

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
<b>1 Anwendungsbereich . . . . .</b>	<b>5</b>	<b>1 Scope . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>2 Formelzeichen und Abkürzungen . . . . .</b>	<b>6</b>	<b>2 Symbols and abbreviations . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>3 Kraft- und Verformungsverhältnisse . . . . .</b>	<b>19</b>	<b>3 Load and deformation conditions. . . . .</b>	<b>19</b>
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
<b>4 Rechenschritte . . . . .</b>	<b>29</b>	<b>4 Calculation steps. . . . .</b>	<b>29</b>
4.1 Übersicht . . . . .	29	4.1 Overview . . . . .	29
4.2 Erläuterungen . . . . .	29	4.2 Explanations . . . . .	29
<b>5 Berechnungsgrößen . . . . .</b>	<b>39</b>	<b>5 Calculation quantities . . . . .</b>	<b>39</b>
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
<b>6 Gestaltungshinweise zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Schraubverbindungen.</b> . . . . .	<b>106</b>	<b>6 Design information for increasing the service reliability of bolted joints . . . . .</b>	<b>106</b>
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
<b>Anhang A Tabellen zur Berechnung . . . . .</b>	<b>109</b>	<b>Annex A Calculation tables . . . . .</b>	<b>109</b>
<b>Anhang B Berechnungsbeispiele . . . . .</b>	<b>130</b>	<b>Annex B Calculation examples. . . . .</b>	<b>130</b>
<b>Anhang C Berechnung des Krafteinleitungsfaktors . . . . .</b>	<b>171</b>	<b>Annex C Calculating the load introduction factor . . . . .</b>	<b>171</b>
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
<b>Anhang D Näherungsverfahren zur Ermittlung der Schraubenzusatzkraft bei partiell klaffenden Verbindungen . . . . .</b>	<b>176</b>	<b>Annex D Approximative method for determining the additional bolt force in the case of partially opening joints. .</b>	<b>176</b>
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](http://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](http://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](http://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](http://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