448 | 438 | 427 | 415 | 392 | 1825 | 2164 | 2482 | 2778 | 3054 | 3541 |
| | 10.9 | 652 | 638 | 623 | 608 | 591 | 558 | 2600 | 3082 | 3535 | 3957 | 4349 | 5043 |
| | A2-50 | 146 | 143 | 139 | 136 | 132 | 125 | 582 | 689 | 790 | 885 | 972 | 1128 |

^a Festigkeitsklassen nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN ISO 3506-1

^b gerechnet mit $\mu_G = \mu_K$

³⁾ Gilt auch für Schrauben mit Außensechsrund mit kleinem Flansch nach DIN 34800 (M4 bis M20) und Innensechskantschrauben nach DIN EN ISO 4762.

Tabelle C.2 — Reduzierte Anziehdrehmomente $M_{A\text{red}}$ (7 % Werkzeugstreuung) für Schrauben mit metrischem Regelgewinde nach DIN ISO 261 und Kopfabmessungen von Sechskantschrauben DIN EN ISO 4014 und DIN EN ISO 4017⁴⁾ für Verschraubungsklasse B

| Gewinde | Festigkeitsklasse ^a | reduzierte Anziehdrehmomente $M_{A\text{red}}$ ^b in Nm für μ_K | | | | | |
|---------|--------------------------------|---|------|------|------|------|------|
| | | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,20 |
| M4 | 8.8 | 2,1 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,3 | 3,8 |
| | 10.9 | 3,1 | 3,6 | 4,3 | 4,5 | 4,9 | 5,6 |
| | A2-70 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,7 |
| | A4-80 | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 2,9 | 3,1 | 3,6 |
| M5 | 8.8 | 4,1 | 4,8 | 5,5 | 6,0 | 6,6 | 7,6 |
| | 10.9 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 8,9 | 9,7 | 11,1 |
| | A2-70 | 2,9 | 3,4 | 3,8 | 4,2 | 4,6 | 5,3 |
| | A4-80 | 3,9 | 4,5 | 5,1 | 5,7 | 6,2 | 7,1 |
| M6 | 8.8 | 7,1 | 8,4 | 9,4 | 10,5 | 11,4 | 13,1 |
| | 10.9 | 10,5 | 12,3 | 13,8 | 15,4 | 16,8 | 19,2 |
| | A2-70 | 5,0 | 5,8 | 6,6 | 7,4 | 8,0 | 9,2 |
| | A4-80 | 6,7 | 7,8 | 8,8 | 9,8 | 10,7 | 12,3 |
| M8 | 8.8 | 17,2 | 20,1 | 22,8 | 25,4 | 27,7 | 31,9 |
| | 10.9 | 25,3 | 29,5 | 33,6 | 37,3 | 40,7 | 46,8 |
| | A2-70 | 12,1 | 14,1 | 16,1 | 17,8 | 19,5 | 22,4 |
| | A4-80 | 16,1 | 18,9 | 21,4 | 23,8 | 26,0 | 29,9 |
| M10 | 8.8 | 34 | 40 | 45 | 50 | 55 | 63 |
| | 10.9 | 50 | 58 | 66 | 74 | 81 | 93 |
| | A2-70 | 24 | 28 | 32 | 35 | 39 | 44 |
| | A4-80 | 32 | 37 | 42 | 47 | 51 | 59 |
| M12 | 8.8 | 58 | 68 | 78 | 87 | 95 | 109 |
| | 10.9 | 86 | 100 | 114 | 127 | 139 | 160 |
| | A2-70 | 41 | 48 | 55 | 61 | 67 | 77 |
| | A4-80 | 55 | 64 | 73 | 81 | 89 | 102 |
| M16 | 8.8 | 142 | 167 | 192 | 214 | 234 | 271 |
| | 10.9 | 208 | 246 | 281 | 315 | 344 | 398 |
| | A2-70 | 100 | 118 | 135 | 151 | 165 | 191 |
| | A4-80 | 133 | 157 | 180 | 201 | 220 | 255 |
| M20 | 8.8 | 287 | 338 | 386 | 432 | 474 | 547 |
| | 10.9 | 407 | 481 | 551 | 615 | 674 | 779 |
| | A2-70 | 195 | 231 | 264 | 294 | 323 | 374 |
| M24 | 8.8 | 492 | 581 | 664 | 742 | 814 | 940 |
| | 10.9 | 701 | 828 | 946 | 1056 | 1159 | 1339 |
| | A2-50 | 157 | 185 | 212 | 236 | 259 | 300 |
| M30 | 8.8 | 979 | 1159 | 1328 | 1485 | 1631 | 1892 |
| | 10.9 | 1395 | 1651 | 1891 | 2115 | 2323 | 2690 |
| | A2-50 | 312 | 369 | 423 | 473 | 520 | 602 |
| M36 | 8.8 | 1697 | 2013 | 2308 | 2584 | 2840 | 3293 |
| | 10.9 | 2418 | 2866 | 3288 | 3680 | 4045 | 4690 |
| | A2-50 | 541 | 641 | 735 | 823 | 904 | 1049 |

^a Festigkeitsklassen nach DIN EN ISO 898-1 und DIN EN ISO 3506-1
^b gerechnet mit $\mu_G = \mu_K$

⁴⁾ Gilt auch für Schrauben mit Außensechsrund mit kleinem Flansch nach DIN 34800 (M4 bis M20) und Innensechskantschrauben nach DIN EN ISO 4762.

Literaturhinweise

ERRI S 1071/RP 1, *Schraubenverbindungen, Allgemeines und Sicherheitsempfehlungen*

VDA 235-101, *Schmieren von mechanischen Verbindungselementen mit Gewinde*