VERBINDUNGSELEMENTE · VORSPANNKRAFT · ANZIEHDREHMOMENT · FESTIGKEITSKLASSEN · EINSCHRAUBTIEFE · REFERENZDOKUMENT · ÖFFENTLICH

Schraubenverbindungen Referenz

Eine Schraubenverbindung von der Vorspannkraft her auslegen — Festigkeitsklassen, Zusammenhang Anziehdrehmoment–Vorspannkraft, Einschraubtiefe, Schraubensicherungen und die Schadensbilder, die aus falscher Klemmkraft entstehen.

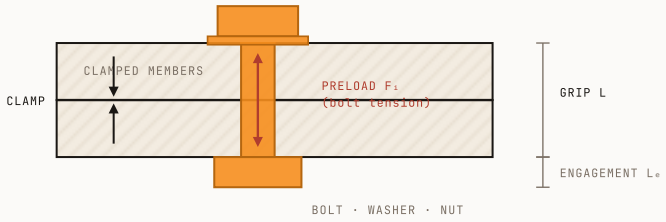
REVISION	AUSGABE	VERANTWORTLICH	BEGLEITMATERIAL
1.0	June 2026	Ideambox Engineering	PDF-Referenz

KURZFASSUNG

Eine Schraubenverbindung trägt die Last über die Vorspannkraft (Klemmkraft), nicht dadurch, dass die Schraube als Scherbolzen wirkt. Beim Anziehen wird die Schraube gelängt; die gespeicherte Zugkraft verspannt die Bauteile. Weil die verspannten Teile wesentlich steifer sind als die Schraube, entlastet der Großteil einer äußeren Zugkraft die Klemmung, statt die Schraubenspannung zu erhöhen — deshalb ist eine richtig vorgespannte Verbindung kaum ermüdungsgefährdet und dreht sich nicht selbsttätig los.

Abschnitt 1 erklärt die Wirkungsweise der Verbindung. Abschnitt 2 behandelt Festigkeitsklassen und Werkstoffe. Abschnitt 3 behandelt Vorspannkraft und Anziehen (Anziehdrehmoment–Vorspannkraft, Reibungsbeiwert K, Genauigkeit der Anziehverfahren). Abschnitt 4 betrifft Einschraubtiefe und Abstreifen des Gewindes. Abschnitt 5 enthält Gestaltungsregeln. Abschnitt 6 behandelt Losdrehen und Schraubensicherungen. Abschnitt 7 enthält Schadensbilder und eine Checkliste zum Anziehen.

BOLTED JOINT — PRELOAD & CLAMP FORCE



EINE SCHRAUBENVERBINDUNG IST EINE STEIFE ZUGFEDER, DIE WESENTLICH STEIFERE DRUCKFEDERN VERSPANNT. DIE VORSPANNKRAFT — NICHT DIE STATISCHE FESTIGKEIT DER SCHRAUBE — TRÄGT DIE SCHWINGENDE LAST UND VERHINDERT DAS SELBSTTÄTIGE LOSDREHEN.

INHALT

1. Wirkungsweise einer Schraubenverbindung
2. Festigkeitsklassen und Werkstoffe
3. Vorspannkraft und Anziehen
4. Einschraubtiefe und Abstreifen des Gewindes
5. Gestaltungsregeln
6. Losdrehen und Schraubensicherungen
7. Schadensbilder und Checkliste

1. Wirkungsweise einer Schraubenverbindung

Beim Anziehen wird die Schraube wie eine Feder gelängt; die gespeicherte Zugkraft ist die **Vorspannkraft** (F_i), die gleich große Gegenkraft als Druck in den Bauteilen ist die **Klemmkraft**. Im Ruhezustand stehen beide im Gleichgewicht.

Wirkt eine äußere Zugkraft F_e, wird sie im Verhältnis der Steifigkeiten auf Schraube und verspannte Teile *aufgeteilt*. Weil die verspannten Teile wesentlich steifer sind als die schlanke Schraube, nimmt die Schraube nur einen kleinen Anteil auf — das **Kraftverhältnis** Φ = k_bolt / (k_bolt + k_members), typisch 0.1–0.3. Der Rest von F_e entlastet lediglich die Klemmung. Eine hoch vorgespannte Schraube erfährt unter schwingender Last daher nur einen kleinen Spannungs*ausschlag* — der Schlüssel zur Dauerhaltbarkeit —, und die Verbindung bleibt geschlossen, solange F_e die Vorspannkraft nicht übersteigt.

1.1 Wichtige Begriffe

Vorspannkraft (F_i)	Schraubenkraft nach dem Anziehen — die Klemmkraft bei äußerer Last null
Prüfkraft	Höchste Zugkraft, die eine Schraube ohne bleibende Verformung erträgt (die Auslegungsobergrenze)
Spannungsquerschnitt (A_s)	Wirksamer Querschnitt des Gewindeteils für die Spannungsberechnung (nicht der Nenn-Ø)
Kraftverhältnis (Φ)	Anteil der äußeren Last, der die Schraubenkraft erhöht (k_bolt / (k_bolt + k_members))
Klemmlänge	Verspannte Dicke von der Kopfauflage bis zur Mutterauflage
Festigkeitsklasse	Auf dem Kopf angegebene Festigkeitsstufe (z. B. 8.8, 10.9)

Faustregel für die Auslegung: **hohe Vorspannkraft (≈75% der Prüfkraft), äußere Last unter der Vorspannkraft halten und der Schraube genug Klemmlänge zum Dehnen geben.** Diese drei Entscheidungen tragen die meisten Verbindungen.

2. Festigkeitsklassen und Werkstoffe

Metrische Stahlschrauben werden nach **Festigkeitsklasse** eingeteilt, die auf dem Kopf angegeben ist. Die erste Zahl ×100 ≈ Zugfestigkeit (MPa); die zweite ×10 ≈ Streckgrenze in % der Zugfestigkeit.

KLASSE	PRÜFSPANNUNG S_p (MPA)	STRECKGRENZE 0.2% (MPA)	ZUGFESTIGKEIT S_u (MPA)	HINWEISE
4.8	310	340	420	Kohlenstoffarm, allgemeine Verwendung
8.8	580 (≤M16) / 600	640	800	Mittlerer C-Gehalt, vergütet — das Arbeitspferd
10.9	830	940	1040	Legierter Stahl, vergütet, kompakt und hoch belastbar
12.9	970	1100	1220	Höchste Normklasse; empfindlich gegen Versprödung
A2-70 (304 SS)	—	450	700	Austenitischer nichtrostender Stahl, kaltverfestigt
A4-80 (316 SS)	—	600	800	Meerwasser / korrosive Umgebung

Standardmäßig 8.8 verwenden; auf 10.9/12.9 nur wechseln, wenn der Bauraum eine kleinere, festere Schraube erzwingt — und bei beschichteten hochfesten Teilen auf Wasserstoffversprödung achten. Nichtrostende Schrauben (A2/A4) tauschen Festigkeit gegen Korrosionsbeständigkeit und fressen trocken montiert leicht.

3. Vorspannkraft und Anziehen

Die Ziel-Vorspannkraft beträgt bei wiederlösbaren Verbindungen normalerweise **≈ 75% der Prüfkraft**: $F_i = 0.75 \cdot S_p \cdot A_s$. Dauerhafte, streckgrenzgesteuerte Verbindungen gehen höher.

Das Anziehdrehmoment ist der übliche, aber indirekte Weg zu dieser Zugkraft:

$T = K \cdot F_i \cdot d$ — mit d als Nenndurchmesser und **K** als Reibungsbeiwert (Anziehfaktor), der von der Reibung unter dem Kopf und im Gewinde bestimmt wird.

ZUSTAND GEWINDE / KOPFAUFLAGE	BEIWERT K
Stahl, sauber & trocken	0.20–0.30 (frisst bei Edelstahl)
Anlieferungszustand, leicht geölt	0.20 (Standardannahme)
Verzinkt	0.20–0.22
Brüniert	0.15
Mit Öl / Fett geschmiert	0.12–0.15
MoS_2 / Montagepaste / Wachs	0.10–0.12
PTFE-beschichtet	0.10–0.12

Weil K so stark schwankt, **stellt das Anziehdrehmoment die Vorspannkraft nur mit großer Streuung ein** — der Schmierzustand zählt so viel wie der Schlüssel:

ANZIEHVERFAHREN	STREUUNG DER VORSPANNKRAFT
Drehmoment nach Gefühl	±35%
Kalibrierter Drehmomentschlüssel	±25%
Drehmoment + Drehwinkel	±15%
Streckgrenzgesteuert	±8%
Längenmessung / Ultraschall / hydraulisches Spannen	±3–10%

Richtwerte für das Anziehdrehmoment, Klasse 8.8, K = 0.20, ~75% der Prüfkraft (für den genauen Wert mit dem eigenen K das Werkzeug *Screw torque & preload* verwenden):

GRÖSSE	ANZIEHDREHMOMENT (N·M)	GRÖSSE	ANZIEHDREHMOMENT (N·M)
M3	1.3	M8	25
M4	3.0	M10	51
M5	6.0	M12	89
M6	10.5	M16	215

Für Klasse 10.9 mit ≈1.4 multiplizieren, für 12.9 mit ≈1.7. Immer gleichbleibend schmieren, sonst ergibt dasselbe Drehmoment völlig unterschiedliche Vorspannkräfte.

4. Einschraubtiefe und Abstreifen des Gewindes

Die Einschraubtiefe so bemessen, dass **die Schraube bricht, bevor das Gewinde abstreift** — ein Schraubenbruch ist duktil und sichtbar, ein abgestreiftes Gewinde versagt unbemerkt. Die Mindesteinschraubtiefe hängt vom *Werkstoff der Mutter bzw. des Muttergewindes* ab, nicht von der Schraube:

WERKSTOFF MUTTER / MUTTERGEWINDE (STAHLSCHRAUBE)	MIN. EINSCHRAUBTIEFE L_e
Stahl, ≥ Schraubenklasse	0.8–1.0 × d
Gusseisen	~1.25 × d
Aluminium	1.5–2.0 × d
Magnesium / Kunststoffe	2.0–2.5 × d

In Sacklochgewinden 1–2 Gewindesteigungen für den Gewindeauslauf zugeben. Das Werkzeug *Thread engagement* bemisst L_e genau für eine gegebene Schraubenklasse und einen gegebenen Grundwerkstoff.

5. Gestaltungsregeln

- **Der Schraube Klemmlänge geben.** Eine lange, schlanke Schraube speichert mehr Dehnung, hält die Vorspannkraft trotz Setzen und Temperaturwechseln und erfährt einen kleineren Spannungsausschlag. Kurze, gedrungene Schrauben verlieren durch kleinste Setzbeträge Vorspannkraft.

- **Nachgiebige Verbindungen bei Schwingbeanspruchung vermeiden.** Dichtungen und Schichtpakete kriechen und bauen die Klemmkraft ab. Wo möglich Metall auf Metall verschrauben oder ein Nachziehen nach dem Setzen vorschreiben.

- **Unterlegscheiben** verteilen die Flächenpressung und schützen die Oberfläche unter dem gedrehten Element
  bei Langlöchern, weichen Werkstoffen und großen Durchgangslöchern immer verwenden.

- **Abstände & Randabstand:** Randabstand ≥ 1.5–2 × d, Schraubenabstand ≥ 2.5–3 × d.

- **Querbeanspruchte Verbindungen:** zwischen gleitfester Verbindung (Vorspannkraft überträgt die Querkraft durch Reibung) und Scher-Lochleibungs-Verbindung (Schaft liegt an der Bohrung an) entscheiden. Gleitfeste Verbindungen brauchen die volle, nachgewiesene Vorspannkraft.

- **Durchgangsloch nicht zu groß wählen**
  großes Spiel plus weiche Bauteile begünstigen Rutschen und Setzen.

6. Losdrehen und Schraubensicherungen

Selbsttätiges Losdrehen entsteht durch **Querschwingungen**, die kurzzeitig die Gewindereibung überwinden und die Mutter zurückdrehen lassen (Junker-Mechanismus). Die erste Maßnahme ist immer eine **hohe, dauerhaft gehaltene Vorspannkraft mit ausreichender Klemmlänge** — die meisten „losen Schrauben“ sind in Wahrheit zu gering vorgespannte Schrauben.

SICHERUNGSART	WIRKPRINZIP	SICHERHEIT GEGEN VIBRATION	WIEDERVERWENDBAR
Richtige Vorspannkraft + Klemmlänge	Reibung durch Klemmung	hoch	ja
Mutter mit Polyamidring (Nyloc)	Reibung des Klemmteils	mittel	eingeschränkt (≤ ~120 °C)
Ganzmetall-Sicherungsmutter	verformtes Gewinde	mittel–hoch	wenige Male
Keilsicherungsscheibenpaar (z. B. Nord-Lock)	Keilwirkung unter dem Kopf	sehr hoch	ja
Flüssige Schraubensicherung	ausgehärtetes Harz füllt das Gewinde	hoch (je nach Sorte)	einmalig; vorher entfetten
Federring / Federscheibe	—	~keine gegen Querschwingung	—
Kontermutter	Umkehr der Gewindeflankenanlage	mittel–hoch	ja
Kronenmutter + Splint / Sicherungsdraht	formschlüssige Sicherung	sehr hoch	Splint einmalig

Hinweis: Der übliche Federring verhindert nach heutigen Versuchsergebnissen das selbsttätige Losdrehen unter Querschwingung **nicht** zuverlässig — bei Vibration nicht darauf verlassen.

7. Schadensbilder und Checkliste

SCHADENSBILD	URSACHE	ABHILFE
Dauerbruch (Kopfübergang / erster tragender Gewindegang)	geringe Vorspannkraft, kurze Klemmlänge, Kerbe	Vorspannkraft ~75% der Prüfkraft, längere Klemmlänge, gerolltes Gewinde, Kopfübergangsradius
Abstreifen des Gewindes	zu geringe Einschraubtiefe, weiche Mutter, zu hohes Drehmoment	L_e vergrößern, härtere Mutter/Gewindeeinsatz, Drehmoment kontrollieren
Setzen / Relaxation	raue oder weiche Flächen, Beschichtungen, Dichtungen setzen sich	nach dem Setzen nachziehen, weniger Trennfugen, härtere Auflageflächen
Überelastisches Anziehen	falsches K, uneinheitliche Schmierung	Anziehverfahren kontrollieren, richtiges K verwenden
Wasserstoffversprödung	beschichtet und hochfest (≥10.9)	nach dem Beschichten tempern, mechanisch verzinken, in H_2-Umgebung vermeiden
Fressen (Edelstahl)	trockenes Gewinde frisst beim Eindrehen	Montagepaste, geringere Drehzahl, unterschiedliche Legierungen paaren
Kontaktkorrosion	unterschiedliche Metalle + Elektrolyt	passende/beschichtete Verbindungselemente, Isolierung

7.1 Checkliste zum Anziehen

- **Klasse**
  standardmäßig 8.8; 10.9/12.9 nur, wenn der Bauraum eine kleinere Schraube erzwingt; A2/A4 für Korrosionsschutz.
- **Größe & Vorspannkraft**
  über den Spannungsquerschnitt A_s dimensionieren; Ziel-Vorspannkraft ≈ 75% der Prüfkraft.
- **Anziehvorschrift**
  Drehmoment über $T = K \cdot F_i \cdot d$ mit dem
  tatsächlichen
  K, oder Drehwinkel / Streckgrenze / Längenmessung für höhere Genauigkeit.
- **Einschraubtiefe**
  L_e für den Grundwerkstoff prüfen (Abschnitt 4 / Werkzeug).
- **Klemmlänge & Unterlegscheiben**
  ausreichende Klemmlänge; Scheiben unter dem gedrehten Element; nachgiebige Verbindungen/Dichtungen bei Schwingbeanspruchung vermeiden.
- **Sicherung**
  das Verfahren auf Vibration, Temperatur und Wiederverwendung abstimmen.
- **In der Zeichnung angeben**
  Klasse, Oberfläche/Beschichtung, Anziehdrehmoment (und Verfahren), Sicherungselement, Unterlegscheibe.

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/de/downloads/bolted-joint-reference/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact