

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Systematische Berechnung  
hochbeanspruchter Schraubenverbindungen  
Zylindrische Einschraubenverbindungen

VDI 2230

Blatt 1

Systematic calculation  
of high duty bolted joints  
Joints with one cylindrical bolt

Inhalt	Seite	Seite
Vorwort zur Richtlinie VDI 2230 Blatt 1 Neufassung 2001 . . . . .	2	
<b>1 Geltungsbereich</b> . . . . .	2	
<b>2 Unterschiede zur Richtlinie VDI 2230 Blatt 1 vom Juli 1986</b> . . . . .	3	
<b>3 Kraft- und Verformungsverhältnisse</b> . . . . .	4	
3.1 Überblick über mögliche Berechnungsverfahren . . . . .	4	
3.2 Grundlage zur Berechnung von Einschraubenverbindungen; Kraft- und Verformungsanalyse . . . . .	4	
3.2.1 Zentrisch verspannte Einschraubenverbindung . . . . .	7	
3.2.2 Exzentrisch verspannte Einschraubenverbindung . . . . .	7	
3.2.3 Einseitiges Klaffen der Trennfuge . . . . .	8	
3.2.4 Querkrafteinflüsse . . . . .	8	
<b>4 Rechenschritte</b> . . . . .	9	
4.1 Übersicht . . . . .	9	
4.2 Erläuterungen . . . . .	9	
<b>5 Berechnungsgrößen</b> . . . . .	14	
5.1 Elastische Nachgiebigkeiten der Verbindung . . . . .	14	
5.1.1 Nachgiebigkeit der Schraube . . . . .	14	
5.1.1.1 Axiale Nachgiebigkeit . . . . .	14	
5.1.1.2 Biegnachgiebigkeit . . . . .	15	
5.1.2 Nachgiebigkeit der aufeinander liegenden verspannten Teile . . . . .	15	
5.1.2.1 Nachgiebigkeit bei zentrisch verspannter Einschraubenverbindung . . . . .	17	
5.1.2.2 Nachgiebigkeit bei exzentrisch verspannter Einschraubenverbindung . . . . .	19	
5.1.2.3 Nachgiebigkeit bei exzentrischem Angriff einer axialen Betriebskraft . . . . .	22	
5.2 Krafteinleitung . . . . .	23	
5.2.1 Ersatzwirkungslinie der axialen Betriebskraft – Abstand $a$ . . . . .	23	
5.2.2 Der Krafteinleitungsfaktor . . . . .	23	
5.2.2.1 Grundlagen . . . . .	24	
5.2.2.2 Vorgehensweise zur Ermittlung des Krafteinleitungsfaktors $n$ . . . . .	25	
5.3 Kraftverhältnis und Schraubenzusatzkraft . . . . .	28	
5.3.1 Kraftverhältnisse und Schraubenzusatzkraft bis zur Abhebegrenze . . . . .	28	
5.3.1.1 Zentrische Belastung . . . . .	28	
5.3.1.2 Exzentrische Belastung . . . . .	29	
5.3.1.3 Äußeres Biegemoment als Sonderfall . . . . .	29	
5.3.2 Verhältnisse an der Abhebegrenze bei exzentrischer Belastung . . . . .	29	
5.3.3 Verhältnisse bei klaffender Verbindung . . . . .	31	
5.4 Vorspannkraft . . . . .	33	
5.4.1 Mindestklemmkraft . . . . .	33	
5.4.2 Vorspannkraftänderungen . . . . .	33	
5.4.2.1 Vorspannkraftverluste durch Setzen und Relaxation . . . . .	33	
5.4.2.2 Temperaturabhängige Vorspannkraftänderung . . . . .	34	
5.4.3 Montagevorspannkraft und Anziehdrehmoment . . . . .	35	
5.4.3.1 Drehmomentgesteuertes Anziehen . . . . .	36	
5.4.3.2 Drehwinkelgesteuertes Anziehen . . . . .	37	
5.4.3.3 Streckgrenzgesteuertes Anziehen . . . . .	38	
5.4.3.4 Gegenüberstellung der Anziehverfahren . . . . .	38	
5.4.3.5 Mindestmontagevorspannkraft . . . . .	38	
5.5 Beanspruchungen und Festigkeitsnachweis . . . . .	39	
5.5.1 Montagebeanspruchung . . . . .	39	
5.5.2 Betriebsbeanspruchung . . . . .	41	

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb  
Fachbereich Konstruktion  
Ausschuss Schraubenverbindungen

VDI-Handbuch Konstruktion

	Seite
5.5.3 Schwingbeanspruchung. . . . .	42
5.5.4 Flächenpressung an Schrauben- kopf- und Mutterauflageflächen. . .	44
5.5.5 Einschraubtiefe . . . . .	44
5.5.6 Scherbelastung . . . . .	47
5.5.6.1 Allgemeines . . . . .	47
5.5.6.2 Lastaufteilung . . . . .	47
5.5.6.3 Statische Beanspruchung . .	47
5.5.6.4 Dynamische Beanspruchung.	49

<b>6 Gestaltungshinweise zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Schrauben- verbindungen . . . . .</b>	<b>49</b>
6.1 Haltbarkeit der Schraubenverbindung . . . .	49
6.2 Lockern und Losdrehen von Schrauben- verbindungen . . . . .	50
<b>7 Formelzeichen und Begriffe . . . . .</b>	<b>50</b>
Schrifttum . . . . .	56
<b>Anhang A Tabellen zur Berechnung . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>Anhang B Berechnungsbeispiele. . . . .</b>	<b>71</b>
<b>Anhang C Berechnung des Krafteinleitungsfaktors</b>	<b>92</b>

**Vorwort zur Richtlinie VDI 2230 Blatt 1, von Oktober 2001**

Die seit über zwei Jahrzehnten in der Praxis angewendete Richtlinie ist eine anerkannte und viel beachtete Empfehlung. Sie gilt inzwischen als ein Standardwerk zur Berechnung von Schraubenverbindungen nicht nur im, sondern auch außerhalb des deutschsprachigen Raumes. Das Ziel der Richtlinie besteht darin, dem Konstrukteur und Berechnungsingenieur in Form von Rechenschritten eine weiter verbesserte systematische Vorgehensweise zur Berechnung von Schraubenverbindungen zur Seite zu stellen, die ihm eine funktions- und betriebssichere Auslegung bei weitgehender Ausnutzung der Schraubentragfähigkeit ermöglicht.

Seit dem Erscheinen der letzten Fassung 1986 wurden bei der Anwendung der Richtlinie vielfältige Erfahrungen gemacht, die sich u.a. in einer Reihe von Hinweisen, Anfragen und Änderungswünschen der Anwender ausdrücken. Diese sowie Änderungen im Normenwerk und vor allem einige neue Erkenntnisse und Forschungsergebnisse waren dem VDI-Ausschuss Anlass, Blatt 1 der Richtlinie grundlegend zu überarbeiten und das geplante Blatt 2 (Vielschraubenverbindungen) vorerst zurückzustellen.

Die Überarbeitung beschränkte sich dabei nicht nur auf eine Aktualisierung einiger Abschnitte, sondern es erfolgte eine Reihe grundsätzlicher Änderungen der Inhalte. Darüber hinaus wurde mit dem Ziel einer verbesserten Übersichtlichkeit der Aufbau der Richtlinie geändert. Inhalte, die nicht unmittelbar zur Berechnung benötigt werden, wurden entweder ganz entfernt (z.B. Höhe des Schraubenkopfes) oder auf ein zum Verständnis erforderliches Mindestmaß reduziert (z.B. Montageverfahren).

Der 1998 erschienene Entwurf der Neufassung wurde im Zusammenhang mit der Bearbeitung eingegange-

ner Einsprüche, in der Zwischenzeit gemachter Erfahrungen bei der Anwendung und weiteren neuen Erkenntnissen nochmals überarbeitet. Die Anzahl der Beispiele (jetzt Anhang B) wurde vergrößert und die genauere Berechnung des Krafteinleitungsfaktors von der vereinfachten Ermittlung abgetrennt und als Anhang C angefügt.

Die Richtlinie VDI 2230 Blatt 1 „Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen – Zylindrische Einschraubenverbindungen“ ist das Ergebnis einer Gemeinschaftsarbeit des VDI-Ausschusses „Schraubenverbindungen“.

Allen ehrenamtlichen Mitarbeitern dieses Ausschusses sei an dieser Stelle für Ihr Engagement und die Zurverfügungstellung von Fachwissen, Tabellen- und Bildmaterial gedankt.

**1 Geltungsbereich**

Die Festlegungen dieser Richtlinie gelten für Stahlschrauben (Befestigungsgewinde mit 60° Flankenwinkel) in hochbeanspruchten und hochfesten Schraubenverbindungen, d.h. für Festigkeitsklassen 8.8 bis 12.9 bzw. 70 und 80 und einer kraftschlüssigen Übertragung der Betriebsbelastung. Diese besteht in der Regel aus einer statischen oder dynamischen Axialkraft (d.h. Wirkungsrichtung parallel zur Schraubenachse). Darüber hinaus können Biegemomente und Querkräfte auftreten.

Die Tabellenwerte sind für die Abmessungsbereiche M4 bis M39 angegeben. Für Schrauben aus anderen Werkstoffen, bei niedrigeren oder von den Festigkeitsklassen nach DIN EN ISO 898-1 abweichenden Festigkeiten kann die Richtlinie sinngemäß angewendet werden. Gleiches gilt für Schrauben größerer Abmessungen.

Die Richtlinie gilt für eine begrenzte Abmessung der Kontaktflächen in den inneren Trennfugen (Maß G,

siehe Abschnitt 5.1.2.2). Wenn dieser Grenzwert überschritten wird, gelten die angegebenen Beziehungen nicht mehr, bzw. es stellt sich ein größerer Berechnungsfehler ein.

Die den Tabellen A1 bis A4, A7, A11 und A12 zu Grunde liegenden Werkstoffeigenschaften gelten nur bei Raumtemperatur, d.h. die Abhängigkeit von tieferen und höheren Temperaturen ist entsprechend zu beachten. Extreme Beanspruchungen (z.B. Korrosion), stoßartige und stochastische Belastungen werden nicht behandelt.

Grundsätzlich befreit die Richtlinie nicht von experimentellen und/oder numerischen (FEM, BEM) Untersuchungen zur Verifizierung der Berechnungsergebnisse. Dies ist insbesondere bei kritischen Verbindungen anzuraten.

Folgende Normen oder Vorschriften (Auswahl) sind gegebenenfalls zu beachten:

#### Technische Regeln

DIN 267 Mechanische Verbindungselemente; Technische Lieferbedingungen (Beuth Verlag, Berlin)

DIN V 2505 Berechnung von Flanschverbindungen

DIN 15 018-1 bis -3 Krane; Grundsatz für Stahltragwerke

DIN 18 800-1 Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion

DIN 18 801 Stahlhochbau; Bemessung, Konstruktion, Herstellung

DIN V ENV 1991 Eurocode 1 – Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke

DIN V ENV 1993 Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

DIN EN 28 839 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen; Schrauben und Muttern aus Nichteisenmetallen

DIN EN ISO 898-1 und -2 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und niedrig legiertem Stahl

DIN EN ISO 3506 Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen

EN 1515 Flansche und ihre Verbindungen, Schrauben und Muttern

AD B 7 Schrauben (Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter; Beuth Verlag, Berlin)

AD B 8 Flansche (gilt nur mit AD B0)

AD W 7 Schrauben und Muttern aus ferritischen Stählen

AD W 10 Werkstoffe für tiefe Temperaturen – Eisenwerkstoffe

DAST-Richtlinie 103 Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1993-1-1

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

TRD 106 Schrauben und Muttern aus Stahl (Deutscher Dampfkesselausschuss; DITR im DIN, Berlin, Beuth-Vertrieb Berlin)

TRD 309 Schrauben

Richtlinie 27/23/EG Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Druckgeräte

## 2 Unterschiede zur Richtlinie VDI 2230 Blatt 1 vom Juli 1986

Gegenüber der bisherigen Fassung der Richtlinie werden zuerst die grundsätzlichen und allgemein gültigen theoretischen Zusammenhänge von Kräften, Momenten und Verformungen in Schraubenverbindungen dargelegt. Aus der allgemein gültigen Beziehung für die Schraubenzusatzkraft sind durch entsprechende Vereinfachungen die bekannten Berechnungsbeziehungen für zentrisch und exzentrisch verspannte Schraubenverbindungen abgeleitet. Den Berechnungen liegt die Annahme zu Grunde, dass die Querschnitte eben bleiben.

Von ausschlaggebender Bedeutung ist der Verspannungs- bzw. Verformungskörper im Verbindungsbereich der Bauteile, der als ein Hohlkegelstumpf, dem sich ein Hohlzylinder anschließen kann, beschrieben wird. Die Lage des Verformungskörpers bestimmt die Exzentrizitäten der Verspannung ( $s_{sym}$ ) und der Belastung ( $a$ ) in der Ebene Schraubenachse – Wirkungslinie der axialen Betriebskraft und, gemeinsam mit seiner Größe und der Schraubennachgiebigkeit, die Belastung der Schraube.

Weitere wesentliche Veränderungen:

- Der Krafteinleitungsfaktor  $n$  wird rechnerisch ermittelt.
- Die Nachgiebigkeit der verspannten Teile  $\delta_p$  wird auf der Basis des Kegelmodells ermittelt.
- Die Berechnung des Ersatz-Flächenträgheitsmomentes  $I_{Bers}$  bezieht sich auf den Verspannungskörper.
- Verschraubungsfälle mit verspannten Bauteilen unterschiedlicher E-Moduli wurden einbezogen.
- Die Darstellung der verschiedenen Kraftverhältnisse  $\Phi$  wurde vervollständigt.
- Einführung einer durchgängigen Vorzeichenregel für die Abstände  $a$ ,  $s_{sym}$ ,  $u$  und  $v$ .
- Der Setzbetrag wird wieder in Abhängigkeit von der Anzahl der Trennfugen und der Oberflächenrauheit berechnet.