

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Juni 2017

Berechnung von Druckbehältern	Flansche	AD 2000-Merkblatt B 8
--	-----------------	----------------------------------

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	3
4 Berechnungsdruck.....	3
5 Berechnungstemperatur	3
6 Festigkeitskennwert	3
7 Sicherheitsbeiwert	3
8 Nachweisverfahren	4
9 Zusätze	17
10 Schrifttum.....	18

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 wesentlichen Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B (Baumuster) + 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

Die nachstehenden Berechnungsregeln gelten für den Festigkeitsnachweis kreisförmiger Druckbehälterflansche aus Stahl, Stahlguss, Gusseisen und Nichteisenmetallen bis zu einem Innendurchmesser von 3600 mm.

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 (siehe auch Abschnitt 8.2 und AD 2000-Merkblatt B 7, Abschnitt 7.1.2).

2 Allgemeines

2.1 Dieses AD 2000-Merkblatt ist nur im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt B 0 und B 7 anzuwenden.

Im Zeitstandbereich und bei relevanten Abdichtproblemen sind, über die Festlegungen aus diesem Merkblatt hinaus, weitere Betrachtungen erforderlich.

2.2 Ausführung

2.2.1 Flansche können geschmiedet oder nahtlos gewalzt oder gegossen hergestellt oder aus Profilen bzw. Blechstreifen gebogen und stumpf geschweißt oder aus Blechen ausgeschnitten werden.

2.2.2 Vorschweißflansche und Vorschweißbunde (siehe Bild 1, 2, 5 und 12) dürfen nicht kreisförmig aus Blechen ausgeschnitten werden. Sollen sie aus Blechen hergestellt werden, so sind Streifen in Walzrichtung zu schneiden und so zu biegen, dass eine Blechoberfläche nach innen zur Flanschachse weist. Außerdem müssen die Blechstreifen auf Dopplungsfreiheit mit Ultraschall¹⁾ geprüft sein, wobei die Anforderungen des AD 2000-Merkblattes W 9, Abschnitt 4.3.2.1 zu erfüllen sind.

2.3 Konstruktionsregeln

2.3.1 Bei der Gestaltung der Flanschverbindung sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

2.3.1.1 Die Anzahl der Schrauben soll möglichst groß gewählt werden, sodass eine gleichmäßige und sichere Abdichtung gewährleistet ist. Die Schraubenteilung soll daher nicht größer als $5 d_L$ sein. Die Anzahl der Schrauben soll mindestens 4 betragen.

2.3.1.2 Der Hebelarm a der Schraubenkraft soll möglichst klein sein. Die Dichtung soll möglichst schmal ausgeführt und möglichst weit nach innen gelegt werden.

2.3.1.3 Der Radius r zwischen dem Flanschblatt und dem kegeligen oder zylindrischen Ansatz muss mindestens 6 mm betragen, soweit nicht Normflansche verwendet werden. Bei wenig verformungsfähigen Werkstoffen, deren Bruchdehnung δ_5 unter 10 % liegt, ist der Übergangsradius mindestens gleich der Zargenwanddicke auszuführen; er braucht jedoch 30 mm nicht zu übersteigen.

2.3.1.4 Bei der Wahl der Dichtung sind ihre mechanische und thermische Belastbarkeit sowie gegebenenfalls ihre chemische Beständigkeit zu berücksichtigen. Die Rücksprache mit den Dichtungsherstellern bzw. -lieferanten wird dabei empfohlen.

2.3.1.5 Hilfestellungen bei der Auswahl von Dichtungen und Schrauben bieten die Tafeln 1–3 im Abschnitt 8.

2.3.1.6 Ausführungsbeispiele von Schweißflanschen sowie Richtlinien für die Schweißnahtabmessungen können der Tafel 4 entnommen werden.

2.3.1.7 Aufschweißflansche dürfen nur bei Auslegungstemperaturen von max. 370 °C verwendet werden.

2.3.1.8 Bei relevanten Abdichtproblemen ist Abschnitt 2.4 zusätzlich zu beachten.

2.3.2 Bezüglich der Gestaltung der Flanschverbindungen siehe auch AD 2000-Merkblatt A 5, Abschnitt 3 (Verschlüsse).

1) Nach DIN EN 10160 bzw. DIN EN 10307 (Qualitätsklasse E3 in beiden Normen).

2.4 Relevante Abdichtprobleme

2.4.1 Die Unterscheidung, ob ein relevantes oder nicht relevantes Abdichtproblem nach VDI 2200:2007 vorliegt, ist auf Basis folgender Gesichtspunkte zu treffen:

- Gefahrenanalyse,
- Gesetzliche Anforderungen, z. B. TA-Luft,
- Kundenspezifikationen mit definierten Leckageraten, insbesondere bei Medien der Fluid-Gruppe 1,
- Einsatz im Zeitstandbereich.

2.4.2 Bei relevanten Abdichtproblemen ist für die Flanschverbindung (Flanschpaar/Schrauben/Dichtung) zusätzlich zum Festigkeitsnachweis ein Dichtheitsnachweis (Einhaltung von spezifischen Leckageraten bspw. nach TA-Luft / VDI 2200 / VDI 2440) erforderlich.

Dieser Nachweis kann rechnerisch oder durch Bauteilversuche erfolgen.

Ein rechnerischer Nachweis kann nach DIN EN 1591-1 durchgeführt werden.²⁾

2.4.3 Beim rechnerischen Dichtheitsnachweis sind die tatsächlich verwendeten Dichtungen mit den exakten Kennwerten nach den Angaben des Dichtungsherstellers zu berücksichtigen (ermittelte Kennwerte nach DIN EN 13555).

2.5 Montage

Anforderungen an die Qualifizierung der Befähigung von Montagepersonal werden in DIN EN 1591-4 genannt. Anforderungen an die Montage und Demontage von Flanschverbindungen sind im Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen des VCI genannt.

3 Formelzeichen und Einheiten

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

d_F	Flankendurchmesser	mm
d_L	Schraubenlochdurchmesser	mm
h_A	Gesamthöhe eines Flansches	mm
h_E	Höhe eines Einlegeringes	mm
h_F	Höhe des Flanschblattes	mm
p_F	Flächenpressung	N/mm ²
s_F	Flanschdicke am Übergang	mm
s_1	Zargenwanddicke	mm
W	Flanschwiderstand	mm ³
φ	Gesamtneigungswinkel	°
γ	Flanschblattneigung	°

4 Berechnungsdruck

Siehe hierzu AD 2000-Merkblatt B 0.

5 Berechnungstemperatur

Siehe hierzu AD 2000-Merkblatt B 0.

6 Festigkeitskennwert

Festigkeitskennwerte siehe AD 2000-Merkblatt B 0. Falls der Werkstoff des zylindrischen Anschlusses einen geringeren Festigkeitskennwert als der Flanschwerkstoff hat, ist die im Verhältnis der Festigkeitskennwerte reduzierte Wanddicke s_1 in die Berechnung einzusetzen.

7 Sicherheitsbeiwert

Siehe hierzu AD 2000-Merkblatt B 0, Abschnitt 7. Abweichend von den Abschnitten 1.1 und 1.2 der Tafel 3 des AD 2000-Merkblattes B 0 können für Grauguss bei der Flanschberechnung sowohl für den ungeglühten als auch für den geglühten bzw. emaillierten Zustand angewendet werden:

- 1) Sicherheitsbeiwert $S = 4,0^{3)}$
- 2) Sicherheitsbeiwert beim Prüfdruck $S' = 3,0^{3)}$

2) Alternativ: DIN EN 13445-3, Anhang G/GA und KTA 3211.2, A2.9/A2.10.

3) Diesen Werten liegt eine Untersuchung an genormten Festflanschen aus Gusseisen mit Lamellengraphit nach dem Bericht der MPA Stuttgart vom 21.11.1957 zugrunde. Bei abweichenden Flanschformen sind die Sicherheitsbeiwerte auf $S = 5,0$ bzw. $S' = 4,0$ zu erhöhen.

8 Nachweisverfahren

8.1 Bei der Festigkeitsberechnung müssen die Teile einer Flanschverbindung (Flansche, Schrauben und Dichtung) stets in Abhängigkeit voneinander betrachtet werden. Die Flanschverbindung muss so bemessen sein, dass sie die Kräfte beim Zusammenbau unter Berücksichtigung der sich ergebenden Vorspannkräfte aufgrund des gewählten Anziehverfahrens und der Reibungsverhältnisse (Vorverformen der Dichtung) im Betrieb und im Prüfzustand aufnehmen kann. Ist der Prüfdruck $PT > 1,43 \text{ PS}$, so ist die Berechnung auch für diesen Belastungsfall durchzuführen.

8.2 Standardflansche

Standardflansche nach DIN EN 1092-1 können ohne weitere Berechnung für Druckbehälter und Rohrleitungen verwendet werden, wenn sie sämtliche nachstehenden Bedingungen nach DIN EN 13445-3, Abschnitt 11.4.2 erfüllen.

- Unter normalen Betriebsbedingungen liegt der Berechnungsdruck unter dem in den Tabellen der DIN EN 1092-1 angegebenen Nenndruck für Flansch und Werkstoff bei Berechnungstemperatur.
- Unter Prüfbedingungen oder außergewöhnlichen Bedingungen überschreitet der Berechnungsdruck nicht das 1,5-Fache des in den genannten Tabellen angegebenen Nenndrucks bei der entsprechenden Temperatur.
- Die Dichtung ist nach Tafel 1 für den Flansch der betreffenden PN-Reihe oder Class zugelassen.
- Die Schrauben gehören mindestens zu der Festigkeitskategorie (siehe Tafel 2), die als Mindestanforderung nach Tafel 1 für den in der Flanschverbindung verwendeten Dichtungstyp festgelegt ist.
- Der Behälter ist überwiegend nichtzyklischen Belastungen ausgesetzt.
- Die Differenz zwischen mittlerer Temperatur von Schrauben und Flansch überschreitet unter keinen Bedingungen 50 °C.
- Bei unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Schrauben- und Flanschenwerkstoff (z. B. Flansche aus austenitischem und Schrauben aus ferritischem Stahl) beträgt die maximale Betriebstemperatur 120 °C. Bei Betriebstemperaturen $> 120 \text{ °C}$ darf die Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten von Schrauben- und Flanschwerkstoff 10 % nicht überschreiten.

Bei der Schrauben-/Mutterauswahl sind die Einschränkungen nach DIN EN 1515-4 in Verbindung mit AD 2000-Merkblatt HP 100 R / W 2 / W 7 zu berücksichtigen.

Tafel 3 bietet eine Hilfestellung bei der Auswahl der nach AD-2000 Merkblatt W 2 und W 7 geeigneten Schrauben.

Tafel 1 — Dichtungen für Standardflansche

PN-Reihen ¹⁾	Class ¹⁾	Dichtungstyp	Erforderliche Schraubenfestigkeitskategorie (siehe Tafel 2)
2,5 bis 16	–	— Weichstoff-Flachdichtung mit oder ohne Ummantelung	Geringe Festigkeit
25	150	— Weichstoff-Flachdichtung mit oder ohne Ummantelung	Geringe Festigkeit
		— Spiral-Metalldichtung mit Füllstoff	Mittlere Festigkeit
		— Ummantelte Wellmetalldichtung mit Füllstoff	
		— Wellmetalldichtung mit oder ohne Füllstoff	
40	–	— Weichstoff-Flachdichtung mit Ummantelung	Geringe Festigkeit
		— Spiral-Metalldichtung mit Füllstoff	Mittlere Festigkeit
		— Ummantelte Wellmetalldichtung mit Füllstoff	
		— Wellmetalldichtung mit oder ohne Füllstoff	
63	300	— Ummantelte Metall-Flachdichtung mit Füllstoff	Hohe Festigkeit
		— Metall-Kammprofil- oder -Flachdichtung	
		— Weichstoff-Flachdichtung mit Ummantelung	Geringe Festigkeit
		— Spiral-Metalldichtung mit Füllstoff	Mittlere Festigkeit
		— Ummantelte Wellmetalldichtung mit Füllstoff	
		— Wellmetalldichtung mit oder ohne Füllstoff	
		— Ummantelte Metall-Flachdichtung mit Füllstoff	Hohe Festigkeit
		— Metall-Kammprofil- oder -Flachdichtung	
		— Metall-Runddichtung	

Tafel 1 (fortgesetzt)

PN-Reihen ¹⁾	Class ¹⁾	Dichtungstyp	Erforderliche Schraubenfestigkeitskategorie (siehe Tafel 2)
100	600	<div>— Weichstoff-Flachdichtung mit Ummantelung</div> <div>— Spiral-Metalldichtung mit Füllstoff</div> <div>— Ummantelte Wellmetalldichtung mit Füllstoff</div> <div>— Wellmetalldichtung mit oder ohne Füllstoff</div>	Mittlere Festigkeit
		<div>— Ummantelte Metallflachdichtung mit Füllstoff</div> <div>— Metall-Kammprofil- oder -Flachdichtung</div> <div>— Metall-Runddichtung</div>	Hohe Festigkeit
¹⁾ Die PN- bzw. Class-Angaben in dieser Tabelle beschränken sich auf die in den EN-Normen für Stahlflansche aufgeführten Flansche bis PN 100 bzw. Class 600.			

Tafel 2 — Schraubenfestigkeitskategorien

	Geringe Festigkeit	Mittlere Festigkeit	Hohe Festigkeit
$R_{p,Schraube} / R_{p,Flansch}$	≥ 1	$\geq 1,4$	$\geq 2,5$

Tafel 3 — Auswahl der Werkstoffkombinationen von Schrauben und Muttern mit geeigneten Temperaturbereichen^a

Zeilen-Nr.	PN ^g /Class ^h bis	Geeigneter Temperaturbereich °C	Werkstoffbezeichnung Kurzname/Festigkeitsklasse — Kurzzeichen	
			Schrauben	Muttern
1	PN 40 / Cl. 300	–10 bis 300	5.6 ^e	5-2 ^d
2	PN 40 / Cl. 300	–10 bis 300 ⁱ	8.8 ^e	8
3	alle	–60 bis 400 ^b	25CrMo4 – KG	25CrMo4 – KG
4	alle	–40 bis 500 ^b	42CrMo4 – GC	42CrMo4 – GC
5	alle	–10 bis 400	C35E+QT – YK	C35E+QT – YK C35E+N – Y
6	alle	–10 bis 400	35B2 – YB	C35E+QT – YK C35E+N – Y
7	alle ^c	–10 bis 500 ^b	21CrMoV5-7 – GA	25CrMo4 – KG
8	alle ^c	–10 bis 500 ^b	21CrMoV5-7 – GA	21CrMoV5-7 – GA
9	alle	–120 bis RT ^c	X12Ni5 – KB	X12Ni5 – KB
10	alle ^c	–10 bis 500 ^b	X22CrMoV12-1 – V ^j	X22CrMoV12-1 – V ^j
11	alle ^c	–196 bis 650 ^b	X6NiCrTiMoVB25-15-2 ⁿ – SD	X6NiCrTiMoVB25-15-2 ⁿ – SD
12	PN 40 / Cl. 300	–196 bis 400	A2-50 ^{ek}	A2-50 ^{ek}
13	PN 100 / Cl. 600	–196 bis 400	A2-70 ^{ekm}	A2-70 ^{ekm}
14	PN 40 ^d / Cl. 300	–60 ^f bis 400	A4-50 ^{el}	A4-50 ^{el}
15	PN 100 / Cl. 600	–60 ^f bis 400	A4-70 ^{elm}	A4-70 ^{elm}

^a Für geeignete Werkstoff-Kombination Schraubenwerkstoffverbindung zu Flanschwerkstoff siehe Abschnitt 8.2.

^b Bei Anwendung im Zeitstandbereich sind gesonderte Betrachtungen erforderlich und mit der zuständigen Stelle abzustimmen.

^c Für den kurzzeitigen Betrieb bei höheren Temperaturen gilt AD 2000-Merkblatt W 10, Tafel 3a.

^d Die Verwendung von Automatenstahl ist unzulässig.

^e Ausgangswerkstoff muss DIN EN 10269 entsprechen.

^f –196 °C für Gewindebolzen.

^g PN-Reihen nach DIN EN 1092-1.

^h Class-Reihen nach DIN EN 1759-1.

ⁱ Bei Einsatz über 50 °C ist der Nachweis der Warmstreckgrenze zu erbringen.

^j Kurzzeichen V für Werkstoff X22CrMoV12-1 nach DIN EN 10269 mit $R_{p0,2} \geq 600$ MPa (+QT 1).

^k Titan-stabilisierte Werkstoffe z. B. 1.4541 werden mit „A3“ nach DIN EN ISO 3506-1 bezeichnet.

^l Titan-stabilisierte Werkstoffe z. B. 1.4571 werden mit „A5“ nach DIN EN ISO 3506-1 bezeichnet.

^m Für Schrauben \leq M 39 oder 1 ½".

ⁿ Nur mit Eignungsfeststellung entsprechend AD 2000-Merkblatt W 7 (Abschnitt 2.4).

8.3 Die Berechnung von Flanschverbindungen aus runden Flanschen mit Dichtungen und Schrauben kann nach dem in der DIN EN 1591-1 enthaltenen Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung der dort angegebenen Anwendungsgrenzen erfolgen. Die Anwendung dieser Norm ermöglicht bei der Festigkeitsberechnung der Flanschverbindung neben der Berechnung der Beanspruchungen aus dem Druck die Berücksichtigung der Beanspruchungen aus dem Anziehverfahren, aus äußeren Lasten oder aus unterschiedlichen Temperaturen in den einzelnen Bauteilen und einen rechnerischen Dichtheitsnachweis.

8.4 Berechnung nach Standardverfahren

Die Berechnung von Flanschen entsprechend den Bildern 1, 2, 5, 6, 7, 8 und 10 erfolgt nach der Vornorm DIN 2505 (Januar 1986) unter Beachtung der dort angegebenen Präambel. Die Berechnung kann jedoch auch nach nachstehend aufgeführten Gleichungen erfolgen, die nach h_F aufgelöst und soweit möglich vereinfacht sind und die auch für Anwendungsfälle gelten, welche in den Normen nicht erfasst sind. In der Regel ergeben sich hierbei dickere Flanschblätter. Für die Berechnung der Schrauben gilt AD 2000-Merkblatt B 7. Die errechnete Höhe h_F des Flanschblattes muss am ausgeführten Bauteil vorhanden sein. Eindrehungen für normale Nut/Feder- oder Ring-Joint-Verbindungen brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Maßgebend für die Auslegung des Flansches ist der größte erforderliche Flanschwiderstand W , der sich aus den Gleichungen (1) und (2) ergibt.

Es gelten für den Betriebszustand

$$W = \frac{F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a \quad (1)$$

und für den Einbauzustand

$$W = \frac{F_{DV} \cdot S'}{K_{20}} \cdot a_D \quad (2)$$

Die Gleichung (1) kann sinngemäß auch für den Prüfzustand angewendet werden.

8.4.1 Vorschweißflansche mit konischem Ansatz nach den Bildern 1 und 2

8.4.1.1 Flansche mit konischem Ansatz nach den Bildern 1 und 2 müssen in den Querschnitten A-A und B-B nachgerechnet werden. Die Dicke des Flanschansatzes s_F darf in die Gleichungen (4) und (7) mit höchstens $1/3 h_F$ eingesetzt werden. Im Übrigen werden die Berechnungsgrößen nach den Gleichungen (3) bis (5) gebraucht. Die rechnerische doppelte Flanschbreite beträgt

$$b = d_a - d_i - 2d'_L \quad (3)$$

mit d'_L nach Bild 3. Die Hilfsgrößen Z und Z_1 betragen

$$Z = (d_i + s_F) \cdot s_F^2 \quad (4)$$

$$Z_1 = \frac{3}{4} \cdot (d_i + s_1) \cdot s_1^2 \quad (5)$$

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein:

Für Querschnitt A-A (Bild 1)

Die erforderliche Höhe des Flanschblattes beträgt

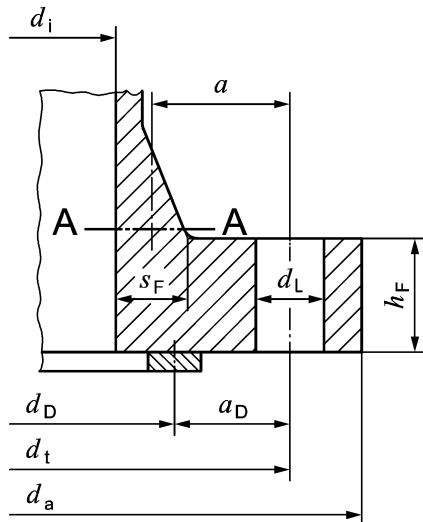
$$h_F = \sqrt{\frac{1,27 W - Z}{b}} \quad (6)$$

Für die Hebelarme der Schraubenkraft gelten für den Prüfdruck und den Betriebszustand

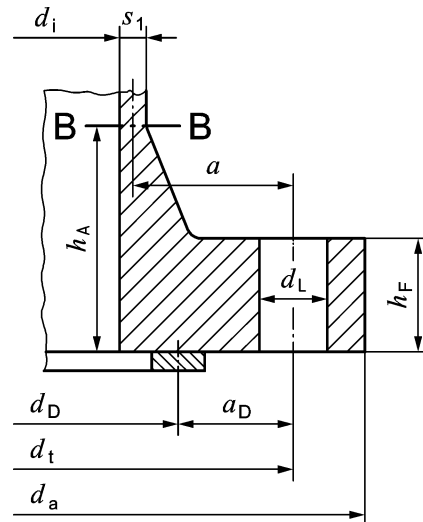
$$a = \frac{d_t - d_i - s_F}{2} \quad (7)$$

und für den Einbauzustand

$$a_D = \frac{d_t - d_D}{2} \quad (8)$$



**Bild 1 — Vorschweißflansch mit konischem Ansatz
(Querschnitt A-A)**



**Bild 2 — Vorschweißflansch mit konischem Ansatz
(Querschnitt B-B)**

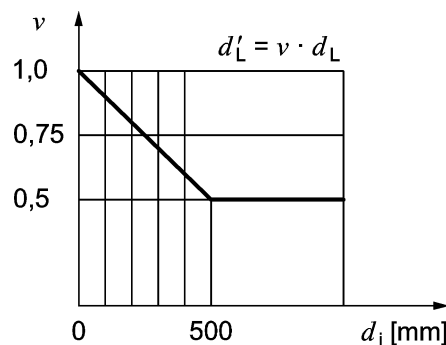


Bild 3 — Reduzierter Schraubenlochdurchmesser d'_L

Für den Querschnitt B-B (Bild 2)

Die Lösungen für den Querschnitt B-B gelten in folgenden Grenzen

$$0,5 \leq \frac{h_A - h_F}{h_F} \leq 1,0$$

$$0,1 \leq \frac{s_1 + s_F}{b} \leq 0,3$$

In allen anderen Fällen muss nach der Vornorm DIN 2505:1964-10 Gleichung (14 b) und (14 d), gerechnet werden. Die erforderliche Höhe des Flanschblattes beträgt

$$h_F = B \cdot \sqrt{\frac{1,27 W - Z_1}{b}} \quad (9)$$

wobei der Hilfswert B nach folgender Formel

$$B = \frac{1 + \frac{2s_m}{b} \cdot B_1}{1 + \frac{2s_m}{b} (B_1^2 + 2B_1)} \quad (10)$$

oder aus dem Bild 4 unter Zuhilfenahme folgender Bestimmungsgrößen ermittelt werden kann

$$s_m = \frac{s_F + s_1}{2} \quad (11)$$

$$B_1 = \frac{h_A - h_F}{h_F} \quad (12)$$

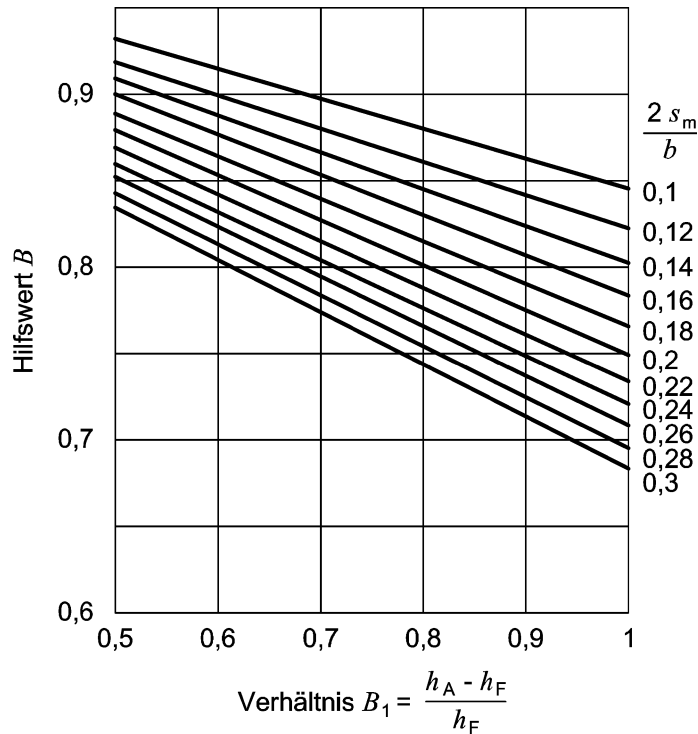


Bild 4 — Hilfswerte B nach Gleichung (10)

Für die Hebelarme der Schraubenkraft gelten für den Prüfdruck- und Betriebszustand

$$a = \frac{d_t - d_i - s_1}{2} \quad (13)$$

und für den Einbauszustand

a_D nach Gleichung (8).

8.4.1.2 Bei Flanschen mit größeren Nennweiten als 1000, deren Halshöhe $h_A - h_F$ mindestens $0,6 h_F$ und deren Ansatzdicke $s_F - s_1$ mindestens $0,25 h_F$ betragen, können statt der Gleichungen (6) und (9) für die Querschnitte A-A und B-B die Gleichungen (14) und (15) angewendet werden, die zu kleineren Abmessungen führen:

Für Querschnitt A-A

$$h_F = \sqrt{\frac{1,06 W - 0,8 Z}{b} + \left(\frac{0,05 Z}{b \cdot s_F} \right)^2} - \frac{0,05 Z}{b \cdot s_F} \quad (14)$$

und für Querschnitt B-B

$$h_F = B \cdot \sqrt{\frac{1,06 W - 2 Z_1}{b}} \quad (15)$$

Für die Hebelarme der Schraubenkraft gelten die Gleichungen (8) und (13).

8.4.2 Vorschweißbunde mit konischem Ansatz nach Bild 5

Die Berechnung erfolgt nach den Gleichungen (3) bis (15), wobei statt d_t der Wert für d_a und $d'_L = 0$ einzusetzen ist.

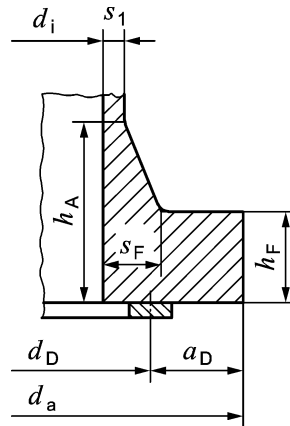


Bild 5 — Vorschweißbund mit konischem Ansatz

8.4.3 Aufschweißflansche nach den Bildern 6 und 7

Für die Berechnung der Aufschweißflansche nach den Bildern 6 und 7 werden Berechnungsgrößen nach den Gleichungen (16) bis (19) benötigt. Die Dicke s_1 darf nur mit höchstens $1/2 h_F$ in die folgenden Gleichungen eingesetzt werden. Die wirksame doppelte Flanschbreite beträgt

$$b = d_a - d_2 - 2d'_L \quad (16)$$

mit d'_L nach Bild 3. An Stelle von d_2 kann auch d_i gesetzt werden, wenn die Schweißnähte den Ausführungen 4 oder 5 der Tafel 1 entsprechen. Der Hilfswert Z beträgt

$$Z = (d_i + s_1) \cdot s_1^2 \quad (17)$$

Für die Hebelarme der Schraubenkraft gelten für den Prüfdruck und Betriebszustand

$$a = \frac{d_t - d_i - s_1}{2} \quad (18)$$

und für den Einbauszustand

$$a_D = \frac{d_t - d_D}{2} \quad (19)$$

Die erforderliche Höhe des Flanschblattes beträgt

$$h_F = \sqrt{\frac{1,42 W - Z}{b}} \quad (20)$$

Die Abmessungen des verstärkten zylindrischen Ansatzes sollen etwa mit denen der DIN 28038 übereinstimmen.

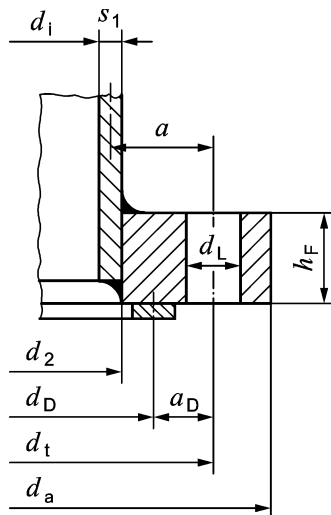


Bild 6 — Aufschweißflansch

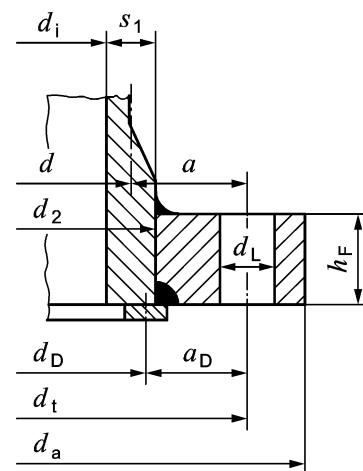


Bild 7 — Aufschweißflansch

8.4.4 Aufschweißbunde nach Bild 8

Die Berechnung erfolgt nach Abschnitt 8.4.3, wobei statt d_t der Wert für d_a und $d'_L = 0$ einzusetzen ist.

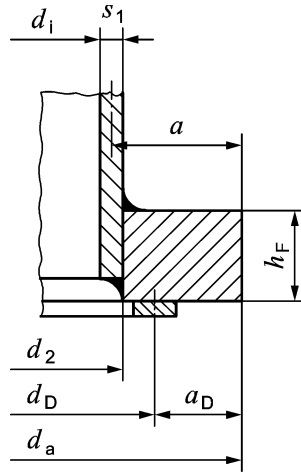


Bild 8 — Aufschweißbund

8.4.5 Nach innen liegende Aufschweißflansche nach Bild 9

Für die Berechnung nach innen liegender Aufschweißflansche nach Bild 9 werden die Berechnungsgrößen nach den Gleichungen (21) bis (26) benötigt. Die wirksame doppelte Flanschbreite beträgt

$$b = d - d_i - 2d'_L \quad (21)$$

mit d'_L nach Bild 3. Der Hilfswert Z beträgt

$$Z = (d + s_1) \cdot s_1^2 \quad (22)$$

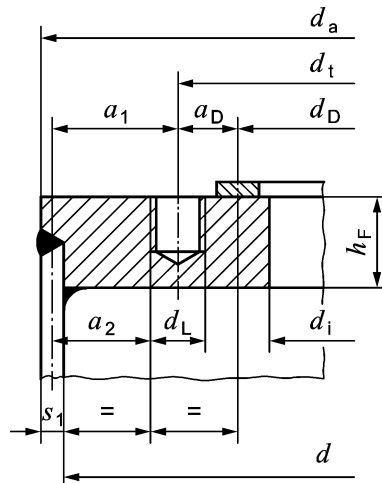
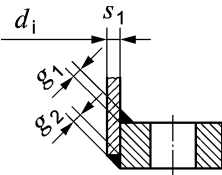
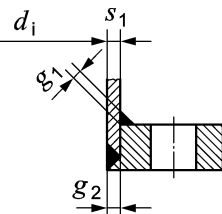
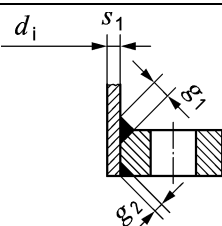
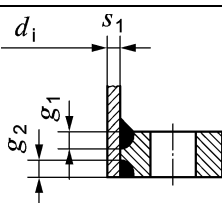
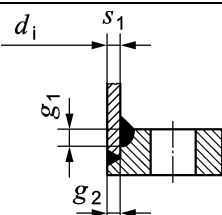


Bild 9 — Nach innen liegender Aufschweißflansch

Tafel 4 — Anwendungsbereich verschiedener Aufschweißflansche

Nahtausführung	Schweißnahtdicke	Begrenzung $d_i \cdot p$ mm bar
1. 	$g_1 + g_2 \geq 1,4 s_1$	10000
2. 	$g_1 + g_2 \geq 1,4 s_1$	10000
3. 	$g_1 + g_2 \geq 2 s_1$	20000
4. 	$g_1 + g_2 \geq 2 s_1$	—
5. 	$g_1 + g_2 \geq 2 s_1$	—
Der Unterschied zwischen g_1 und g_2 darf nicht mehr als 25 % betragen.		

Für die Hebelarme der Schraubenkraft gilt für den Prüfdruck und Betriebszustand

$$a = a_1 + a_2 \left(\frac{d^2}{d_D^2} - 1 \right) \quad (23)$$

mit

$$a_1 = \frac{d - d_t + s_1}{2} \quad (24)$$

$$a_2 = \frac{d - d_D + 2 s_1}{4} \quad (25)$$

und für den Einbauzustand

$$a_D = \frac{d_t - d_D}{2} \quad (26)$$

Die erforderliche Höhe des Flanschblattes beträgt

$$h_F = \sqrt{\frac{1,42 W - Z}{b}} \quad (27)$$

8.4.6 Losflansche nach Bild 10

Für die Berechnung der Losflansche nach Bild 10 betragen die wirksame doppelte Flanschbreite

$$b = d_a - d_i - 2d'_L \quad (28)$$

mit d'_L nach Bild 3

und die Hebelarme für den Betriebs- bzw. Einbauzustand

$$a = a_D = \frac{d_t - d_4}{2} \quad (29)$$

Die erforderliche Höhe des Flanschblattes beträgt

$$h_F = \sqrt{1,27 \cdot \frac{W}{b}} \quad (30)$$

Die Flächenpressung zwischen Bund und Losflansch ist mit Hilfe der Gleichung (31) zu überprüfen:

$$p_F = 1,27 \frac{F_{SB}}{d_4^2 - d_i^2} \quad (31)$$

p_F darf den kleineren Festigkeitskennwert K nicht überschreiten.

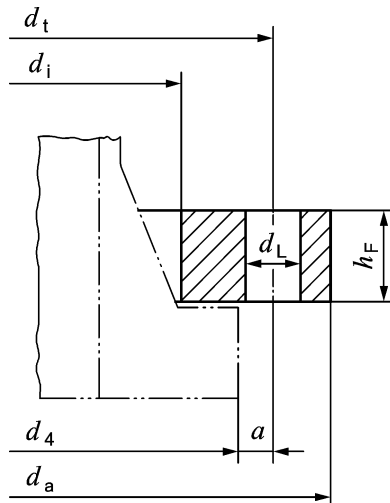


Bild 10 — Losflansch

8.4.7 Flansche für Klappschrauben nach Bild 11

Die Berechnung kann nach der Vornorm DIN 2505:1964-10 mit $d'_L = 0$ erfolgen.

Als Außendurchmesser ist d_a^* einzusetzen.

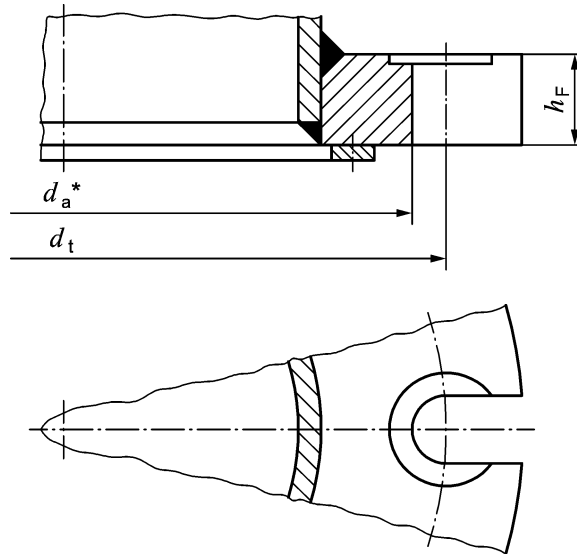


Bild 11 — Flansch für Klappschrauben

8.4.8 Flansche mit durchgehender Dichtung nach Bild 12

Flansche mit durchgehender Dichtung sind ohne Nachweis ausreichender Dichtigkeit (Verfahren nach Abschnitt 2.4) nur zulässig, wenn gleichzeitig

- der maximal zulässige Betriebsdruck ≤ 10 bar beträgt;
- die minimal bzw. maximal zulässige Betriebstemperatur zwischen -10 °C und $+120$ °C liegt;
- Fluide der Gruppe 2 (ausgenommen ätzende) beinhaltet werden;
- die Nennweite DN 1000 nicht übersteigt;
- eine Weichstoff-Flachdichtung mit oder ohne Ummantelung zum Einsatz kommt.

Der Hebelarm der Schraubenkraft beträgt für den Betriebszustand

$$a = \frac{d_t - d_i - s_1}{2} \quad (32)$$

und für den Einbauzustand

$$a_D = 0$$

Die erforderliche Höhe des Flanschblattes beträgt

$$h_F = C \cdot \sqrt{\frac{2W}{d_t \cdot \pi - d_L \cdot n}} \quad (33)$$

| wobei der Beiwert C der Tafel 5 zu entnehmen ist.

Tafel 5 — Berechnungsbeiwert C für Flansche mit durchgehender Dichtung

Flanschform	Beiwert C
Vorschweißflansch	0,9
alle übrigen Flansche	1,1

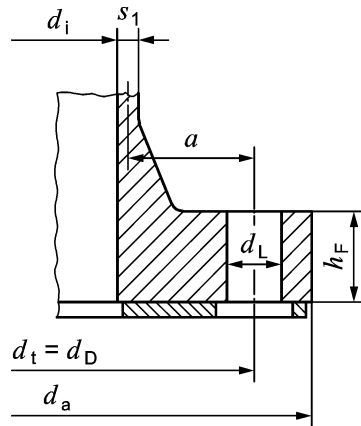


Bild 12 — Flansch mit durchgehender Dichtung

8.4.9 Losflansch mit geteiltem Einlegering nach Bild 13

8.4.9.1 Der Flansch (Losflansch) ist nach Abschnitt 8.4.6, 8.4.10 oder 8.4.11 zu berechnen.

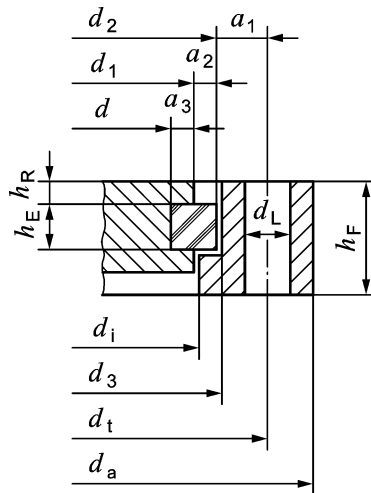


Bild 13 — Flansch mit geteiltem Einlegering

8.4.9.2 Der Einlegering ist auf Abscherung nach Gleichung (34), auf Biegung nach Gleichung (35) und auf Flächenpressung nach Gleichung (37) zu berechnen. Die Höhe des Einlegeringes h_E ist nach dem größten der sich aus den Gleichungen (34) und (35) ergebenden Werte zu bestimmen:

$$h_E = 0,4 \frac{F_{SB} \cdot S}{d_1 \cdot K} \quad (34)$$

$$h_E = \sqrt{1,91 \cdot \frac{W}{d_1}} \quad (35)$$

Anstelle der Hebelarme a bzw. a_D ist in die Gleichungen (1) und (2) für den Flanschwiderstand W der Hebelarm

$$a_2 = \frac{d_2 - d_1}{2} \text{ einzusetzen.} \quad (36)$$

Die Flächenpressung beträgt

$$p_F = 1,27 \cdot \frac{F_{SB}}{d_1^2 - d^2} \quad (37)$$

Sie darf den kleineren Festigkeitskennwert nicht überschreiten.

8.4.9.3 Der durch h_R gekennzeichnete Querschnitt der Rohrplatte ist auf Biegung zu berechnen. Die Höhe des durch die Nut gebildeten Bundes am Rohrboden muss mindestens betragen

$$h_R = \sqrt{1,91 \cdot \frac{W}{d}} \quad (38)$$

Als Hebelarm a bzw. a_D ist in die Gleichungen (1) und (2) für den Flanschwiderstand W

$$a_3 = \frac{d_1 - d}{2} \text{ einzusetzen.} \quad (39)$$

Für die Nase am Losflansch gelten die gleichen Festlegungen sinngemäß.

Der durch h_R gekennzeichnete Querschnitt und die Nase am Losflansch sind auf Abscheren und Flächenpressung zu überprüfen.

8.4.10 Geteilte Losflansche nach Bild 14

Die Berechnung geteilter Losflansche nach Bild 14 wird nach Abschnitt 8.4.6 durchgeführt. Wegen des einmal geteilten Ringes müssen die Schraubenkräfte jedoch verdoppelt werden, sodass die erforderliche Höhe des Flanschblattes statt aus Gleichung (30) aus

$$h_F = \sqrt{2,54 \cdot \frac{W}{b}} \quad (40)$$

bestimmt werden muss.

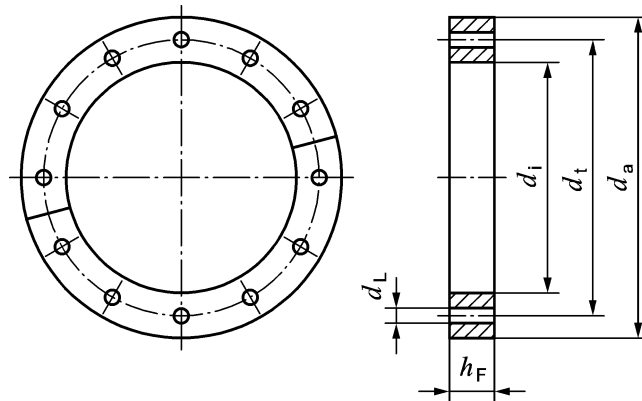


Bild 14 — Geteilter Losflansch (ein Ring)

8.4.11 Geteilte Losflansche nach Bild 15

Die Berechnung geteilter Losflansche nach Bild 15 wird nach Abschnitt 8.4.6 durchgeführt. Wegen des einmal geteilten Doppelringes mit um 90° versetzten Fugen müssen die Schraubenkräfte jedoch um 50 % erhöht werden, sodass die erforderliche Höhe des Flanschblattes statt aus Gleichung (30) aus

$$h_F = \sqrt{1,91 \cdot \frac{W}{b}} \quad (41)$$

bestimmt werden muss, wobei die Höhe jedes Flanschblattes (h_1, h_2) mindestens $\frac{h_F}{2}$ betragen muss.

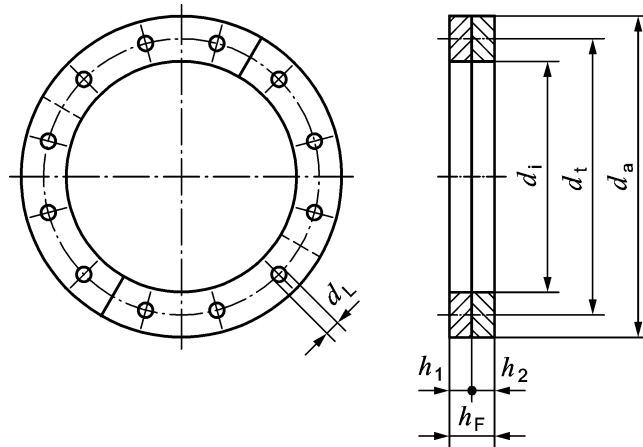


Bild 15 — Geteilter Losflansch (Doppelring mit versetzten Trennfugen)

8.4.12 Aufgeschraubte Flansche nach Bild 16

Für die Berechnung aufgeschraubter Flansche nach Bild 16 gilt

$$b = d_a - d_F - 2d'_L \quad (42)$$

Die Hebelarme für den Betriebs- bzw. Einbauzustand betragen

$$a = a_D = \frac{d_t - d_F}{2} \quad (43)$$

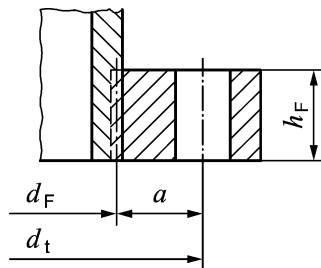


Bild 16 — Aufgeschraubter Flansch

Die erforderliche Dicke h_F des Flanschblattes wird nach Gleichung (30) ermittelt. Das Gewinde ist auf Abscheren wie folgt zu berechnen

$$\frac{K}{S} \geq \frac{2 F_{SB}}{h_F \cdot \pi \cdot d_F} \quad (44)$$

8.5 Flanschblattneigung

Feste Flansche, die entsprechend den vorstehenden Gleichungen ausgelegt sind, genügen den Festigkeitsanforderungen. Es können jedoch z. B. bei Flanschen aus hochfesten Werkstoffen sowie bei Flanschen aus Nichteisenmetallen oder bei Flanschen größeren Durchmessers Dichtheitsschwierigkeiten wegen zu großer Schrägstellung des Flanschtellers auftreten. Es wird deshalb empfohlen, bei Weichstoffdichtungen und Metallweichstoffdichtungen den Gesamtneigungswinkel φ zwischen den Flanschblättern in der Größenordnung von etwa $0,5^\circ$ bis 1° zu begrenzen [4], Bild 17. Der Flansch muss dann unter Umständen dicker ausgeführt sein, als es aufgrund der Festigkeitsanforderungen notwendig wäre.

Die Flanschblattneigung infolge des Stülpmomentes im Einbauzustand M_E berechnet sich zu

$$\gamma = \frac{0,75 \cdot M_E (d_a + d_i)}{E_{20} \cdot (h_F + h_B) \cdot W} \cdot 57,3 \quad (45)$$

$$M_E = F_{DV} \cdot a_D \quad (46)$$

E_{20} = E-Modul des Flanschwerkstoffes bei Raumtemperatur (20°C)

h_B = Rechengröße (Additivglied zur Flanschblattstärke bei der Ermittlung der Flanschblattneigung)

Die Formeln können sinngemäß auch für den Betriebszustand angewendet werden.

8.5.1 Flansche mit kegeligem Ansatz

Bei Flanschen mit kegeligem Ansatz gilt ferner:

$$h_B = 0,58 \cdot \left(\frac{d_i}{s_F} \right)^{0,29} \cdot h_A \quad (47)$$

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot \left[(d_a - d_i - 2 \cdot d'_L) \cdot h_F^2 + (d_i + s_F) \cdot \left(s_F^2 - \frac{s_1^2}{4} \right) \right] \quad (48)$$

8.5.2 Aufschweißflansche

Für Aufschweißflansche, bei denen das Rohr oder der Mantel ohne kegeligen Übergang an das Flanschblatt anschließt, ist

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot \left[(d_a - d_i - 2d'_L) h_F^2 + \frac{3}{4} (d_i + s_1) s_1^2 \right] \quad (49)$$

und es gilt:

$$h_B = 0,9 \cdot \sqrt{(d_i + s_1) s_1} \quad (50)$$

8.5.3 Losflansche

Bei Losflanschen gilt W nach Gleichung (39) aus dem Entwurf DIN 2505-1 (1990) und $h_B = 0$:

$$W = \frac{\pi}{4} (d_a - d_2 - 2d'_L) h_F^2 \quad (51)$$

8.5.4 Gesamtneigungswinkel

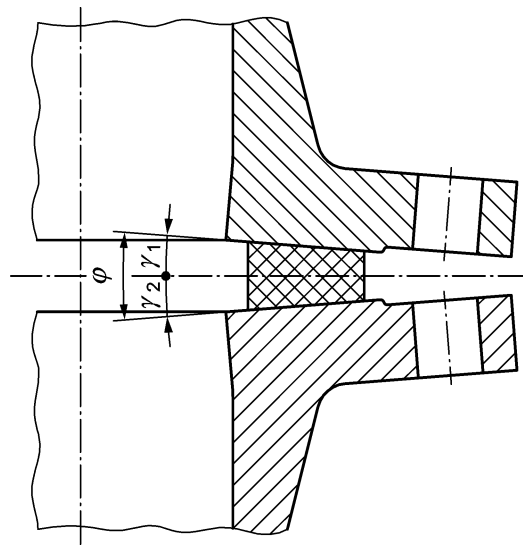


Bild 17 — Neigung der Flanschblätter (übertriebene Darstellung)

Der Gesamtneigungswinkel zwischen den zwei Flanschblättern φ ist die Summe der Neigungswinkel der einzelnen Flanschblätter gegen die Ebene senkrecht zur Flanschachse:

$$\varphi = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (52)$$

9 Zuschläge

Zuschläge siehe AD 2000-Merkblatt B 0.

10 Schrifttum

- [1] *Schwaigerer, S.*: Die Berechnung der Flanschverbindungen im Behälter- und Rohrleitungsbau. VDI-Z. **96** (1954) Nr. 1, S. 7/12
- [2] *Haenle, S.*: Beiträge zum Festigkeitsverhalten von Vorschweißflanschen. Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens **23** (1957) H. 4, S. 113/34
- [3] *Bühner, H., Kopp, L. u. Schwarz, E.*: Das Festigkeitsverhalten von Apparateflanschen. VDI-Z. **107** (1965) Nr. 10, S. 445/55
- [4] *Schwaigerer, S.*: Festigkeitsberechnung im Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau. 4. Auflage (1983), Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York
- [5] VDI-Richtlinie 2230. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [6] DIN EN 1591-4
- [7] VCI-Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen

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