

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Systematische Berechnung
hochbeanspruchter Schraubenverbindungen
Zylindrische Einschraubenverbindungen

VDI 2230

Blatt 1 / Part 1

Systematic calculation
of highly stressed bolted joints
Joints with one cylindrical bolt

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	3	Preliminary note	3
Einleitung	3	Introduction	3
1 Anwendungsbereich	5	1 Scope	5
2 Formelzeichen und Abkürzungen	6	2 Symbols and abbreviations	6
3 Kraft- und Verformungsverhältnisse	19	3 Load and deformation conditions.	19
3.1 Überblick über mögliche Berechnungsverfahren	20	3.1 Overview of the possible calculation methods.	20
3.2 Grundlagen zur Berechnung von Einschraubenverbindungen; Kraft- und Verformungsanalyse	20	3.2 Principles for calculating single-bolted joints; analysis of forces and deformation	20
3.2.1 Zentrisch verspannte Einschraubenverbindung	25	3.2.1 Concentrically clamped single-bolted joint	25
3.2.2 Exzentrisch verspannte Einschraubenverbindung	26	3.2.2 Eccentrically clamped single-bolted joint	26
3.2.3 Einseitiges Klaffen der Trennfuge	27	3.2.3 One-sided opening of the interface	27
3.2.4 Querkrafteinflüsse	28	3.2.4 Effects of transverse load	28
4 Rechenschritte	29	4 Calculation steps.	29
4.1 Übersicht	29	4.1 Overview	29
4.2 Erläuterungen	29	4.2 Explanations	29
5 Berechnungsgrößen	39	5 Calculation quantities	39
5.1 Elastische Nachgiebigkeiten der Verbindung	39	5.1 Elastic resiliences of the joint	39
5.1.1 Nachgiebigkeit der Schraube.	39	5.1.1 Resilience of the bolt	39
5.1.2 Nachgiebigkeit der aufeinanderliegenden verspannten Teile	42	5.1.2 Resilience of superimposed clamped parts	42
5.2 Krafteinleitung	55	5.2 Load introduction.	55
5.2.1 Ersatzwirkungslinie der axialen Betriebskraft – Abstand a	55	5.2.1 Substitutional line of action of the axial working load – distance a	55
5.2.2 Krafteinleitungsfaktor	55	5.2.2 Load introduction factor	55

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)

Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik

VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion

	Seite		Page
5.3 Kraftverhältnis und Schraubenzusatzkraft	63	5.3 Load factor and additional bolt load . . .	63
5.3.1 Kraftverhältnisse und Schraubenzusatzkraft bis zur Abhebegrenze .	63	5.3.1 Load factors and additional bolt load up to the opening limit	63
5.3.2 Verhältnisse an der Abhebegrenze bei exzentrischer Belastung	67	5.3.2 Relationships at the opening limit in the case of eccentric loading . .	67
5.3.3 Verhältnisse bei klaffender Verbindung	70	5.3.3 Relationships at an opening joint .	70
5.4 Vorspannkraft	71	5.4 Preload	71
5.4.1 Mindestklemmkraft	71	5.4.1 Minimum clamp load	71
5.4.2 Vorspannkraftänderungen	71	5.4.2 Preload changes	71
5.4.3 Montagevorspannkraft und Anziehdrehmoment	75	5.4.3 Assembly preload and tightening torque	75
5.4.4 Hydraulisches reibungs- und torsionsfreies Anziehen	83	5.4.4 Hydraulic frictionless and torsion-free tightening	83
5.4.5 Mindestmontagevorspannkraft. . .	84	5.4.5 Minimum assembly preload. . . .	84
5.5 Beanspruchungen und Festigkeitsnachweis	84	5.5 Stresses and strength verification	84
5.5.1 Montagebeanspruchung	84	5.5.1 Assembly stress	84
5.5.2 Betriebsbeanspruchung	87	5.5.2 Working stress	87
5.5.3 Schwingbeanspruchung	92	5.5.3 Alternating stress	92
5.5.4 Flächenpressung an Schraubenkopf- und Mutterauflageflächen .	96	5.5.4 Surface pressure at the bolt head and nut bearing surfaces	96
5.5.5 Einschraubtiefe	97	5.5.5 Length of engagement.	97
5.5.6 Scherbelastung.	102	5.5.6 Shearing load	102
6 Gestaltungshinweise zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Schraubverbindungen.	106	6 Design information for increasing the service reliability of bolted joints	106
6.1 Haltbarkeit der Schraubverbindung . .	106	6.1 Durability of the bolted joint.	106
6.2 Lockern und Losdrehen von Schraubverbindungen	108	6.2 Loosening of bolted joints	108
Anhang A Tabellen zur Berechnung	109	Annex A Calculation tables	109
Anhang B Berechnungsbeispiele	130	Annex B Calculation examples.	130
Anhang C Berechnung des Krafteinleitungsfaktors	171	Annex C Calculating the load introduction factor	171
C1 Herauslösen der Einschraubverbindung .	171	C1 Releasing the tapped thread joint	171
C2 Aufteilen der Verbindung in Teilplatten .	171	C2 Dividing the joint into component plates	171
C3 Aufteilen der Verbindung in Grund- und Anschlusskörper	171	C3 Dividing the joint into basic and connecting solids	171
C4 Berechnung der Krafteinleitungsfaktoren für die Teilkörper	172	C4 Calculating the load introduction factors for the component solids	172
C5 Berechnen des Krafteinleitungsfaktors für die gesamte Einschraubverbindung aus den Krafteinleitungsfaktoren der zentrisch verspannten Teilplatten	175	C5 Calculating the load introduction factor for the complete single-bolted joint from the load introduction factors of the concentrically clamped component plates . .	175
C6 Ermitteln des Einflusses einer exzentrischen Verspannung auf den Krafteinleitungsfaktor	175	C6 Determining the effect of eccentric clamping on the load introduction factor.	175
Anhang D Näherungsverfahren zur Ermittlung der Schraubenzusatzkraft bei partiell klaffenden Verbindungen	176	Annex D Approximative method for determining the additional bolt force in the case of partially opening joints. .	176
Schrifttum	179	Bibliography	179

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2230.

Einleitung

Diese seit 40 Jahren in der Praxis angewendete Richtlinie ist eine anerkannte und viel beachtete Empfehlung. Sie gilt weltweit als Standardwerk zur Berechnung von Einschraubenverbindungen (EV). Sie stellt dem Konstrukteur und Berechnungsingenieur in Form von Rechenschritten eine systematische Vorgehensweise zur Berechnung von Schraubenverbindungen (SV) zur Seite, die ihm eine funktions- und betriebssichere Auslegung bei weitgehender Ausnutzung der Schraubentragfähigkeit ermöglicht.

Seit dem Erscheinen der Ausgabe 2003-02 wurden bei der Anwendung der Richtlinie sowie in analytischen und numerischen Untersuchungen Erfahrungen gemacht und Erkenntnisse gewonnen, die sich in einer Reihe von Hinweisen, Anfragen und Änderungswünschen der Anwender ausdrückten. Diese Hinweise sowie Änderungen im internationalen Normenwerk und vor allem einige neue Forschungsergebnisse und eigene Untersuchungen und Erkenntnisse waren dem VDI-Ausschuss Anlass, die Richtlinie nochmals zu überarbeiten und zu aktualisieren. Dabei wurde sie formal der inzwischen veröffentlichten Richtlinie VDI 2230 Blatt 2 (Mehrschraubenverbindungen) angepasst.

Wesentliche Inhalte der Aktualisierung (Ausgabe 2014-12) betreffen:

- Änderung der Berechnung des Kraftverhältnisses bei Einschraubverbindungen (ESV)
- Aufnahme der Nachweise zur Betriebsbeanspruchung, wenn diese zur Überschreitung der Streckgrenze führt bzw. bei überelastischem Anziehen, inklusive der Nachweise zur Einhaltung der Mindestvorspannkraft und Mindestklemmkraft
- Belastung der Schraube durch Biegung als Sonderfall

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at www.vdi.de/2230.

Introduction

This standard, which has enjoyed practical application for over 40 years now, is a recognized and highly regarded recommendation. Throughout the world it is regarded as the standard work for calculating single-bolt joints (SBJs). It provides the designer and structural engineer with a systematic method, organized into calculation steps, for calculating bolted joints (BJs), thereby making possible a functionally and operationally reliable design which makes extensive use of the bolt's load-bearing capacity.

Since publication of the 2003-02 edition, more experience has been gathered and further insights gained in the application of the standard as well as in analytic and numerical investigations and these found voice in a series of notes, inquiries and revision requests on the part of users. Such information and also changes in the international body of standards and above all some results emerging from new research, our own investigations and findings have induced the VDI Committee to revise and update the standard once more. Here it has been formally brought into line with standard VDI 2230 Part 2 (multibolted joints) which has now been published.

Main content of updating (edition 2014-12):

- modifications to calculation of the load factor in the case of tapped-thread joints (TTJs)
- inclusion of working stress analyses when this results in the yield point being exceeded or in the case of tightening beyond the elastic limit, including verifications of compliance with the minimum preload and minimum clamp load
- loading of the bolt by flexure as a special case

- Erweiterung der Angaben zu Reibungszahlen in der Trennfuge (Tabelle A6)
- Aufnahme weiterer Anziehverfahren und Verbesserung der Angaben zum Anziehungsfaktor (Tabelle A8)
- Angaben zu den Werkstoffkennwerten (Tabelle A9) aktualisiert und bei der Grenzflächenpressung weitere Untersuchungsergebnisse beachtet
- Aufnahme der Berechnung der Einschraubtiefe für den Fall, dass das Bolzengewinde bezüglich eines Gewindeabstreifens kritisch ist
- Vergrößerung des Zuschlags zur effektiven Einschraubtiefe und Herausarbeitung des Unterschieds zur Gesamteinschraubtiefe
- Erweiterung der Angaben zu Scherfestigkeitsverhältnissen typischer Bauteilwerkstoffe

Weitere Veränderungen:

- Das Näherungsverfahren zur Ermittlung der Schraubenzusatzkraft bei partiell klaffenden Verbindungen wurde in den Anhang D verschoben.
- Einordnung des pneumatischen Impulsschraubers in Anhang C bei Entwurf des Nenndurchmessers
- Hinweis, dass die Richtwerte für Setzbeträge nicht für Beschichtungen gelten
- erweiterte Aussagen zu Vorspannkraftverlusten durch Relaxation
- Aufnahme der Empfehlung, bei dynamisch quer belasteten Verbindungen in der Trennfuge die Gleitreibungszahl zu verwenden
- Hinweis zur Behandlung von Dehnhülsen bei der Ermittlung des Krafteinleitungsfaktors (KEF)
- Aufnahme einer Definition zu balkenartigen Verbindungen
- Definition plastischer Widerstandsmomente für den Festigkeitsnachweis zur Beachtung der Stützwirkung
- Einschränkung der Verwendung der angenäherten thermischen Zusatzkraft
- Korrektur der Berechnung der Zeitfestigkeit schlussgerollter Schrauben
- Hinweise auf den Nachweis der Betriebsfestigkeit wurden aufgenommen
- eindeutige Unterscheidung zwischen drehenden und ziehenden Anzugsverfahren und Aufnahme des hydraulischen, reibungs- und torsionsfreien Anziehens
- Das Richtwertdiagramm zur Einschraubtiefe (Bild 36 in Abschnitt 5.5.5.1) enthält die erforder-

- expansion of information regarding coefficients of friction in the interface (Table A6)
- inclusion of additional tightening methods and improvement of information regarding the tightening factor (Table A8)
- updating of information about material properties (Table A9) and in the case of boundary surface pressure additional research results taken into account
- inclusion of calculation of the length of thread engagement for the case when the bolt thread is critical with regard to thread stripping
- increase in the supplement for the effective length of thread engagement and working out the difference with regard to the total length of thread engagement
- expansion of information regarding the shear-strength characteristics of typical component materials

Other changes:

- The approximative method for determining the additional bolt force in the case of partially opening joints has been moved to Annex D.
- assignment of the pneumatic controlled-impulse nutrunner to Annex C in the case of drafting the nominal diameter
- addition of note that the guide values for embedment do not apply to coatings
- additional information regarding preload losses due to relaxation
- inclusion of the recommendation to use the coefficient of sliding friction in the case of dynamically transversely loaded joints in the interface
- note on the treatment of extension sleeves when determining the load introduction factor (KBF)
- inclusion of a definition for beam-like joints
- definition of plastic moments of resistance for the strength analysis in order to include the support effect
- restriction on the use of the approximate additional thermal load
- correction of the calculation for the finite life fatigue strength of bolts rolled after heat treatment
- information regarding the verification of engineering strength has been added
- clear distinction made between rotational and tractive tightening methods and inclusion of hydraulic, non-frictional and torsion-free tightening
- The guide values diagram for the length of thread engagement (Figure 36 in Section 5.5.5.1) contains

liche Einschraubtiefe ohne jegliche Zuschläge.

- verbesserter Hinweis zur Berechnung und Behandlung des Anziehdrehmoments
- Angaben zu den Sicherungselementen aktualisiert (Tabelle A14)
- Berechnungsbeispiele sind überarbeitet und an die Veränderungen bei der Berechnung angepasst.

Darüber hinaus wurden diverse Veränderungen zur Verbesserung der Eindeutigkeit, zur Behebung von Druckfehlern und Aktualisierung von Normangaben vorgenommen.

Im Regelfall sind an einer Verbindungsstelle mehrere SV vorhanden (Schraubenfeld). Zur Herausfindung der höchstbelasteten EV wird dazu auf VDI 2230 Blatt 2 verwiesen.

Diese Richtlinie ist das Ergebnis einer Gemeinschaftsarbeit des VDI-Ausschusses „Schraubenverbindungen“. Allen ehrenamtlichen Mitarbeitern dieses Ausschusses sei an dieser Stelle für ihr Engagement und das zur Verfügung gestellte Fachwissen, Tabellen- und Bildmaterial gedankt.

Diese Richtlinie ist die konsolidierte Fassung der Ausgabe 2014-12.

1 Anwendungsbereich

Die Festlegungen dieser Richtlinie gelten für Stahlschrauben (Befestigungsgewinde mit 60° Flankenwinkel) in hochbeanspruchten und hochfesten Schraubenverbindungen, das heißt für Festigkeitsklassen 8.8 bis 12.9 bzw. 70 und 80 und einer kraftschlüssigen Übertragung der Betriebsbelastung, die immer über die verspannten Bauteile eingeleitet wird. Diese besteht in der Regel aus einer statischen oder dynamischen Axialkraft (das heißt 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, oder es stellt sich ein größerer Berechnungsfehler ein.

Die den Tabellen A1 bis A4, A6, A7, A9, A11 und A12 zugrunde liegenden Werkstoffeigenschaften gel-

the length of engagement required without any supplements.

- improved information about calculating and treating the tightening torque
- updating of information about the retaining elements (Table A14)
- Examples of calculation have been revised and brought into line with the changes in calculation.

In addition, various changes have been made to improve clarity, to correct typos and to update references to standards.

A connecting point will generally have several BJs (bolt array). To identify which is the most highly loaded SBS, see VDI 2230 Part 2.

This standard is the result of collaborative work on the part of the VDI Committee “Bolted joints”. At this point we should like to thank all those members of the committee who worked on the present standard in an honorary capacity not only for their commitment but also for the specialist knowledge and the tabular and graphical material they made available.

This standard is the consolidated version of the 2014-12 edition.

1 Scope

The stipulations of this standard apply to steel bolts (fastening threads with a 60° flank angle) in highly stressed and high-strength bolted joints – in other words, for strength grades 8.8 to 12.9 or 70 and 80 – and with a frictional transmission of the working load which in all cases is introduced via the clamped components. This usually consists of a static or dynamic axial force (that is, the direction of action is parallel to the bolt axis). In addition, bending moments and transverse forces may be present.

The tabular values are given for the dimension range M4 to M39. The standard may be applied by analogy to bolts made of other materials, in the case of lower strength or strength differing from the strength grades according to DIN EN ISO 898-1. The same applies to bolts of larger dimensions.

The standard applies to a limited size of the contact areas at the inner interfaces (dimension G , see Section 5.1.2.2). If this limiting value is exceeded, the specified relationships no longer apply, or a larger calculation error occurs.

The material properties based on the Tables A1 to A4, A6, A7, A9, A11 and A12 apply only at room tem-

ten nur bei Raumtemperatur, das heißt, 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-)Untersuchungen zur Verifizierung der Berechnungsergebnisse. Dies ist insbesondere bei kritischen Verbindungen anzuraten. Hierzu finden sich Hinweise in VDI 2230 Blatt 2.

Die Ermittlung der äußeren Belastung ist nicht Inhalt dieser Richtlinie.

perature, i.e. appropriate allowance must be made for their temperature dependence at lower and higher temperatures. Extreme stresses (e.g. corrosion), sudden and stochastic loads are not treated.

This standard does not in principle do away with the need for experimental and/or numerical (FEM) tests for verifying the calculation results. These are particularly advisable in the case of critical joints. For information in this regard, see VDI 2230 Part 2.

This standard does not cover the determination of external loading.