

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe September 2016

Berechnung von Druckbehältern	Schrauben	AD 2000-Merkblatt B 7
--	------------------	----------------------------------

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G 1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

Wird von den Forderungen dieses AD 2000-Merkblattes abgewichen, muss nachweisbar sein, dass der sicherheitstechnische Maßstab dieses Regelwerkes auf andere Weise eingehalten ist, z. B. durch Werkstoffprüfungen, Versuche, Spannungsanalyse, Betriebserfahrungen.

FDBR e. V. Fachverband Anlagenbau, Düsseldorf

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e. V., Essen

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

Verband der TÜV e. V., Friedrichstraße 136, 10117 Berlin.

Inhalt

	Seite
0 Präambel	2
1 Geltungsbereich.....	2
2 Allgemeines	2
3 Formelzeichen und Einheiten	2
4 Berechnungstemperatur	3
5 Festigkeitskennwert	3
6 Sicherheitsbeiwert	3
7 Berechnung	3
8 Zuschläge	5
9 Kleinster Schraubendurchmesser	9
10 Schrifttum.....	9

Ersatz für Ausgabe April 2015; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe

Die AD 2000-Merkblätter sind urheberrechtlich geschützt. Die Nutzungsrechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, die Wiedergabe auf fotomechanischem Wege und die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei auszugsweiser Verwertung, dem Urheber vorbehalten.

0 Präambel

Zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B + F“.

Das AD 2000-Regelwerk folgt einem in sich geschlossenen Auslegungskonzept. Die Anwendung anderer technischer Regeln nach dem Stand der Technik zur Lösung von Teilproblemen setzt die Beachtung des Gesamtkonzeptes voraus.

Bei anderen Modulen der Druckgeräterichtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

1 Geltungsbereich

Dieses AD 2000-Merkblatt gilt im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt B 8 für den Festigkeitsnachweis von Schrauben an Druckbehältern, die als kraftschlüssige Verbindungselemente vorwiegend auf Zug und ruhend beansprucht werden. Zusatzbeanspruchungen aus thermischen Einflüssen, z. B. aus örtlichen oder zeitlichen Temperaturgradienten, unterschiedlichen Wärmeausdehnungszahlen sowie äußeren Kräften, z. B. aus angeschlossenen Rohrsystemen, sind in diesem AD 2000-Merkblatt nicht vollständig erfasst und gegebenenfalls gesondert zu berücksichtigen.

2 Allgemeines

2.1 Dieses AD 2000-Merkblatt ist nur im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt B 0 und B 8 anzuwenden. Im Zeitstandbereich und bei relevanten Abdichtproblemen sind, über die Festlegungen aus diesem Merkblatt hinaus, weitere Betrachtungen erforderlich.

2.2 Ausführung

2.2.1 Als Schraubenbolzen mit Dehnschaft werden nur solche Schrauben bewertet, deren Schaftdurchmesser $d_s \leq 0,9 d_k$ ist oder deren Maße DIN 2510 entsprechen. Schrauben mit durchgehendem Gewinde gelten hinsichtlich ihrer Berechnung als Vollschaftschrauben.

2.2.2 Die Auflagefläche von Schrauben und Muttern muss mindestens der Produktklasse B nach DIN EN ISO 4759-1 entsprechen. Die Gewindeausführung muss mindestens die Toleranzklasse „mittel“ nach DIN ISO 965-2 enthalten.

2.2.3 Die Eignung von nicht-metrischen Gewindeformen kann anhand der geometrischen Gegenüberstellung in DIN EN 1759-1, Anhang C, bewertet werden.

2.3 Konstruktionsregeln

2.3.1 Um eine Schraubenverbindung möglichst elastisch zu gestalten, empfiehlt es sich, die Schrauben als Dehnschrauben nach DIN 2510 auszuführen. Schraubenbolzen mit Dehnschaft sollen bei einer Berechnungstemperatur über 300 °C oder/und bei einem zulässigen Betriebsdruck von 40 bar verwendet werden. Dabei ist für eine ausreichende Klemmlänge, beispielsweise durch zusätzliche Dehnhülsen nach DIN 2510, zu sorgen. Die Dehnschaftlänge muss mindestens das Dreifache des Gewindedurchmessers betragen.

Bei relevanten Abdichtproblemen nach VDI 2200 ist Abschnitt 2.4 aus AD 2000-Merkblatt B 8 zusätzlich zu beachten.

2.3.2 Die ausreichende Dimensionierung von Schraubenverbindungen muss insbesondere bei unterschiedlicher Werkstoffpaarung nachgewiesen werden, insbesondere bei Einschraubverbindungen Schraube – Gehäuse. Kombinationen von Werkstoffen für Schrauben und Muttern als drucktragende Verbindungselemente zu den jeweiligen Flanschwerkstoffen können nach DIN EN 1515 Teil 1 bis 4 bewertet werden.

2.3.3 Die Anzahl der Schrauben soll mit Rücksicht auf eine gleichmäßige Belastung der Bauteile möglichst groß gewählt werden, um eine kleine Schraubenteilung zu erhalten (s. AD 2000-Merkblatt B 8, Abschnitt 2.3.1.1).

2.3.4 Bezüglich der Gestaltung der Schraubenverbindungen siehe auch AD 2000-Merkblatt A 5, Abschnitt 3 (Verschlüsse). Einseitig beanspruchte Hakenschrauben dürfen nicht verwendet werden.

2.3.5 Für leicht entzündliche oder giftige Gase sind Flansche mit Nut und Feder oder Vor- und Rücksprung oder glatte Flansche mit besonderen Dichtungen (Metall-Weichstoff-Dichtungen wie bspw. Spiraldichtungen, Wellringdichtungen oder Kammprofilbildungen) zu verwenden.

2.3.6 Hinsichtlich der sinnvoll zu verwendenden Dichtungen und Dichtungskennwerte wird auf die Angaben der Dichtungshersteller verwiesen.

2.3.7 Weichstoffflachdichtungen ohne Innenbördel sind bei Drücken über 25 bar nicht zulässig.

3 Formelzeichen und Einheiten

Über die Festlegungen des AD 2000-Merkblattes B 0 hinaus gilt:

b_D	wirksame Dichtungsbreite	mm
c_5	Konstruktionszuschlag für Vollschaftschrauben	mm

d_K	Kerndurchmesser eines Schraubengewindes	mm
d_S	Schaftdurchmesser einer Schraube	mm
n	Anzahl der Schrauben	–
A_D	druckbelastete Fläche	mm ²
K_{D9}	Formänderungswiderstand des Dichtungswerkstoffes bei Berechnungstemperatur	MPa
U_D	mittlerer Dichtungsumfang	mm
X	Anzahl der Kämme	–
φ	hier: Hilfswert	–

4 Berechnungstemperatur

Die Temperatur, für die die Schrauben zu berechnen sind, hängt von der Art der Schraubenverbindung und dem Wärmeschutz ab. Soweit kein besonderer Temperaturnachweis erfolgt und die Schrauben nicht unmittelbar einem Beschickungsmittel mit einer Temperatur > 50 °C ausgesetzt sind, kann die Berechnungstemperatur bei Schraubenverbindungen

- loser Flansch und loser Flansch um 30 °C
- fester Flansch und loser Flansch um 25 °C
- fester Flansch und fester Flansch um 15 °C

niedriger als die höchste Temperatur des Beschickungsmittels angenommen werden. Diese Abschläge berücksichtigen den Abfall der Temperatur bei isolierten Schraubenverbindungen. Da die nur bei niedrigen Temperaturen üblichen nicht isolierten Verbindungen bei zwar kälteren Schrauben zu entsprechend höheren Temperaturbeanspruchungen der gesamten Verbindung führen, sind hierfür weitere pauschale Abstriche ohne besonderen Nachweis nicht zulässig. Bei zulässigen Betriebstemperaturen < –10 °C wird auf AD 2000-Merkblatt W 10 verwiesen.

5 Festigkeitskennwert

Festigkeitskennwerte sind mit den Festlegungen/Verweisen in den AD 2000-Merkblättern W 2 / W 7 geregelt. Bei Anwendung der Berechnungsverfahren gemäß [4], [5], [7] können die dortigen Grundannahmen, unter Beachtung des jeweiligen Gesamtkonzeptes, herangezogen werden.

6 Sicherheitsbeiwert

Die Sicherheitsbeiwerte sind für Schraubenwerkstoffe mit einem Verhältnis von Streckgrenze/Zugfestigkeit ≤ 0,8 nach Tafel 3.1 zu bestimmen, für ein Verhältnis von Streckgrenze/Zugfestigkeit > 0,8 gilt Tafel 3.2. Hierfür ist bei unbearbeiteten, aber parallelen Auflageflächen der zu verbindenden Teile sowie bei Augen- und Klappschrauben von $\varphi = 0,75$ auszugehen. Bei spanabhebend bearbeiteten oder durch den Herstellungsvorgang als gleichwertig anzusehenden Auflageflächen kann von $\varphi = 1$ ausgegangen werden. Nicht parallele Auflageflächen sind unzulässig.

7 Berechnung

7.1 Berechnung der Schraubenkräfte

7.1.1 Allgemeines

Die Schraubenkräfte sind für den Einbauzustand vor Druckaufgabe (Montage) und für den Betriebszustand zu ermitteln. Streuungen der Anziehungskräfte sowie Reibungsverhältnisse können nach VDI 2230 Blatt 1 berücksichtigt werden. Ist der Prüfdruck $p' > 1,43 p$, so sind die Schraubenkräfte auch für diesen Belastungsfall zu ermitteln; bei Schraubenwerkstoffen mit einem Verhältnis von Streckgrenze/Zugfestigkeit > 0,8 sind die Schraubenkräfte für den Prüfzustand immer zu ermitteln.

7.1.2 Kreisförmige Schraubenverbindungen mit Dichtungen innerhalb des Lochkreises

7.1.2.1 Die Mindestschraubenkraft für den Betriebszustand beträgt

$$F_{SB} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} + F_{RM_B} \quad (1)$$

mit den Einzelkomponenten

$$F_{RB} = \frac{p \cdot \pi \cdot d_i^2}{40} \quad (2)$$

$$F_{FB} = \frac{p \cdot \pi \cdot (d_D^2 - d_i^2)}{40} \quad (3)$$

$$F_{DB} = \frac{p}{10} \cdot \pi \cdot d_D \cdot S_D \cdot k_1 \quad (4)$$

mit $S_D = 1,2$

mit $F_{RM_B} = F_{RZ_B} + \frac{4M_{B_B}}{d_{te}}$ und $d_{te} = d_t \cdot (1 - 2/n^2)$

F_{RZ_B} = Zusatzkraft im Rohr im Betriebszustand

M_{B_B} = Zusatzbiegemoment im Rohr im Betriebszustand

d_{te} = effektiver Teilkreisdurchmesser

d_t = Teilkreisdurchmesser

Wenn F_{RZ_B} und M_{B_B} vorhanden, aber nicht konkret berechenbar sind, kann $F_{RM_B} = F_{RB}$ gesetzt werden (siehe DIN V 2505).

Die Formeln (1) bis (4) können sinngemäß auch für den Prüfzustand angewendet werden.

7.1.2.2 Die Mindestschraubenkraft für den Einbauzustand wird berechnet aus

$$F_{DV} = \pi \cdot d_D \cdot k_0 \cdot K_D + F_{RM_0} \quad (5)$$

Falls die Vorverformungskraft $F_{DV} > F_{SB}$ wird, kann sie bei Weichstoff- und Metallweichstoffdichtungen ersetzt werden durch

$$F_{DV}^* = 0,2 \cdot F_{DV} + 0,8 \sqrt{F_{SB} \cdot F_{DV}} + F_{RM_0} \quad (6)$$

mit $F_{RM_0} = F_{RZ_0} + \frac{4M_{B_0}}{d_t}$

F_{RZ_0} = Zusatzkraft im Rohr im Montagezustand

M_{B_0} = Zusatzbiegemoment im Rohr im Montagezustand

7.1.2.3 Es wird empfohlen, die Flanschdichtung unter Beachtung der zulässigen Flächenpressung (z. B. nach Angaben der Dichtungshersteller) möglichst schmal (z. B. nach DIN 28040) auszuführen, um Dichtungskräfte, Schraubenkräfte und Flanschverdrehungen klein zu halten. Bei Weichstoff- und Metallweichstoffdichtungen kann bei der Montage mit bleibendem Setzen gerechnet werden. Dieses muss durch Nachziehen der Schrauben ausgeglichen werden. Das Nachziehen darf nicht im Betrieb erfolgen.

Bei Metaldichtungen beträgt die zulässige Belastung im Betrieb

$$F_{Dg} = \pi \cdot d_D \cdot k_0 \cdot K_{Dg} \quad (7)$$

mit K_{Dg} nach Tafel 2.

Um die zulässige Belastung der Dichtung nicht zu überschreiten, muss folgende Bedingung eingehalten sein:

$$F_{Dg} \geq F_{SB} \quad (8)$$

Wird die zulässige Belastung der Dichtung überschritten, empfiehlt es sich, einen besser geeigneten Dichtungswerkstoff oder eine andere Dichtungsform zu wählen.

Bei Schweißdichtungen (bspw. Membranschweißdichtungen, Torus-Schweißring-Dichtungen) gilt:

— d_D ist der Durchmesser der Dichtnaht.

7.1.2.4 Die Dichtungskennwerte k_1 , k_0 und K_D bzw. $k_0 \cdot K_D$ sind den Tafeln 1 und 2 zu entnehmen, wobei normalerweise für den Betriebszustand nur die Werte für Gase und Dämpfe infrage kommen. Kennwerte für andere Dichtungsarten und -formen sind durch Versuche festzustellen. Siehe hierzu die zusätzlichen Hinweise/Angaben in Abschnitt 2.3.6. Bei der Verwendung von Dichtungskennwerten, welche nach anderen Normen (DIN 28090-1/DIN EN 13555) ermittelt worden sind, ist die Umrechnung der Dichtungskennwerte nach VDI 2200 Tabelle 9 durchzuführen.

AD 2000	DIN EN 1591-1	DIN 28090-1	DIN EN 13555	Beziehung/Relation
$k_0 K_D$	Q_{\min}	$\sigma_{VU/L}$	Q_{\min}	$\sigma_{VU} \triangleq Q_{\min} \triangleq \frac{k_0 K_D}{b_D}$
k_1	$Q_{s \min}$	$\sigma_{BU/L}$	$Q_{s \min}$	$\sigma_{BU} \triangleq Q_{s \min}$ $m = \frac{k_1}{b_D}$
	Q_{\max}	σ_{VO}	Q_{\max}	$\sigma_{VO} \triangleq Q_{\max} \triangleq V \cdot \frac{k_0 K_D}{b_D}$
$k_0 K_{Dg}$	$Q_{s \max}$	σ_{BO}	$Q_{s \max}$	$\sigma_{BO} \triangleq Q_{s \max} \triangleq \frac{k_0 K_{Dg}}{b_D}$

7.1.3 Kreisförmige Schraubenverbindungen mit durchgehender Dichtung

Die Schraubenkräfte werden nach den Formeln (1) bis (6) berechnet; dabei ist für den Dichtungsdurchmesser d_D der Lochkreisdurchmesser d_t und für b_D nach Tafel 1 die halbe wirksame Dichtungsbreite anzunehmen.

7.1.4 Rechteckige oder andersartige Schraubenverbindungen mit Dichtungen innerhalb des Lochkreises

Die Mindestschraubenkraft für den Betriebszustand beträgt bei Rechteckanordnung

$$F_{SB} = \frac{p}{10} \cdot [e \cdot f + 2 S_D (e + f) \cdot k_1] \quad (9)$$

und bei andersartigen Anordnungen

$$F_{SB} = \frac{p}{10} \cdot (A_D + S_D \cdot U_D \cdot k_1) \quad (10)$$

mit $S_D = 1,2$.

Die Formeln (9) und (10) können sinngemäß auch für den Prü fzustand angewendet werden.

Die Mindestschraubenkraft für den Einba uzustand wird bei Rechteckanordnung berechnet aus

$$F_{DV} = 2 (e + f) \cdot k_0 \cdot K_D \quad (11)$$

und bei andersartigen Anordnungen aus

$$F_{DV} = U_D \cdot k_0 \cdot K_D \quad (12)$$

Die Größen e, f, A_D und U_D werden auf die mittlere Berührungslinie der Dichtung bezogen.

Die Formel (6) kann sinngemäß angewendet werden.

7.1.5 Rechteckige oder andersartige Schraubenverbindungen mit durchgehender Dichtung

Die Schraubenkräfte werden nach den Formeln (9) bis (12) berechnet. Dabei sind die Größen e, f, A_D und U_D auf die Schraubenlochmitten zu beziehen und b_D nach Tafel 1 als die halbe wirksame Dichtungsbreite anzunehmen. Die Formel (6) kann sinngemäß angewendet werden.

7.2 Berechnung des Schraubendurchmessers

Der erforderliche Gewindekerndurchmesser d_K einer Vollschaftschraube bzw. der erforderliche Schaftdurchmesser d_S eines Schraubenbolzens mit Dehnschaft wird errechnet aus dem größten Wert der Formeln einer Flanschverbindung mit n Schrauben für den Betriebszustand

$$d_K \text{ bzw. } d_S = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} + c_5 \quad (13)$$

den Prü fzustand

$$d_K \text{ bzw. } d_S = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SP}}{K_{20} \cdot n}} \quad (14)$$

| F_{SP} = Mindestschraubenkraft für den Prü fzustand

und den Einba uzustand

$$d_K \text{ bzw. } d_S = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} \cdot n}} \quad (15)$$

mit Z nach Tafel 3 bzw.

$$Z = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi \cdot \varphi}} \quad (16)$$

Bei Schraubenbolzen mit Dehnschaft mit Innenbohrung ist anstelle von d_S in die Formeln (13) bis (15) der Ausdruck $\sqrt{d_S^2 - d^2}$ einzusetzen. Dabei ist d der Durchmesser der Innenbohrung.

8 Zuschläge

Bei Vollschaftschrauben ist für den Betriebszustand als Konstruktionszuschlag in Formel (13) einzusetzen

$$c_5 = 3 \text{ mm, wenn } Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} \leq 20 \text{ mm} \quad (17)$$

AD 2000-Merkblatt

Seite 6 AD 2000-Merkblatt B 7, Ausg. 09.2016

bzw.

$$c_5 = 1 \text{ mm, wenn } Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}} \geq 50 \text{ mm} \quad (18)$$

Im Zwischenbereich ist linear zu interpolieren gemäß

$$c_5 = \frac{65 - Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K \cdot n}}}{15}$$

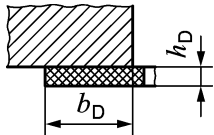


Bei Schraubenbolzen mit Dehnschaft ist $c_5 = 0$ einzusetzen. Abweichend von AD 2000-Merkblatt B 0 können weitere Zuschläge entfallen.

Tafel 2 — Formänderungswiderstand K_D und K_{Dg} von metallischen Dichtungswerkstoffen

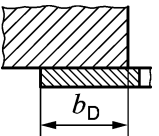
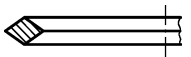
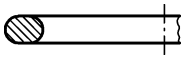
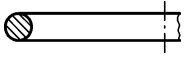
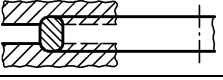
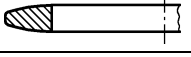

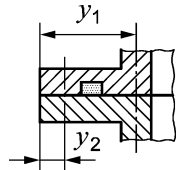
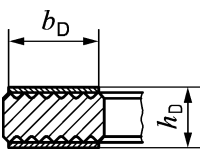
Dichtungswerkstoff	K_D MPa	K_{Dg} in MPa				
		100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
Aluminium, weich	100	40	20	(5)	—	—
Kupfer	200	180	130	100	(40)	—
Weicheisen	350	310	260	210	170	(80)
Stahl St 35	400	380	330	260	190	(120)
Leg. Stahl 13CrMo4-5	450	450	420	390	330	280
austenitischer Stahl	500	480	450	420	390	350

Zwischenwerte sind zu interpolieren.

Tafel 1 — Dichtungskennwerte

Dichtungsart	Dichtungsform	Benennung	Werkstoff	Dichtungskennwerte ^{a g}					
				für Flüssigkeiten			für Gase und Dämpfe		
				Vorverformen ^b		Betriebs- zustand	Vorverformen ^b		Betriebs- zustand
				k_0 mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	k_1 mm	k_0 mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	k_1 mm
Weichstoff- dichtungen		Flachdichtungen nach DIN EN 1514-1	Dichtungspappe getränkt	—	20 b_D	b_D	—	—	—
			Gummi	—	b_D	0,5 b_D	—	2 b_D	0,5 b_D
			PTFE ^c	—	20 b_D	1,1 b_D	—	25 b_D	1,1 b_D
		Expandierter Graphit ohne Metalleinlage	Graphit	—	— ^f	— ^f	—	25 b_D	1,7 b_D
		Expandierter Graphit mit Metalleinlage	Graphit	—	— ^f	— ^f	—	20 b_D	1,3 b_D
		Faserstoff ohne Asbest mit Bindemittel ($h_D < 1 \text{ mm}$)	Faserstoff	—	— ^f	— ^f	—	40 b_D	2 b_D
		Faserstoff ohne Asbest mit Bindemittel ($h_D \geq 1 \text{ mm}$)	Faserstoff	—	— ^f	— ^f	—	35 b_D	2 b_D
Metall- Weichstoff- dichtungen		Wellendichtring	Al	—	8 b_D	0,6 b_D	—	30 b_D	0,6 b_D
			Cu, Ms	—	9 b_D	0,6 b_D	—	35 b_D	0,7 b_D
			weicher Stahl	—	10 b_D	0,6 b_D	—	45 b_D	1 b_D
		Blech- ummantelte Dichtung	Al	—	10 b_D	b_D	—	50 b_D	1,4 b_D
			Cu, Ms	—	20 b_D	b_D	—	60 b_D	1,6 b_D
			weicher Stahl	—	40 b_D	b_D	—	70 b_D	1,8 b_D

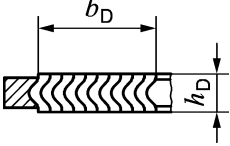
Tafel 1 (fortgesetzt)

Dichtungsart	Dichtungsform	Benennung	Werkstoff	Dichtungskennwerte ^{a g}					
				für Flüssigkeiten			für Gase und Dämpfe		
				Vorverformen ^b		Betriebszustand	Vorverformen ^b		Betriebszustand
				k_0 mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	k_1 mm	k_0 mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	k_1 mm
Metall- dichtungen		Metall- Flachdichtung	–	$0,8 b_D$	–	$b_D + 5$	b_D	–	$b_D + 5$
		Metall-Spießkant- dichtung ^h	–		–			–	
		Metall-Ovalprofil- dichtung ^h	–		–			–	
		Metall- Runddichtung ^h	–		–			–	
		Ring-Joint- Dichtung ^h	–		–			–	
		Linsendichtung nach DIN 2696	–	1,6	–	6	2	–	6
		Membran- schweißdichtung nach DIN 2695	–	0	–	0	0	–	0
O-Ring- Dichtung		Rundschnur-Ring ^e	Gummi und gummiähnliche Kunststoffe	0	–	0	0	–	0
Kamm- profilierte Stahl- dichtungen, beidseitig mit weichen Auflagen		PTFE-Auflagen auf Weichstahl	PTFE	–	$_{-f}$	$_{-f}$	–	$15 b_D$	$1,1 b_D$
		PTFE-Auflagen auf nichtrostendem Stahl	PTFE	–	$_{-f}$	$_{-f}$	–	$15 b_D$	$1,1 b_D$
		Graphit-Auflagen auf Weichstahl	Graphit	–	$_{-f}$	$_{-f}$	–	$20 b_D$	$1,1 b_D$
		Graphit-Auflagen auf niedriglegiertem warmfestem Stahl	Graphit	–	$_{-f}$	$_{-f}$	–	$15 b_D$	$1,1 b_D$
		Graphit-Auflagen auf nichtrostendem Stahl	Graphit	–	$_{-f}$	$_{-f}$	–	$20 b_D$	$1,1 b_D$
		Silber-Auflagen auf warmfestem, nichtrostendem Stahl	Silber	–	$_{-f}$	$_{-f}$	–	$125 b_D$	$1,5 b_D$

AD 2000-Merkblatt

Seite 8 AD 2000-Merkblatt B 7, Ausg. 09.2016

Tafel 1 (fortgesetzt)

Dichtungsart	Dichtungsform	Benennung	Werkstoff	Dichtungskennwerte ^{a g}					
				für Flüssigkeiten			für Gase und Dämpfe		
				Vorverformen ^b		Betriebszustand	Vorverformen ^b		Betriebszustand
				k_0 mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	k_1 mm	k_0 mm	$k_0 \cdot K_D$ N/mm	k_1 mm
Spiral- dichtungen mit weichem Füllstoff		PTFE-Füllstoff, einseitig mit Ring-Verstärkung	PTFE	–	– ^f	– ^f	–	50 b_D	1,4 b_D
		PTFE-Füllstoff, beidseitig mit Ring-Verstärkung	PTFE	–	– ^f	– ^f	–	50 b_D	1,4 b_D
		Graphit-Füllstoff, einseitig mit Ring-Verstärkung	Graphit	–	– ^f	– ^f	–	40 b_D	1,4 b_D
		Graphit-Füllstoff, beidseitig mit Ring-Verstärkung	Graphit	–	– ^f	– ^f	–	40 b_D	1,4 b_D

^a Sie gelten für bearbeitete, ebene und unbeschädigte Dichtflächen. Abweichungen sind bei entsprechendem Nachweis möglich. Die Kennwerte sind als Mindestwerte anzusehen. Höhere Dichtungskennwerte nach Angaben des Dichtungsherstellers sind zu beachten.

^b Sofern k_0 nicht angegeben werden kann, ist hier das Produkt $k_0 \cdot K_D$ aufgeführt.

^c Polytetrafluoräthylen

^d Die Werte gelten nicht für Kammprofil dichtungen mit Auflage.

^e Die Schraubenkräfte sind um das Verhältnis der Hebelarme y_1/y_2 zu erhöhen.

^f Solange keine Dichtungskennwerte für Flüssigkeiten vorliegen, können die Dichtungskennwerte für Gase und Dämpfe verwendet werden.

^g Die Umrechnung von Dichtungskennwerten kann gemäß den Vorgaben in Abschnitt 7.1.2.4 durchgeführt werden.

^h Dichtungskennwerte und Montagehinweise sind vom Dichtungshersteller vorzugeben.

ⁱ d_D ist der Durchmesser der Dichtnaht.

Tafel 3.1 — Sicherheitsbeiwert S , Hilfswerte Z und φ für ein Verhältnis von Streckgrenze/Zugfestigkeit $\leq 0,8$

Zustand und Güte wert	Werkstoffe mit bekannter Streckgrenze und Sicherheit gegen Streckgrenze bzw. $\sigma_{B/100000}$		Werkstoffe ohne bekannte Streckgrenze mit Sicherheit gegen Zugfestigkeit
	Bei Schraubenbolzen mit Dehnschaft z. B. nach DIN 2510	Bei Vollschaftschrauben	
Für den Betriebszustand	$S = 1,5$	$S = 1,8$	$S = 5,0$
Bei $\varphi = 0,75$ $\varphi = 1,00$	$Z = 1,60$ $Z = 1,38$	$Z = 1,75$ $Z = 1,51$	$Z = 2,91$ $Z = 2,52$
Für den Einbau- und Prüfzustand	$S = 1,05$	$S = 1,26$	$S = 3,0$
Bei $\varphi = 0,75$ $\varphi = 1,00$	$Z = 1,34$ $Z = 1,16$	$Z = 1,46$ $Z = 1,27$	$Z = 2,26$ $Z = 1,95$

Tafel 3.2 — Sicherheitsbeiwert S , Hilfswerte Z und ϕ für ein Verhältnis von Streckgrenze/Zugfestigkeit $> 0,8$

Zustand und Gütwert	Werkstoffe mit bekannter Streckgrenze und Sicherheit gegen Streckgrenze bzw. $\sigma_{B/100000}$	
	Bei Schraubenbolzen mit Dehnschaft z. B. nach DIN 2510	Bei Vollschaftschrauben
Für den Betriebszustand	$S = 1,5$	$S = 1,8$
Bei $\phi = 0,75$ $\phi = 1,00$	$Z = 1,60$ $Z = 1,38$	$Z = 1,75$ $Z = 1,51$
Für den Einbau- und Prü fzustand	$S = 1,1$	$S = 1,3$
Bei $\phi = 0,75$ $\phi = 1,00$	$Z = 1,37$ $Z = 1,18$	$Z = 1,49$ $Z = 1,29$

9 Kleinster Schraubendurchmesser

Schrauben unter M 10 oder entsprechendem Gewindekerndurchmesser sind in der Regel nicht zulässig. In Sonderfällen (z. B. bei Schrauben für Armaturen) können auch kleinere Schrauben verwendet werden, jedoch darf M 6 oder ein entsprechender Gewindekerndurchmesser nicht unterschritten werden.

10 Schrifttum

- [1] *Trutnovsky, K.*: Dichtungen; Werkstattbuch Nr. 92. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- [2] *Schwaigerer, S.*: Festigkeitsberechnung im Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau. 4. Auflage (1983). Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- [3] *Schwaigerer, S.*: Die Berechnung der Flanschverbindungen im Behälter- und Rohrleitungsbau. VDI-Z. **96** (1954) Nr. 7
- [4] DIN EN 1591-1
- [5] DIN EN 13445-3
- [6] DIN EN 1591-4
- [7] KTA 3211.2
- [8] *Tückmantel, H. J.*: Haus der Technik Fachbuch: Dichtungstechnik im Anlagenbau, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage
- [9] VDI 2200
- [10] VDI 2440
- [11] VDI 2230 Blatt 1
- [12] PAS 1050-1/-2

Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

E-Mail: berlin@vdtuev.de
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

Beuth

Beuth Verlag GmbH
10772 Berlin
Tel. 030 / 26 01-22 60
Fax 030 / 26 01-12 60
kundenservice@beuth.de
www.beuth.de