

DIN EN 12516-2

ICS 23.060.01

Einsprüche bis 2011-12-10
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12516-2:2004-10

Entwurf

**Industriearmaturen –
Gehäusefestigkeit –
Teil 2: Berechnungsverfahren für drucktragende Gehäuse von
Armaturen aus Stahl;
Deutsche Fassung prEN 12516-2:2011**

Industrial valves –
Shell design strength –
Part 2: Calculation method for steel valve shells;
German version prEN 12516-2:2011

Robinetterie industrielle –
Résistance mécanique des enveloppes –
Partie 2: Méthode de calcul relative aux enveloppes d'appareils de robinetterie en acier;
Version allemande prEN 12516-2:2011

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2011-10-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an naa@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Armaturen (NAA) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 107 Seiten

Normenausschuss Armaturen (NAA) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12516-2:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 69 „Industriearmaturen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 003-01-01 AA „Grundnormen“ im Normenausschuss Armaturen (NAA) im DIN, Deutsches Institut für Normung e. V.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12516-2:2004-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm vollständig überarbeitet.

Industriearmaturen — Gehäusefestigkeit — Teil 2: Berechnungsverfahren für drucktragende Gehäuse von Armaturen aus Stahl

Robinetterie industrielle — Résistance mécanique des enveloppes — Partie 2: Méthode de calcul relative aux enveloppes d'appareils de robinetterie en acier

Industrial valves — Shell design strength — Part 2: Calculation method for steel valve shells

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Symbole und Einheiten	7
4 Allgemeine Bedingungen für die Festigkeitsberechnung	13
5 Auslegungsdruck.....	14
6 Zulässige Spannungen für drucktragende Teile außer Schrauben.....	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Andere Stähle und Gussstücke als in 6.3, 6.4 oder 6.5 festgelegt	15
6.3 Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung nicht unter 30 %	15
6.4 Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung nicht unter 35 %	16
6.5 Unlegierter und niedriglegierter Stahlguss.....	16
6.6 Kriechbedingungen	16
7 Berechnungsverfahren für die Wanddicke von Gehäusekörpern	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Gehäusekörper.....	17
7.2.1 Allgemeines	17
7.2.2 Wanddicke von Gehäusekörpern und Abzweigen außerhalb des Abzweigbereiches	17
7.2.3 Wanddicke im Abzweigbereich	26
7.2.4 Beispiele für druckbelastete Bereiche, A_p , und Metall-Querschnittsbereiche, A_f	28
8 Berechnungsverfahren für verschraubte Oberteile und Deckel.....	36
8.1 Allgemeines	36
8.2 Oberteile aus ebenen Platten	37
8.2.1 Allgemeines	37
8.2.2 Runde Deckel ohne Öffnung	42
8.2.3 Runde Deckel mit konzentrischer kreisrunder Öffnung.....	43
8.2.4 Unrunde Deckel (elliptisch oder rechteckig)	44
8.2.5 Spezielle Deckel aus ebenen Kreisplatten für spezifische Belastungs- und Einspannbedingungen	44
8.3 Deckel aus einer Kugelschale und einem anschließenden Flanschring	60
8.3.1 Allgemeines	60
8.3.2 Wanddicken- und Festigkeitsberechnung der Kugelschale	61
8.3.3 Berechnung des Flanschringes	62
8.3.4 Ausschnittverstärkung am Stopfbuchsraum.....	64
8.4 Gewölbte Böden.....	65
8.4.1 Allgemeines	65
8.4.2 Gewölbte Vollböden	65
8.4.3 Gewölbte Böden mit Ausschnitten	67
8.4.4 Zuschläge zur Wanddicke.....	69
9 Berechnungsverfahren für druckdichtende Oberteile und Deckel.....	69
10 Berechnungsverfahren für Flansche	72
10.1 Allgemeines	72
10.2 Runde Flansche	73

10.2.1	Allgemeines	73
10.2.2	Flansche mit konischem Ansatz	74
10.2.3	Flansche größer DN 1 000	76
10.2.4	Vorschweißbund mit konischem Ansatz nach Bild 48	76
10.2.5	Aufschweißflansche	77
10.2.6	Innenliegender Flansch (Umkehrflansch)	80
10.2.7	Losflansche	81
10.3	Ovale Flansche	82
10.3.1	Ovale Flansche nach Bild 54	82
10.3.2	Ovale Flansche nach Bild 55	84
10.4	Rechteckige oder quadratische Flansche	86
10.4.1	Rechteckige oder quadratische Flansche nach Bild 57	86
10.4.2	Rechteckiger Überschiebflansch nach Bild 58	86
10.5	Berechnungsverfahren für Schraubendurchmesser	87
10.5.1	Nennspannungsdurchmesser	87
10.5.2	Lastfälle	88
10.6	Auslegungstemperatur	88
11	Berechnungsverfahren für Stopfbuchsen	89
11.1	Belastungen	89
11.2	Stopfbuchsschrauben	89
11.3	Stopfbuchsbrillen	89
11.4	Sonstige Bauteile	89
12	Ermüdung	89
13	Kennzeichnung	89
Anhang A (informativ) Kennwerte für Dichtungen und Verbindungen		90
Anhang B (informativ) Berechnungsverfahren		103
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 97/23/EG (DGRL)		104
Literaturhinweise		105

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12516-2:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 69 „Industriearmaturen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12516-2:2004 ersetzen.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 97/23/EG (DGRL).

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 97/23/EG (DGRL) siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

EN 12516, *Industriearmaturen — Gehäusefestigkeit*, besteht aus vier Teilen:

- *Teil 1: Tabellenverfahren für drucktragende Gehäuse von Armaturen aus Stahl;*
- *Teil 2: Berechnungsverfahren für drucktragende Gehäuse von Armaturen aus Stahl;*
- *Teil 3: Experimentelles Verfahren;*
- *Teil 4: Berechnungsverfahren für drucktragende Gehäuse von Armaturen aus anderen metallischen Werkstoffen als Stahl.*

Einleitung

EN 12516, *Industriearmaturen — Gehäusefestigkeit*, umfasst vier Teile. Die Teile 1 und 2 legen Verfahren zur Bestimmung der Wanddicke der drucktragenden Gehäuse von Armaturen aus Stahl nach dem Tabellen- oder Berechnungsverfahren fest. Teil 3 legt ein experimentelles Verfahren zur Bewertung der Festigkeit von drucktragenden Armaturengehäusen aus Stahl, Gusseisen und Kupferlegierung fest, indem ein erhöhter hydrostatischer Prüfdruck bei Umgebungstemperatur aufgebracht wird. Teil 4 legt Verfahren für die Berechnung der Wanddicke von drucktragenden Gehäusen von Armaturen aus anderen metallischen Werkstoffen als Stahl fest.

Das Berechnungsverfahren nach Teil 2 ist insoweit mit DIN 3840 vergleichbar, dass der Konstrukteur die Wanddicke für jeden Punkt auf der Druck-/Temperatur-Kurve berechnen muss, wobei er die für die Werkstoffe zulässige Spannung bei der von ihm gewählten Temperatur einsetzt (siehe Literaturhinweise, [2]). Die zulässige Spannung wird auf der Grundlage der Werkstoffeigenschaften mit den in Teil 2 festgelegten Sicherheitsfaktoren errechnet. Nach den Gleichungen in Teil 2 gilt die Armatur als Druckbehälter, und es wird sichergestellt, dass keine übermäßige Verformung oder plastische Instabilität auftritt.

Das Tabellenverfahren nach Teil 1 ist insoweit mit ASME B 16.34 vergleichbar, dass der Konstrukteur die geforderte Mindestwanddicke des Armaturengehäuses aus einer Tabelle entnehmen kann. Der Innendurchmesser des geraden Rohres, in das die Armatur eingebaut wird, ist das Bezugsmaß, aus dem die Tabellenwerte der Gehäusewanddicken errechnet werden.

Die Tabellenwerte der Wanddicken nach Teil 1 werden nach der Gleichung für den dünnen Zylinder wie auch in Teil 2 errechnet. Die in der Gleichung eingesetzte zulässige Spannung $120,7 \text{ N/mm}^2$ und der Betriebsdruck, p_c , in N/mm^2 , ändern sich in jeder PN- und Class-Bezeichnung. Teil 1 enthält diese p_c -Werte für alle tabellarischen PN- und Class-Bezeichnungen.

Teil 1 legt Druck-/Temperatur-Zuordnungen für drucktragende Armaturengehäuse als PN-, Standard- und Spezial-Zuordnungen fest, mit den in den Tabellen festgelegten Wanddicken. Diese tabellarisch dargestellten Druck-/Temperatur-Zuordnungen gelten für eine Gruppe von Werkstoffen und werden mit einer gewählten Spannung errechnet, die nach den für diese Gruppe repräsentativen Werkstoffeigenschaften unter Verwendung der in Teil 1 festgelegten Sicherheitsfaktoren bestimmt wird.

Jede tabellarisch dargestellte Druck/Temperatur-Zuordnung erhält als Kennung eine Referenz-Druckbezeichnung.

Das Tabellenverfahren enthält eine Dicke für das Gehäuse für jede PN- (siehe 3.1) oder Class-Bezeichnung, die nur vom Innendurchmesser, D_i , des Gehäuses an dem Punkt abhängt, an dem die Dicke zu bestimmen ist.

Der berechnete Druck wird durch den höchstzulässigen Druckwert begrenzt, der eine Obergrenze für hochfeste Werkstoffe setzt und einen festgelegten Grenzwert für die Durchbiegung beinhaltet.

Ein Vorteil des Tabellenverfahrens, das ungeachtet des Gehäusewerkstoffes eine festgelegte Reihe von Gehäuseabmessungen beinhaltet, ist die Möglichkeit, über gemeinsame Modelle und Schmiedegesenke zu verfügen. Die zulässige Druck-/Temperatur-Zuordnung je Werkstoffgruppe variiert proportional zu den für die Werkstoffgruppe des jeweiligen Gehäusewerkstoffes gewählten Spannungen, bei Anwendung der vorgenannten Regeln.

Ein Vorteil des Berechnungsverfahrens liegt darin, dass es für einen bestimmten Anwendungsfall die effizienteste Auslegung ermöglicht, indem die zulässigen Spannungen für den tatsächlich für diesen Anwendungsfall gewählten Werkstoff eingesetzt werden.

Die beiden Verfahren beruhen auf unterschiedlichen Annahmen und deshalb ist die detaillierte Analyse unterschiedlich (siehe Literaturhinweise, [3]). Beide Verfahren bieten ein sicheres und erprobtes Verfahren, drucktragende Bauteile für Armaturengehäuse zu konstruieren.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von EN 12516 legt das Verfahren zur Berechnung der Festigkeit des drucktragenden Gehäuses gegen den Innendruck der Armatur fest. Wahlweise kann die Festigkeit mithilfe einiger anderer anerkannter Verfahren verifiziert werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 19, *Industriearmaturen — Kennzeichnung von Armaturen aus Metall*

EN 1092-1, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile nach PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche*

EN 1591-1, *Flansche und Flanschverbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnungsmethode*

EN 10269, *Stähle und Nickellegierungen für Befestigungselemente für den Einsatz bei erhöhten und/oder tiefen Temperaturen*

EN 12266-1, *Industriearmaturen — Prüfung von Armaturen — Teil 1: Druckprüfungen, Prüfverfahren und Annahmekriterien — Verbindliche Anforderungen*

EN 12266-2, *Industriearmaturen — Prüfung von Armaturen — Teil 2: Prüfungen, Prüfverfahren und Annahmekriterien — Ergänzende Anforderungen*

EN 13445-3, *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion*

EN ISO 3506-1, *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen — Teil 1: Schrauben (ISO 3506-1:2009)*

3 Symbole und Einheiten

Die folgenden Symbole werden verwendet:

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Benennung
a_H	mm	Hebelarm für die Kraft F_H
a_S	mm	Hebelarm für die Schraubenkraft
a_R	mm	Hebelarm für die Schraubenkraft
a_V	mm	Hebelarm
B	—	Berechnungsbeiwert
B_0	—	Berechnungsbeiwert
B_{0n}	—	Berechnungsbeiwert für ovale Querschnitte
B_1	—	Berechnungsbeiwert
B_2	—	Berechnungsbeiwert
B_3	—	Berechnungsbeiwert
B_5	—	Korrekturfaktor
B_F	—	Berechnungsbeiwert
B_{FI}	—	Berechnungsbeiwert
B_{FII}	—	Berechnungsbeiwert
B_h	—	Berechnungsbeiwert
B_M	—	Berechnungsbeiwert
B_{MI}	—	Berechnungsbeiwert
B_{MII}	—	Berechnungsbeiwert
B_n	—	Berechnungsbeiwert
B_P	—	Berechnungsbeiwert
B_{PI}	—	Berechnungsbeiwert
B_{PII}	—	Berechnungsbeiwert
b	mm	doppelte Flanschbreite
b_1	mm	Breite im Querschnitt
b_1	mm	Breite der Dichtung
b_2	mm	Breite im Querschnitt
b_2	mm	Breite der Dichtung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Benennung
b'_1	mm	Breite im Querschnitt
b_D	mm	Breite der Dichtung
b_s	mm	effektive Breite
C_x	—	Berechnungsbeiwert
C_y	—	Berechnungsbeiwert
C_z	—	Berechnungsbeiwert
C	—	Konstruktionszuschlag
c_1	mm	Toleranzzuschlag des Herstellers
c_2	mm	Abnutzungszuschlag
d_o	mm	Außendurchmesser
D_0	mm	Durchmesser im Grundkörper
d_{01}	mm	Durchmesser im Grundkörper
d_{02}	mm	Durchmesser im Grundkörper
d'_0	mm	Durchmesser im Grundkörper
D_1	mm	Durchmesser im Abzweig
D_2	mm	Durchmesser im weiteren Abzweig
D_4	mm	Außendurchmesser des Bundflanschs
d_A	mm	Außendurchmesser der Platte/Deckel
d_a	mm	Flanschdurchmesser
d_b	mm	mittlerer Durchmesser für die Berechnung der Druckflächen
d_i	mm	Innendurchmesser des Gehäusekörpers
d_f	mm	Durchmesser des größten einbeschriebenen Kreises
d_k	mm	Durchmesser in der Krempe
d_K	mm	Durchmesser in den Eck-Schweißungen
d_L	mm	Lochdurchmesser
d'_L	mm	reduzierte Schraubenlochdurchmesser
d_m	mm	mittlerer Durchmesser der Platte/des Deckels
d_{mA}	mm	mittlerer Flächendurchmesser
d'_m	mm	mittlerer Durchmesser
d_D	mm	mittlerer Dichtungsdurchmesser
d_s	mm	erforderlicher Schraubendurchmesser

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Benennung
d_t	mm	Schraubenkreisdurchmesser/Bezugskreisdurchmesser
d_p	mm	Schwerpunktdurchmesser
d_{ast}	mm	Außendurchmesser der Stopfbuchse
d_{ist}	mm	Innendurchmesser der Stopfbuchse
d_{S0}	mm	berechneter Schraubendurchmesser ohne Konstruktionszuschlag
d_V	mm	Durchmesser der vertikalen Kraft auf dem Kegel
E	MPa oder N/mm ²	Elastizitätsmodul
E_D	MPa oder N/mm ²	Elastizitätsmodul des Dichtungswerkstoffes
e	mm	Wanddicke
e_a	mm	Wanddicke (endgültig/tatsächlich)
e_{ac}	mm	tatsächliche Wanddicke weniger c_1 und c_2
e_{ac0}	mm	endgültige Wanddicke c_1 und c_2 für den Grundkörper
e_{ac1}	mm	endgültige Wanddicke c_1 und c_2 für den Abzweig
e_{ac2}	mm	endgültige Wanddicke c_1 und c_2 für weitere Abzweige
e_{ac3}	mm	endgültige Wanddicke c_1 und c_2 für weitere Abzweige
e_{acF}	mm	Dicke des Flanschansatzes
e_{a0}	mm	endgültige Wanddicke für den Grundkörper
e_{a1}	mm	endgültige Wanddicke für den Abzweig
e_c	mm	berechnete Wanddicke, ohne c_1 und c_2
F_{DV}	N	Mindest-Schraubenkraft für den Einbauzustand
F_F	N	Flanschkraft
F_H	N	horizontale Bauteilkraft
F_S	N	Schraubenkraft für Betriebszustände
F_{SB}	N	Mindest-Schraubenkraft
F_{SO}	N	Schraubenkraft für Einbauzustände
F_T	N	Zugkraft
F_V	N	vertikale Kraft auf dem Kegel
F_Z	N	Zusatzkraft
F	MPa oder N/mm ²	zulässige Spannung (Berechnungsnennspannung)
f_d	MPa oder N/mm ²	Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle
$f_{d/t}$	MPa oder N/mm ²	Zulässige Spannung für Auslegungsbedingungen bei Temperatur t °C

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Benennung
g_1, g_2	mm	Schweißkehlentiefe
H	mm	Plattendicke
h_0	mm	Mindest-Kopfhöhe für die Auflageleiste
h_1	mm	Mindesthöhe des Einlegeringes
h_D	mm	Mindesthöhe der Dichtleiste
h_r	mm	Plattendicke
h_A	mm	Flanschnabenhöhe
h_c	mm	Plattendicke
h_F	mm	Flanschdicke
h_N	mm	reduzierte Plattendicke
k_c	—	Schweißfaktor
l	mm	Länge
l_0	mm	mittragende Länge für zylindrische Gehäusekörper
l_1	mm	mittragende Länge für zylindrische Gehäusekörper
l_2	mm	mittragende Länge für zylindrische Gehäusekörper
l_3	mm	mittragende Länge für zylindrische Gehäusekörper
l'	mm	vom Einlaufstutzen beeinflusste Länge
l'_0	mm	Länge für die Berechnung der Formen von Gehäusekörpern im Querschnitt II
l_3	mm	Länge für die Berechnung der Formen von Gehäusekörpern im Querschnitt II
M	Nm	äußeres Moment
M_i	Nm	Summe der Momente M_P, M_F, M_M
M_a	Nm	äußeres Moment
M_{a0}	Nm	Moment bei Einbaubedingung
M_{aB}	Nm	Moment bei Betriebsbedingung
M_F	Nm	Einzelkraft (Punktkraft)
M_i	Nm	Moment
$M_{\max}$	Nm	maximales Biegedrehmoment
M_M	Nm	Randmoment
M_P	Nm	durch Innendruck ermitteltes Moment
M_r	Nm	Biegemoment in Radialrichtung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Benennung
M_t	Nm	Biegemoment in Tangentialrichtung
m	—	Dichtungskennwert
n	—	Anzahl der Schrauben
n_1	—	Lastfaktor
p	MPa oder N/mm ²	Druck
p_c	MPa oder N/mm ²	Berechnungsdruck
p_d	MPa oder N/mm ²	Auslegungsdruck
p_F	MPa oder N/mm ²	Flächenpressung
P_S		Schwerkraft
PS	MPa oder N/mm ²	maximal zulässiger Druck
R	Mm	Radius für die Berechnung der Lastfälle
R_{eH}	MPa oder N/mm ²	Streckgrenze
$R_{eH/t}$	MPa oder N/mm ²	Obere Streckgrenze bei Temperatur t °C
R_i	mm	innerer Kugelschalenradius
R_m	MPa oder N/mm ²	Zugfestigkeit
$R_{m/t}$	MPa oder N/mm ²	Zugfestigkeit bei Temperatur t °C
$R_{m/T/t}$	MPa oder N/mm ²	Zeitstandfestigkeit über T Stunden bei Temperatur t °C
$R_{p0,2}$	MPa oder N/mm ²	0,2 %-Dehngrenze
$R_{p0,2/t}$	MPa oder N/mm ²	0,2 %-Dehngrenze bei Temperatur t °C
$R_{p0,2/T_{Test}}$	MPa oder N/mm ²	0,2 %-Dehngrenze bei Prüftemperatur t °C
$R_{p1,0/T_{Test}}$	MPa oder N/mm ²	1,0 %-Dehngrenze bei Prüftemperatur t °C
$R_{p1,0}$	MPa oder N/mm ²	1,0 %-Dehngrenze
$R_{p1,0/t}$	MPa oder N/mm ²	1,0 %-Dehngrenze bei Temperatur t °C
$R_{p1,0/t}$	MPa oder N/mm ²	1,0 %-Dehngrenze im Zeitstandversuch (Zeitdehngrenze) über T Stunden bei t °C
r	mm	Radius
r_0	mm	Radius für die Berechnung der Belastungsfälle
r_1	mm	Radius für die Berechnung der Belastungsfälle
r_o	mm	Außenradius
r_i	mm	Innenradius
r_D	mm	Radius der Mitte der Auflageplatte für die Dichtung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Benennung
r_F	mm	Radius von F_1
S_D	—	Sicherheitsfaktor für den Dichtungswert
S_F	—	Sicherheitsfaktor
s	mm	Schwerpunkt Abstand des halben Kreisringes von der Mittellinie
s_N	mm	Schweißnahtdicke
S_S	mm	Schwerpunkt
S_1	—	Schwerpunkt
S_2	—	Schwerpunkt
s_1	mm	Schwerpunkt Abstand oder Abstand
s_2	mm	Schwerpunkt Abstand oder Abstand
s_3	mm	Abstand
T	h	Zeit
t	°C	Temperatur
t_d	°C	Auslegungstemperatur
U_D	mm	mittlere Umfang
V	—	Korrekturfaktor des Schraubenlochdurchmesser
W	mm ³	Flanschwiderstand
W_I	mm ³	Flanschwiderstand
W_{II}	mm ³	Flanschwiderstand
W_{III}	mm ³	Flanschwiderstand
W_{avl}	mm ³	Flanschwiderstand im Querschnitt
W_{avII}	mm ³	Flanschwiderstand im Querschnitt
W_{req1}	mm ³	Flanschwiderstand bei Betriebsbedingung
W_{req2}	mm ³	Flanschwiderstand bei Einbaubedingung
X	mm	Abstandsvariable
Y	mm	Abstandsvariable
Z		Beiwert
Z_I	mm ³	Beiwert
α	K ⁻¹	linearer Wärmeausdehnungsfaktor
α	°	Linsendichtungswinkel
α	—	Formfaktor
β	—	Berechnungsfaktor = α/δ

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Einheit	Benennung
η	—	Bearbeitungsbeiwert
μ	—	Poissonsche Zahl
δ	—	Verhältnis zwischen Schraubenkräften und Druckkräften
δ	—	Dehngrenzenverhältnis
δ_1	—	Berechnungsbeiwert
ϕ	°	Winkel für Eckschweißungen
ϕ_k	°	Winkel im Krempenbereich
ϕ	°	Winkel des Grundkörperabzweiges
ϕ_A	°	Winkel für Gehäusekörper mit schrägem Abzweig
χ	—	vom Dichtungswerkstoff abhängiger Berechnungsfaktor
σ	N/mm ²	Spannung in den Querschnitten oder Abzweigen
σ_{VU}	N/mm ²	Minstdichtungskonstante der Einbaubedingung
σ_{VO}	N/mm ²	maximale Dichtungskonstante der Einbaubedingung
σ_{BO}	N/mm ²	maximale Dichtungskonstante der Betriebsbedingung
σ_I	N/mm ²	Spannung im Querschnitt I
σ_{II}	N/mm ²	Spannung im Querschnitt II
σ_{III}	N/mm ²	Spannung im Querschnitt III

4 Allgemeine Bedingungen für die Festigkeitsberechnung

Die Gleichungen (1) und (2) gelten hauptsächlich für statische Beanspruchungen durch Innendruck. Inwieweit diese Gleichungen auch bei schwellender Innendruckbeanspruchung zu Grunde gelegt werden können, wird in Abschnitt 12 beschrieben.

Die gesamte Wanddicke ergibt sich durch Hinzunahme der folgenden Zuschläge:

$$e_0 = e_{c0} + c_1 + c_2 \quad (1)$$

$$e_1 = e_{c1} + c_1 + c_2 \quad (2)$$

$$e_{a0} \geq e_0 \quad (3)$$

$$e_{a1} \geq e_1 \quad (4)$$

Dabei ist

e_{c0} , e_{c1} nach den Gleichungen dieser Norm berechnete Wanddicken an unterschiedlichen Stellen des drucktragenden Armaturengehäuses (siehe Bilder 1a und 2);

c_1 der Toleranzzuschlag des Herstellers;

c_2 der Abnutzungszuschlag.

Die Werte für Abnutzungszuschlag sind:

$c_2 = 1 \text{ mm}$ für ferritische und ferritisch-martensitische Stähle;

$c_2 = 0 \text{ mm}$ für alle anderen Stähle;

$c_2 = 0 \text{ mm}$, wenn $e_{c0} \geq 30 \text{ mm}$ oder wenn $e_{c1} \geq 30 \text{ mm}$.

Bei der Überprüfung der Wanddicke vorhandener drucktragender Gehäuse müssen diese Zuschläge von der tatsächlichen Wanddicke abgezogen werden.

$$e_{ac0} = e_{a0} - c_1 - c_2 \quad (5)$$

$$e_{ac1} = e_{a1} - c_1 - c_2 \quad (6)$$

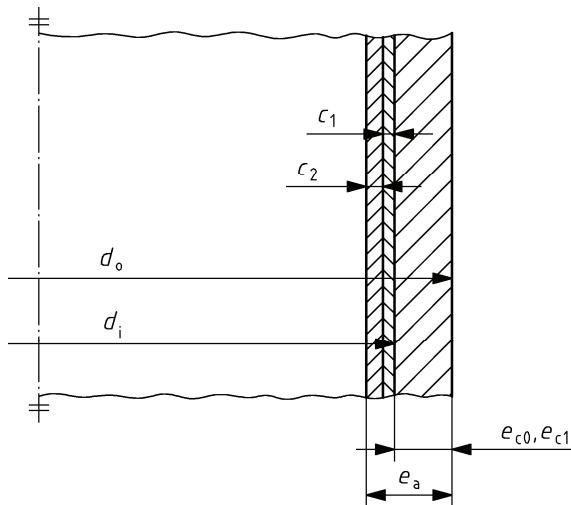


Bild 1a — Für Neuauslegung

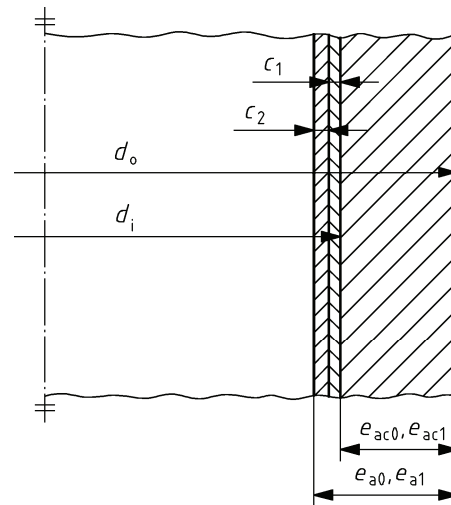


Bild 1b — Für den Nachweis der bestehenden Wanddicke

Bild 1 — Zusammensetzung der Wanddicke und der Toleranzzuschläge

5 Auslegungsdruck

Es müssen alle vorausschaubaren Bedingungen berücksichtigt werden, die während des Betriebes und im Bereitschaftsmodus auftreten können.

Deshalb muss der Auslegungsdruck, p_d , mindestens dem zulässigen Druck, PS , entsprechen. In Gleichungen wird p_d in der Kurzform, p , geschrieben.

6 Zulässige Spannungen für drucktragende Teile außer Schrauben

6.1 Allgemeines

Die zulässigen Spannungen für Stähle (siehe DGRL 97/23/EG) mit einer Mindestbruchdehnung $\geq 14 \%$ und einer Mindestkerbschlagarbeit $\geq 27 \text{ J}$, gemessen an einer Charpy-V-Probe, sollten nach Tabelle 2 errechnet werden.

Die Berechnung der Prüfbedingungen ist freigestellt.

Tabelle 2 — Zulässige Spannungen

Werkstoff	Auslegungsbedingungen	Kriech- bedingungen	Prüf- bedingungen ^b
Stahl nach 6.2	$f = \min (R_{p0,2/t} / 1,5; R_{m/20} / 2,4)$	$f = R_{m/100\ 000/t} / 1,5$	$f = R_{p0,2/T_{\text{Test}}} / 1,05$
Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss nach 6.2	$f = \min (R_{p1,0/t} / 1,5; R_{m/20} / 2,4)$	$f = R_{m/100\ 000/t} / 1,5$	$f = R_{p1,0/T_{\text{Test}}} / 1,05$
Austenitischer Stahl nach 6.3 mit einer Bruchdehnung $\geq 30\ %$	$f = R_{p1,0/t} / 1,5$	$f = R_{m/100\ 000/t} / 1,5$	$f = R_{p1,0/T_{\text{Test}}} / 1,05$
Austenitischer Stahl nach 6.4 mit einer Bruchdehnung $\geq 35\ %$	$f = \max [R_{p1,0/t} / 1,5; \min (R_{p1,0/t} / 1,2; R_{m/20} / 3,0)]$	$f = R_{m/100\ 000/t} / 1,5$	$f = R_{p1,0/T_{\text{Test}}} / 1,05$
Stahlguss nach 6.5	$f = \min (R_{p0,2/t} / 1,9; R_{m/20} / 3,0)$	$f = R_{m/100\ 000/t} / 1,9$	$f = R_{p0,2/T_{\text{Test}}} / 1,33$
Anschweißenden an Stahlguss nach 6.5	$f = \min (R_{p0,2/t} / 1,5; R_{m/20} / 2,4)^a$	$f = R_{m/100\ 000/t} / 1,5$	$f = R_{p0,2/T_{\text{Test}}} / 1,05$
^a Die unmittelbar außerhalb der mittragenden Länge l_0 oder l_1 liegende Übergangszone kann mit dieser höheren zulässigen Spannung berechnet werden, wenn die Länge der Übergangszone $\geq 3 \cdot e_v$ ist, jedoch mindestens 50 mm, und der Übergangswinkel $\leq 30^\circ$ ist. ^b Bei der Berechnung des Prüfdrucks muss EN 12266-1 oder EN 12266-2 angewendet werden.			

Jedoch können Werkstoffe mit geringeren Dehnungswerten und/oder geringeren Werten des Kerbschlagbiegeversuchs nach Charpy ebenfalls angewendet werden, vorausgesetzt, dass geeignete Messungen vorgenommen werden, um diese geringeren Werte auszugleichen und dass die spezifischen Anforderungen nachweisbar sind.

6.2 Andere Stähle und Gussstücke als in 6.3, 6.4 oder 6.5 festgelegt

Der Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle, f_d , darf den kleineren der beiden folgenden Werte nicht überschreiten:

- die obere Streckgrenze, $R_{eH/t}$, oder 0,2 %-Dehngrenze, $R_{p0,2/t}$, bei Berechnungstemperatur, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,5$. Für austenitische Stähle und austenitischen Stahlguss mit einer Bruchdehnung kleiner als 30 % und mit einem Verhältnis zwischen 0,2 %-Dehngrenze und Zugfestigkeit $\leq 0,5$ — bei 20 °C — kann die 1 %-Dehngrenze, $R_{p1,0/t}$, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,5$, verwendet werden.
- die Mindest-Zugfestigkeit, R_m , bei 20 °C, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 2,4$.

6.3 Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung nicht unter 30 %

Der Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle, f_d , darf die 1,0 %-Dehngrenze, $R_{p1,0/t}$, bei Berechnungstemperatur, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,5$, nicht überschreiten.

ANMERKUNG Die zulässigen Spannungen nach diesem Abschnitt entsprechen der Druckgeräterichtlinie 97/23/EG, Anhang 1, Abschnitt 7. Die Bezeichnung „zulässige Spannung“ bedeutet „zulässige allgemeine Membranspannung“ im Sinne dieser Richtlinie.

6.4 Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung nicht unter 35 %

Der Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle, f_d , darf den größeren der beiden folgenden Werte nicht überschreiten:

- die 1,0 %-Dehngrenze, $R_{p1,0/t}$, bei Berechnungstemperatur, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,5$;
- den kleineren der beiden Werte:
 - die 1,0 %-Dehngrenze, $R_{p1,0/t}$, bei Berechnungstemperatur, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,2$;
 - die Mindestzugfestigkeit, $R_{m/t}$, bei Berechnungstemperatur, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 3,0$.

6.5 Unlegierter und niedriglegierter Stahlguss

Der Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle, f_d , darf den kleineren der beiden folgenden Werte nicht überschreiten:

- die obere Streckgrenze, $R_{eH/t}$, oder 0,2 %-Dehngrenze, $R_{p0,2/t}$, bei Berechnungstemperatur, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,9$;
- die Mindestzugfestigkeit, R_m , bei 20 °C, wie in der Werkstoffnorm angegeben, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 3,0$.

6.6 Kriechbedingungen

Der Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle darf die mittlere Zeitstandfestigkeit bei Berechnungstemperatur, $R_{m/T/t}$, dividiert durch den Sicherheitsfaktor $SF = 1,5$, für den Wert $T = 100\,000$ h nicht überschreiten.

Die in 6.2 bis 6.5 errechneten zulässigen Spannungen sind mit der in diesem Abschnitt errechneten zulässigen Spannung zu vergleichen, und der niedrigere Wert muss eingesetzt werden.

Für Stahlguss nach 6.5 gilt der Sicherheitsfaktor $SF = 1,9$ für den Wert $T = 100\,000$ h.

Für begrenzte Betriebszeiten und in berechtigten Fällen können für die Berechnungen Zeitstandfestigkeitswerte für kürzere Zeitspannen, jedoch nicht unter $T = 10\,000$ h, eingesetzt werden.

7 Berechnungsverfahren für die Wanddicke von Gehäusekörpern

7.1 Allgemeines

Gehäusekörper sind als Hohlkörper zu betrachten, die einander unter verschiedenen Winkeln durchdringen, d. h. Grundkörper mit Abzweigen.

Grundkörper und Abzweige können Rohre, Kugeln oder kegelförmige Hohlteile mit zylindrischen, kugeligen, ovalen oder rechteckigen Querschnitten sein.

In Sonderfällen besteht der Gehäusekörper nur aus einem Grundkörper.

Der Grundkörperteil ist der Teil des Gehäusekörpers mit dem größeren Durchmesser oder Querschnitt mit dem Symbol, d_0 . Für die Abzweige sind die Symbole zum Beispiel d_1 , d_2 .

Daraus folgt:

$d_0 \geq d_1$; $b_2 \geq d_1$, siehe Bilder 9a und 9b.

7.2 Gehäusekörper

7.2.1 Allgemeines

Bei der Berechnung des Oberflächen-Vergleichs muss die vollständige Wanddicke gelten, c_1 und c_2 müssen von der Seite in Berührung mit dem Betriebsmedium abgezogen werden.

Die Wanddicke eines Gehäusekörpers, der sich aus verschiedenen geometrischen Hohlkörpern zusammensetzt, kann nicht direkt berechnet werden. Die Berechnung erfordert zwei Schritte:

- die Berechnung der Wanddicke des Grundkörpers und der Abzweige außerhalb des Ausschnitts- oder Abzweigbereiches, siehe 7.2.2;
- die Berechnung der Wanddicke im Abzweigbereich, siehe 7.2.3.

Die Wanddicke des Abzweigbereiches ist unter Berücksichtigung des Gleichgewichts der Kräfte zu überprüfen, siehe 7.2.3.

7.2.2 Wanddicke von Gehäusekörpern und Abzweigen außerhalb des Abzweigbereiches

7.2.2.1 Allgemeines

Außerhalb des Ausschnitts- oder Abzweigbereiches bedeutet, dass der berechnete Hohlkörper in diesem Bereich keine Öffnungen oder Ausschnitte aufweist (z. B. ein glattes Rohr).

Der Schweißfaktor, k_c , in den nachfolgenden Gleichungen ist ein Berechnungsfaktor, der vom Umfang der zerstörenden und zerstörungsfreien Prüfungen abhängt, dem die Schweißnaht oder Schweißnahtreihe zu unterziehen ist.

Für den Schweißfaktor, k_c , müssen die folgenden Werte gelten:

- | | |
|------|--|
| 1,0 | für Druckgeräte, bei denen durch zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen nachgewiesen wird, dass die gesamte Schweißnahtreihe keine wesentlichen Fehler aufweist; |
| 0,85 | für Druckgeräte, bei denen 10 % der Schweißnähte stichprobenweise zerstörungsfrei geprüft werden und alle Schweißnähte einer 100 %-Sichtprüfung unterzogen werden; |
| 0,7 | für Druckgeräte, die außer der 100 %-Sichtprüfung aller Schweißnähte keiner zerstörungsfreien Prüfung unterzogen werden; |
| 1,0 | ohne Schweißungen. |

Alle berechneten Wanddicken sind Wanddicken ohne Zuschläge.

d_i = Innendurchmesser

r_i = Innenradius

d_o = Außendurchmesser

r_o = Außenradius

7.2.2.2 Zylindrische Grundkörper oder Abzweige

$d_o/d_i \leq 1,7$

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, muss das Verfahren 7.2.4.5, Bild 20 entsprechen.

$$e_c = \frac{d_i \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c} \quad (7)$$

oder

$$e_c = \frac{d_o \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c + 2 \cdot p} \quad (8)$$

$d_o/d_i > 1,7$

$$e_c = \frac{d_i}{2} \left(\sqrt{\frac{f \cdot k_c + p}{f \cdot k_c - p}} - 1 \right) \quad (9)$$

oder

$$e_c = \frac{d_o}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{f \cdot k_c - p}{f \cdot k_c + p}} \right) \quad (10)$$

Beide Gleichungen sind gleichwertig, wenn $d_i = d_o - 2 \cdot e_c$

7.2.2.3 Kugelige Grundkörper oder Abzweige

$d_o/d_i \leq 1,2$

$$e_c = \frac{r_i \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c} \quad (11)$$

oder

$$e_c = \frac{r_o \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c + p} \quad (12)$$

$1,2 < d_o/d_i \leq 1,5$

$$e_c = r_i \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{2 \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c}} - 1 \right] \quad (13)$$

oder

$$e_c = r_o \cdot \frac{\sqrt{1 + \frac{2 \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c}} - 1}{\sqrt{1 + \frac{2 \cdot p}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c}}} \quad (14)$$

Beide Gleichungen sind gleichwertig, wenn $r_i = r_o - e_c$

7.2.2.4 Kegelförmige Grundkörper oder Abzweige

$$e_a/d_o > 0,005$$

(15)

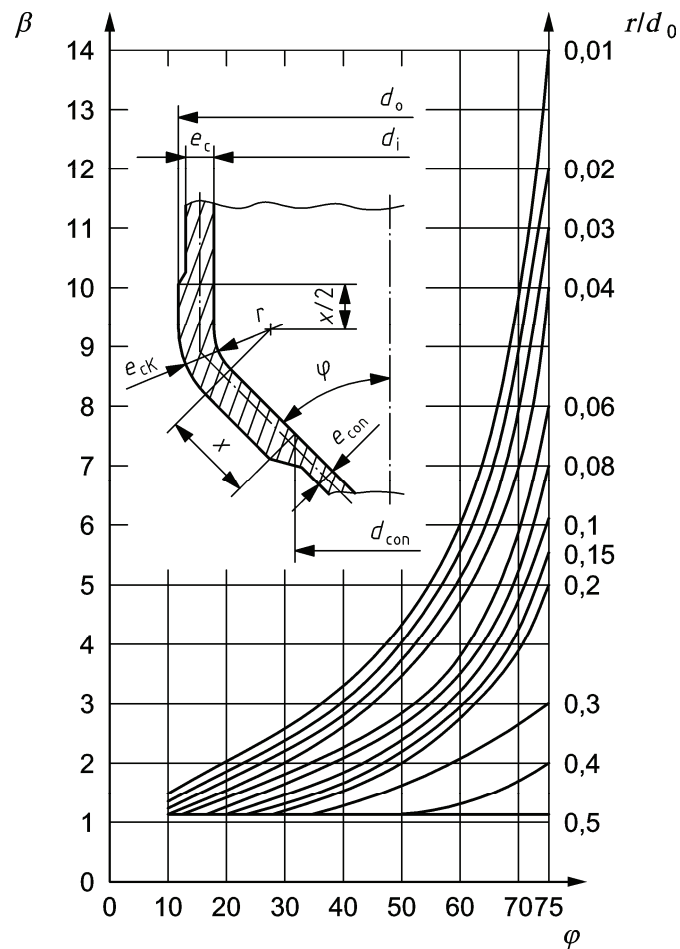


Bild 2 — Kegel-Berechnungsbeiwert

$$e_{con} = \frac{p \cdot d_{con}}{(2 \cdot f - p) \cdot k_c} \cdot \frac{1}{\cos(\varphi)} \quad (16)$$

$$d_{con} = d_o - 2(e_{ck} + r(1 - \cos \varphi) + x \sin \varphi) \quad (17)$$

Wanddicke in der Krempe oder in einer Eck-Schweißung:

$$e_{ck} = \frac{d_o \cdot p \cdot \beta}{4 \cdot f \cdot k_c} \quad (18)$$

e_{ck} ist auch im Bereich x und $\frac{x}{2}$ erforderlich

$$x = \sqrt{d_o \cdot e_{ac}} \quad (19)$$

$$e_{ac} \leq e_a - c_1 - c_2 \quad (20)$$

k_c ist hier ein Faktor für eine in der Kreme oder im Krempeneinflussbereich liegende, in Meridianrichtung verlaufende Schweißnaht.

Bei Eckschweißungen, die bei Winkeln $\varphi \leq 30^\circ$, $e_{cK} \leq 20$ mm und doppelseitig geschweißter Naht zulässig sind, muss β ersatzweise für das Verhältnis $r/d_o = 0,01$ aus Bild 2 abgelesen werden.

Bei Eckschweißungen entspricht der Durchmesser, d_{con} , dem Innendurchmesser am weiten Ende.

Bei flachen Kegeln mit einer Kreme und $\varphi > 70^\circ$ gilt:

$$e_{con} = 0,3 \cdot (d_o - r) \cdot \frac{\varphi}{90} \cdot \sqrt{\frac{p}{f \cdot k_c}} \quad (21)$$

Tabelle 3 — Kegel-Berechnungsbeiwert

Winkel φ	β bei Verhältnis r/d_o												cos φ
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	
10	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,985
20	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,940
30	2,7	2,4	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1	1,1	0,866
45	4,1	3,7	3,3	3,0	2,6	2,4	2,2	1,9	1,8	1,4	1,1	1,1	0,707
60	6,4	5,7	5,1	4,7	4,0	3,5	3,2	2,8	2,5	2,0	1,4	1,1	0,500
75	13,6	11,7	10,7	9,5	7,7	7,0	6,3	5,4	4,8	3,1	2,0	1,1	0,259

Wenn zwei kegelförmige drucktragende Gehäuse (Mäntel) mit unterschiedlichen Winkeln aneinandergesetzt werden, muss zur Bestimmung von β der zwischen dem steileren und dem flacheren Kegelschuss auftretende Winkel, φ , ermittelt werden.

7.2.2.5 Grundkörper oder Abzweige mit ovalen oder rechteckigen Querschnitten

7.2.2.5.1 Die folgenden Berechnungsregeln gelten für ovale oder rechteckige Gehäusekörper mit einem Wanddicken-/Durchmesser-Verhältnis $e_{ac}/b_2 \leq 0,15$ und einem Verhältnis $b_1/b_2 \geq 0,4$.

Für Verhältnisse $e_{ac}/b_2 \leq 0,06$ gelten diese Regeln bis $b_1/b_2 \geq 0,25$ (siehe Literaturhinweis, [3]).

7.2.2.5.2 Ovale Querschnitte

Bei ovalen Querschnitten (siehe Bild 3 a) und Bild 3 b)) und rechteckigen Querschnitten mit oder ohne Abrundungen der Kanten (siehe Bild 3 c) und Bild 3 d)) müssen die in den Wandungen oder in den Kanten auftretenden zusätzlichen Biegebeanspruchungen berücksichtigt werden.

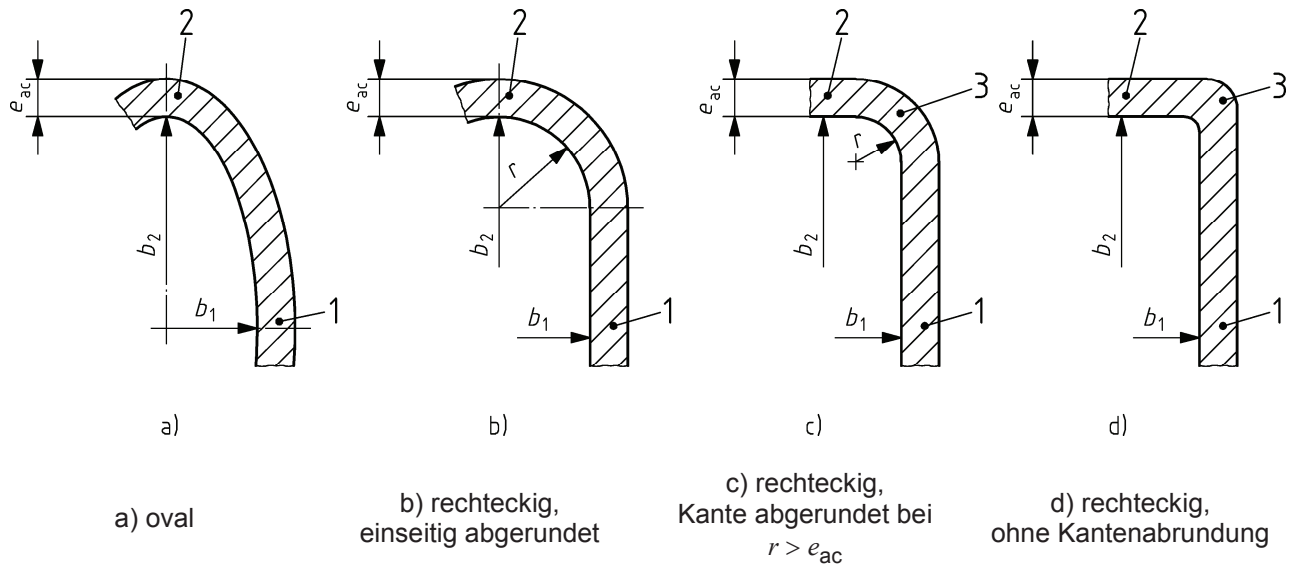


Bild 3 — Querschnitte

Die theoretische Mindestwanddicke für solche Grundkörper unter Innendruckbeanspruchung kann ohne Berücksichtigung von Randeinflüssen aus folgender Gleichung errechnet werden:

$$e_{c0} = \frac{p \cdot b_2}{2f} \cdot \sqrt{B_{0n}^2 + \frac{4f}{p} \cdot B_n} \quad (22)$$

7.2.2.5.3 Die Berechnung hinsichtlich der Stellen 1 und 2 (bei ovalen Querschnitten in Bild 3 a) und Bild 3 b) gekennzeichnet) und hinsichtlich der Stellen 1 und 3 (bei rechteckigen Querschnitten in Bild 3 c) und Bild 3 d) gekennzeichnet) müssen durchgeführt werden, da an diesen Stellen die Biegemomente ihre Größtwerte aufweisen, die das Festigkeitsverhalten wesentlich beeinflussen. In Ausnahmefällen (z. B. ein niedriges b_1/b_2 -Verhältnis) kann bei rechteckigen Querschnitten auch eine Nachrechnung für Stelle 2 erforderlich sein.

7.2.2.5.4 Der von den Normalkräften abhängende Berechnungsbeiwert, B_{0n} , muss wie folgt sein:

$$B_{01} = b_1/b_2 \text{ für Stelle 1} \quad (23)$$

$$B_{02} = 1 \text{ für Stelle 2} \quad (24)$$

Für Stelle 3 kann B_{03} abhängig vom Seitenverhältnis b_1/b_2 und dem Eckradienverhältnis r/b_2 aus Bild 4 entnommen oder nach Gleichung (25) berechnet werden:

$$B_{03} = \left[1 - \frac{2r}{b_2} (1 - \sin \varphi_k) \right] \sin \varphi_k + \left[\frac{b_1}{b_2} - \frac{2r}{b_2} (1 - \cos \varphi_k) \right] \cos \varphi_k \quad (25)$$

$$\text{mit } \tan \varphi_k = \frac{1 - 2r/b_2}{\frac{b_1}{b_2} - \frac{2r}{b_2}} \quad (26)$$

ANMERKUNG Im Fall von Bild 3 b) ($b_1 = 2r$): $\tan \varphi_k = 90^\circ$ und $B_{03} = 1$.

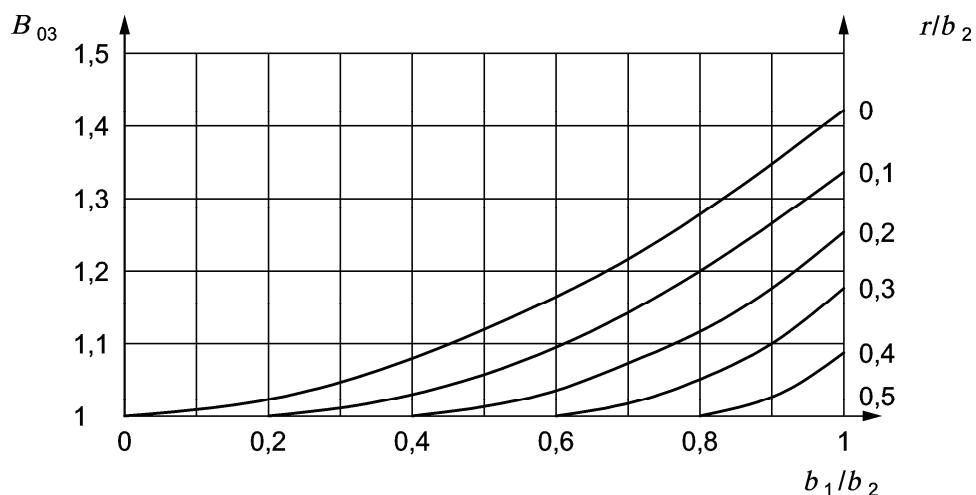


Bild 4 — Berechnungsbeiwert, B_{03} , für Stelle 3

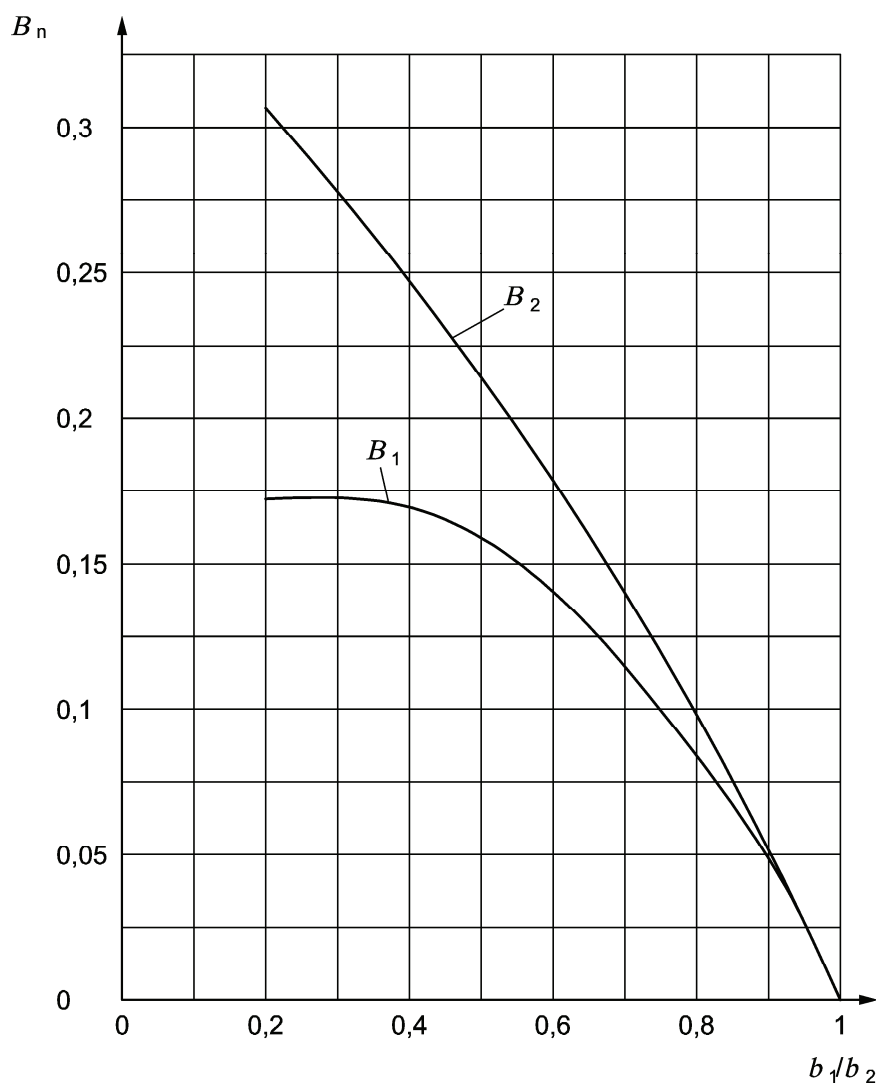


Bild 5 — Berechnungsbeiwert, B_n , für ovale Querschnitte

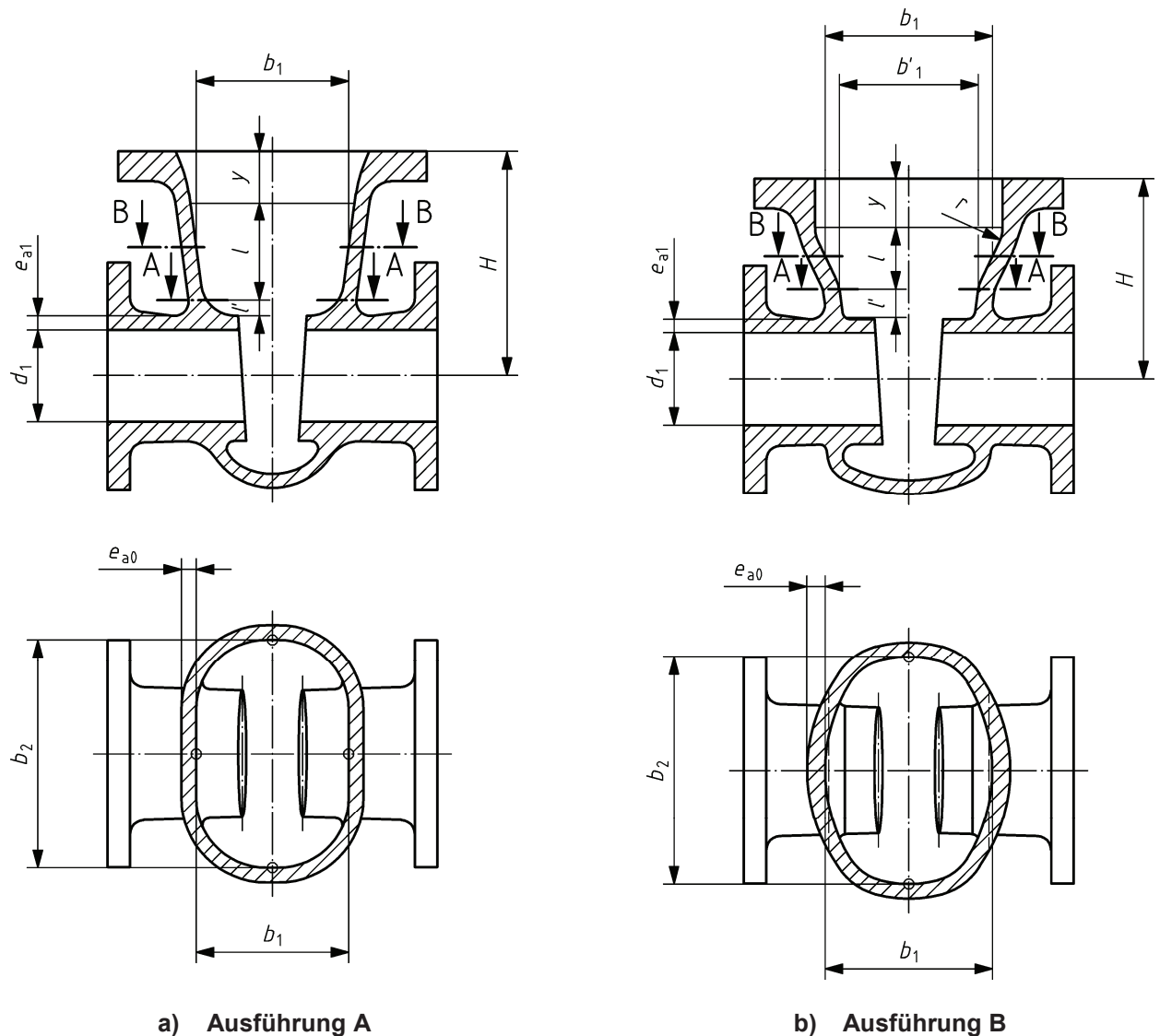


Bild 6 — Beispiele für Querschnittsveränderungen B–B in ovalen Grundkörpern

7.2.2.5.5 Die von den Biegemomenten abhängigen Berechnungsbeiwerte, B_n , sind für ovale Querschnitte für die Stellen 1 und 2 in Abhängigkeit von b_1/b_2 in Bild 5 dargestellt. Diese Kurven entsprechen den nachstehenden Gleichungen:

$$B_1 = \frac{1 - k_E^2}{6} \cdot \frac{K'}{E'} - \frac{1 - 2k_E^2}{6} \quad (27)$$

$$B_2 = \frac{1 + k_E^2}{6} - \frac{1 - k_E^2}{6} \cdot \frac{K'}{E'} \quad (28)$$

$$\text{mit } k_E^2 = 1 - \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^2 \quad (29)$$

Diese Werte ergeben sich aus der analytischen Lösung der Gleichgewichtsgleichungen für gekrümmte Träger. Die Werte für K' und E' sind im Literaturhinweis [4] erläutert.

Für die Bestimmung der Berechnungsbeiwerte können für $b_1/b_2 \geq 0,5$ auch folgende Näherungsgleichungen angewendet werden:

$$B_1 = \left(1 - \frac{b_1}{b_2}\right) \left(0,625 - 0,435 \cdot \sqrt{1 - \frac{b_1}{b_2}}\right) \quad (30)$$

$$B_2 = \left(1 - \frac{b_1}{b_2}\right) \left[0,5 - 0,125 \cdot \left(1 - \frac{b_1}{b_2}\right)\right] \quad (31)$$

Die Berechnungsbeiwerte gelten auch für Querschnittsveränderungen in ovalen Grundkörpern (z. B. bei Schiebern nach Bild 6, Ausführung A und Ausführung B), bei denen die Seitenlänge, b_1 , von der Scheitelzone des Einlaufstutzens (abgeflachtes Oval) über die Länge, l , bis auf den Wert der Länge, b_2 , (Kreisform) zunimmt. Für die Ermittlung von B_n ist dann der Wert b_1 im Querschnitt B–B bis $l/2$ maßgebend. Dabei ergibt sich l aus

$$l = H - y - \left(\frac{d_1}{2} + e_{ac1}\right) - l' \quad (32)$$

und die vom Einlaufstutzen beeinflusste Länge, l' , aus:

$$l' = 1,25 \cdot \sqrt{d'_m \cdot e_{ac0}} \quad (33)$$

$$\text{mit } d'_m = \frac{b'_1 + b_2}{2} \quad (34)$$

wobei b'_1 und b_2 am Querschnitt A–A im Abstand, l' , vom Einlaufstutzen zu ermitteln sind. e_{ac0} ist die an dieser Stelle vorhandene Wanddicke.

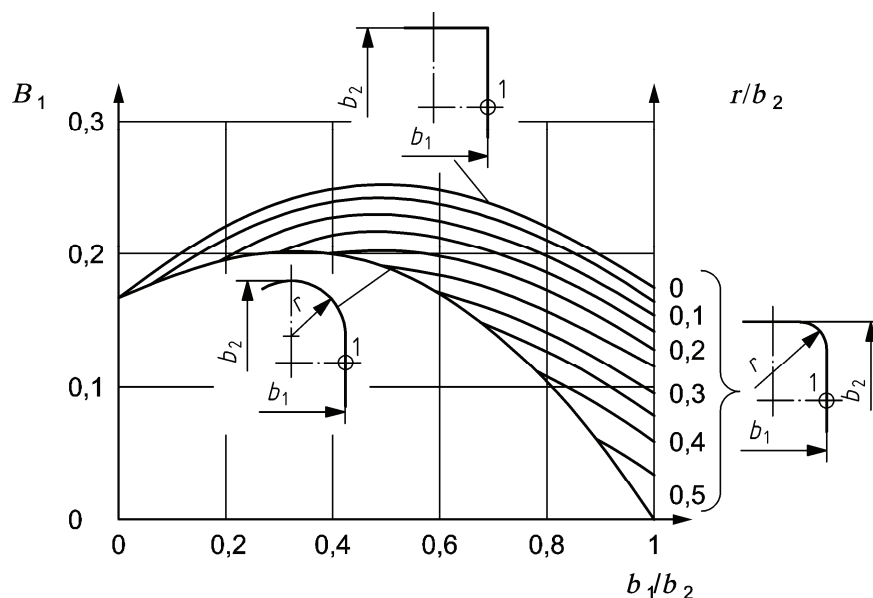


Bild 7a — Berechnungsbeiwert, B_1 , für rechteckige Querschnitte

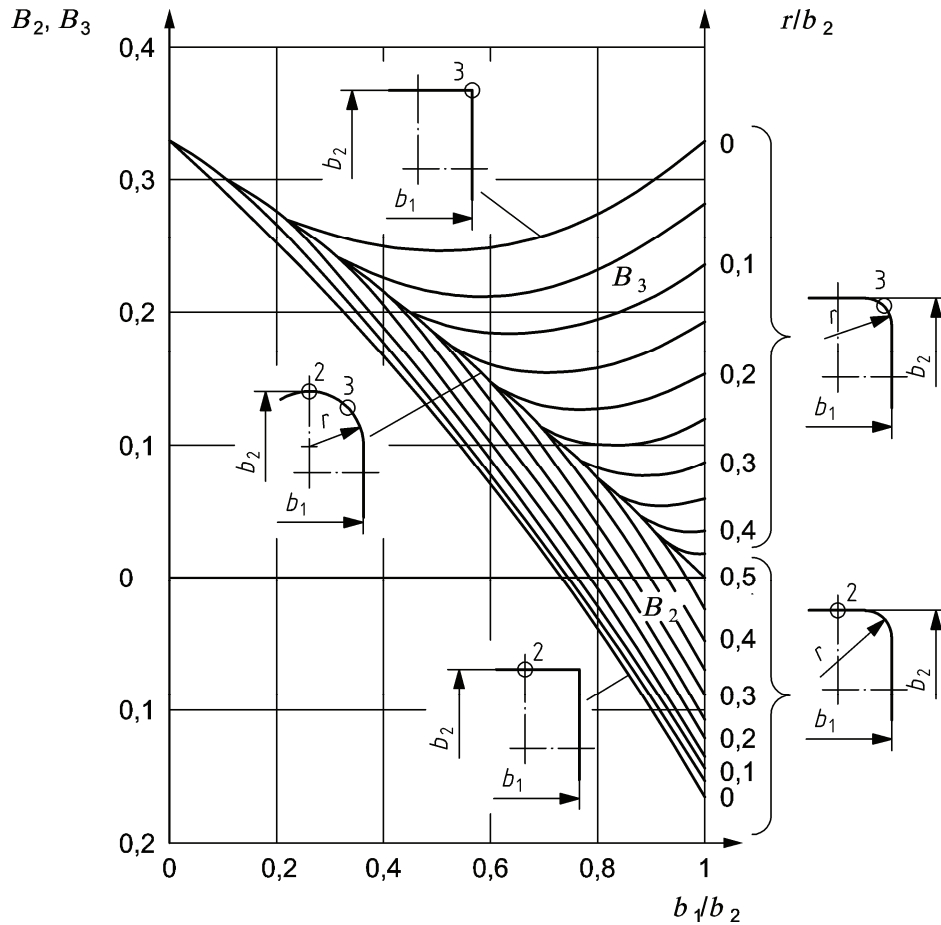


Bild 7b — Berechnungsbeiwerte, B_2 und B_3 , für rechteckige Querschnitte

Bild 7 — Berechnungsbeiwert, B_n , für rechteckige Querschnitte

7.2.2.5.6 Rechteckige Querschnitte

Die Berechnungsbeiwerte, B_n , für rechteckige Querschnitte sind für die zu betrachtenden Stellen 1 bis 3 in Bildern 7a und 7b in Abhängigkeit vom Verhältnis b_1/b_2 dargestellt. Die Berechnungsbeiwerte, B_n , müssen in Gleichung (22) stets als positive Werte eingesetzt werden.

Die Kurven für B_n können auch analytisch mit folgenden Gleichungen ermittelt werden:

$$B_1 = \frac{1}{6} \cdot \frac{1 - 2 \cdot \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^3 + 3 \cdot \left(\frac{b_1}{b_2}\right) - 3 \cdot \frac{2r}{b_2} \cdot \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) - 3 \cdot \left(\frac{2r}{b_2}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{b_1}{b_2}\right) \cdot (\pi - 3) + \left(\frac{2r}{b_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{9}{2}\pi - 14\right)}{1 + \frac{b_1}{b_2} - \frac{2r}{b_2} \cdot \left(2 - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (35)$$

$$B_2 = B_1 - \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^2 \right] \quad (36)$$

$$B_3 = \frac{1}{2} \left[1 - 2 \cdot \frac{2r}{b_2} \cdot (1 - \sin \varphi_k) + \frac{4r^2}{b_2^2} \cdot (3 - 2 \sin \varphi_k - 2 \cos \varphi_k) - 2 \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \frac{2r}{b_2} \cdot (1 - \cos \varphi_k) \right] - B_1 \quad (37)$$

dabei muss Gleichung (26) für den Winkel des Maximalmomentes gelten.

Bei kurzen Gehäusekörpern (z. B. Bild 6, Ausführung A oder B) mit der ungestörten, der Berechnungsgeometrie entsprechenden Länge, l , kann die Stützwirkung der an den Enden anschließenden Bauelemente (z. B. Flansche, Böden, Deckel) in der Berechnung berücksichtigt werden. Damit ergibt sich nach Gleichung (22) die erforderliche Mindest-Wanddicke:

$$e_c = e_{c0} \cdot k \quad (38)$$

Der Korrekturfaktor, k , ergibt sich analog zu dem Abklingverhalten der Beanspruchungen in Zylinderschalen unter Berücksichtigung experimenteller Untersuchungsergebnisse an nicht-kreisförmigen Gehäusen aus nachstehender Gleichung (40):

$$k = 0,48 \cdot 3 \sqrt{\frac{l^2}{d_m \cdot e_{c0}}} \quad (39)$$

$$\text{mit } 0,6 \leq k \leq 1 \quad (40)$$

Diese Funktion ist in Bild 8 als Abhängigkeit von $l^2/d_m \cdot e_{c0}$ dargestellt.

Für d_m ist in die Gleichung ein Wert $d_m = (b_1 + b_2)/2$ einzusetzen und e_{c0} entspricht Gleichung (22). Bei Querschnittsveränderungen über der Länge, l (z. B. nach Bild 6, Ausführung A oder B)), sind die Maße, b_1 und b_2 , im Querschnitt B–B (bei $l/2$) zu entnehmen. Örtliche Abweichungen von der Form des Gehäusekörpers, ob konvexer oder konkaver Art, können in der Regel vernachlässigt werden.

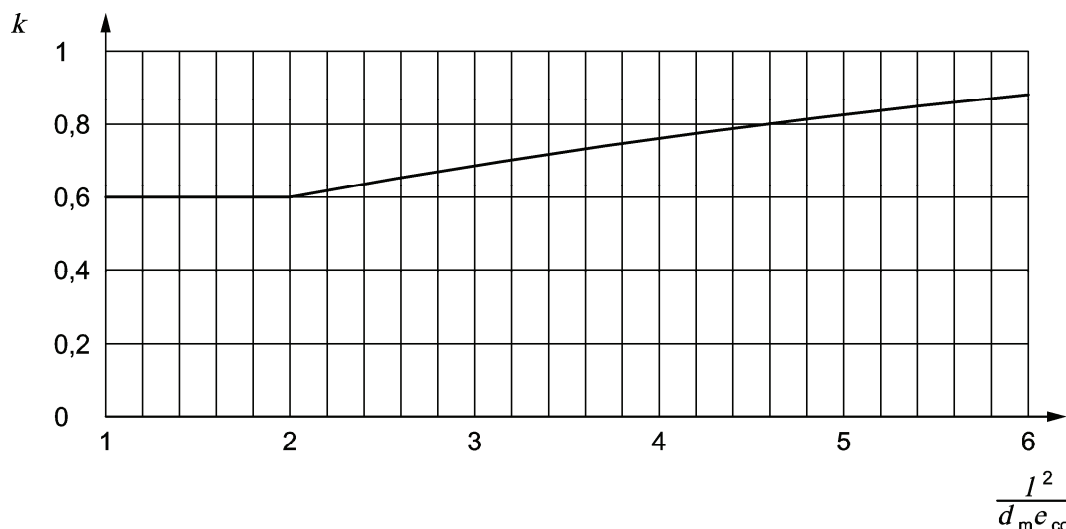


Bild 8 — Korrekturfaktor, k , für kurze Gehäusekörper

Die Festigkeitsbedingungen können als erfüllt angesehen werden, wenn die erforderliche Wanddicke örtlich vorhanden ist, vorausgesetzt, dass Übergänge der Wanddicken allmählich und sanft erfolgen.

Erfüllt eine ausgeführte Konstruktion nicht die Festigkeitsbedingung nach Gleichung (22) oder (38), kann eine örtliche Verstärkung vorgesehen werden, z. B. durch Rippen, wobei für die Konstruktion ein gesonderter Festigkeitsnachweis erforderlich ist.

7.2.3 Wanddicke im Abzweigbereich

Eine unmittelbare Berechnung der Wanddicke in diesem Bereich ist nicht möglich.

In einem ersten Schritt muss eine Wanddicke in diesem Bereich angenommen werden; diese Annahme kann auch aus der Wanddickenberechnung in 7.2.2 abgeleitet werden.

Diese angenommene Wanddicke muss unter Berücksichtigung des Kräftegleichgewichts überprüft werden. Der Abzweigbereich wird hier durch die Abstände, l , begrenzt, siehe Bilder 9 bis 20.

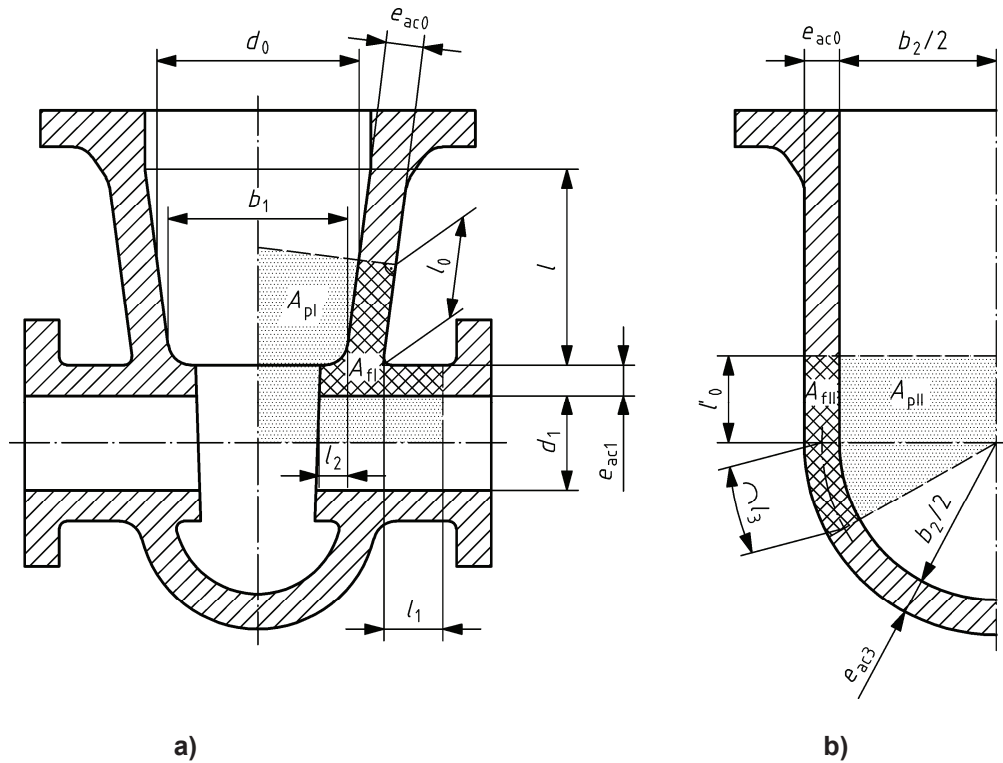


Bild 9 — Berechnungsschema im Abzweigbereich

Nach Bild 9 entspricht das Kräftegleichgewicht der Gleichung:

$$p \cdot A_p = f \cdot A_f \cdot k_c \quad (41)$$

Dabei ist

- $p \cdot A_{pI}$ oder $p \cdot A_{pII}$ die druckbelastete Fläche;
- $f \cdot A_{fI}$ oder $f \cdot A_{fII}$ die als Ausgleich wirkende Metall-Querschnittsfläche;
- k_c der vom Schweißverfahren abhängige Berechnungsbeiwert.

Die Flächen, A_p und A_f , werden durch die Mittellinien von Oberteil und Durchflussstrecke und durch die Abstände, l , bestimmt, siehe Bilder 9 bis 20.

Zulässiger Wert für f , siehe Abschnitt 6.

Tabelle 4 enthält die Gleichungen für f in Abhängigkeit von der Form des Gehäusekörpers.

Bedingung: e_{a0} Gehäusekörper $\geq e_{a1}$ Abzweige. Falls dies nicht möglich ist: e_{a1} Abzweige = e_{a0} Gehäusekörper im ganzen Bereich, A_f , einschließlich der Abstände l .

Tabelle 4 — Berechnungsgleichungen

kreisförmiger Querschnitt	Durchmesserverhältnis $d_1 / d_0 < 0,7$ $p \cdot \left[\frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f \quad (42)$
nicht kreisförmiger Querschnitt	$p \cdot \left[\frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f / 1,2 \quad (43)$
	$p \cdot \left[\frac{A_{pII}}{A_{fII} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f / 1,2 \quad (44)$
kreisförmiger Querschnitt	Durchmesserverhältnis $d_1 / d_0 \geq 0,7$ $p \cdot \left[\frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f \quad (45)$
	$p \cdot \left[\frac{A_{pII}}{A_{fII} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f \quad (46)$
kreisförmiger Querschnitt	Durchmesserverhältnis $d_1 / d_0 \geq 0,7$ and $e_{a1} / e_{a0} < d_1 / d_0$ — Gleichung (45) — Gleichung (46) — zusätzlich gilt für Querschnitt II: (Bild 9 b)) $p \cdot \left[\frac{d_0 + e_{ac0}}{2 \cdot e_{ac0}} + 0,2 \cdot \frac{d_1 + e_{ac1}}{e_{ac1}} \cdot \sqrt{\frac{d_0 + e_{ac0}}{e_{ac0}}} \right] \leq 1,5 \cdot f \quad (47)$
nicht kreisförmiger Querschnitt	— Gleichung (43) — Gleichung (44) — zusätzlich gilt für Querschnitt II: $p \cdot \left[\frac{b_2 + e_{ac0}}{2 \cdot e_{ac0}} + 0,25 \cdot \frac{d_1 + e_{ac1}}{e_{ac1}} \cdot \sqrt{\frac{b_2 + e_{ac0}}{e_{ac0}}} \right] \leq 1,5 \cdot f \quad (48)$

7.2.4 Beispiele für druckbelastete Bereiche, A_p , und Metall-Querschnittsbereiche, A_f

7.2.4.1 Allgemeines

Die drucktragenden Flächen, A_p , und die tragenden Querschnittsflächen, A_f , müssen rechnerisch oder aus CAD-Zeichnungen bestimmt werden. Die mittragenden Längen müssen nach den folgenden Beziehungen ermittelt werden.

Bei der Festlegung der drucktragenden Fläche, A_p , erfolgt die Begrenzung im Gehäuseinneren durch die geometrischen Mittellinien im Grundkörper und Abzweig (siehe Bilder 10 bis 20). Eingezogene Sitze, wie z. B. in Bild 10, dürfen nicht berücksichtigt werden. Wegen der geometrisch komplizierten Formen von Gehäusekörpern nach den Bildern 10 bis 14 werden die mittragenden Längen, l_0 und l_1 , parallel zur Gehäuseaußenkontur, ausgehend vom Tangentenpunkt der Senkrechten zur Kontur, an den vom Übergangsradius zwischen Grundkörper und Abzweig gebildeten Kreis aufgetragen (siehe Beispiele Bild 10). Bei kleinen Übergangsradien genügt es, vom Schnittpunkt der geradlinig verlängerten Gehäusekonturen auszugehen (siehe Bild 14). Am Endpunkt wird das Lot rechtwinklig zur entsprechenden Außenkontur gefällt.

Nach innen überstehendes Material von Grundkörper oder Abzweig kann bis zu einer Maximallänge von $l_0/2$ oder $l_1/2$ in die tragende Querschnittsfläche, A_f , einbezogen werden, wobei die auf diese Weise bestimmte Begrenzung auch die Begrenzung der Druckfläche darstellt (siehe z. B. Bilder 9, 10 und 17). Im Gehäuseinneren eingeschweißte Sitzringe können bei durchgeschweißten und prüfbaren Nähten in die Berechnung einbezogen werden.

Schroffe Wanddickenübergänge müssen vermieden werden (Abschrägungswinkel $\leq 30^\circ$).

Bei Durchmesserhältnissen Abzweig/Gehäuse $d_1/d_0 > 0,8$ muss in allen nachfolgenden Gleichungen für die Berechnung der mittragenden Länge der Faktor vor der Wurzel 1 gesetzt werden.

Für alle Formen von Gehäusekörpern ist im Querschnitt II (Bild 9 b))

$$l'_0 = 1,25 \cdot \sqrt{(b_2 + e_{ac0}) \cdot e_{ac0}} \quad (49)$$

$$l_3 = \sqrt{(b_2 + e_{ac3}) \cdot e_{ac3}} \quad (50)$$

7.2.4.2 Zylindrische Gehäusekörper

Die mittragenden Längen für zylindrische Gehäusekörper, z. B. nach Bild 10, sind:

$$l_0 = \sqrt{(d_0 + e_{ac0}) \cdot e_{ac0}} \quad (51)$$

$$l_1 = 1,25 \cdot \sqrt{(d_1 + e_{ac1}) \cdot e_{ac1}} \quad (52)$$

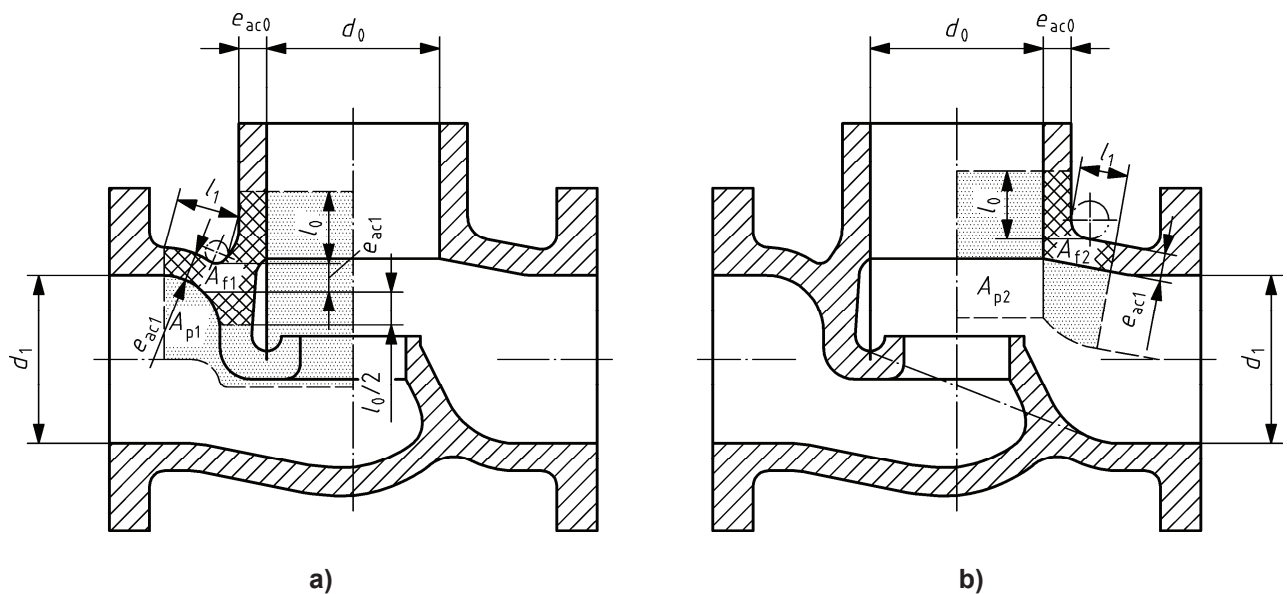


Bild 10 — Zylindrischer Gehäusekörper

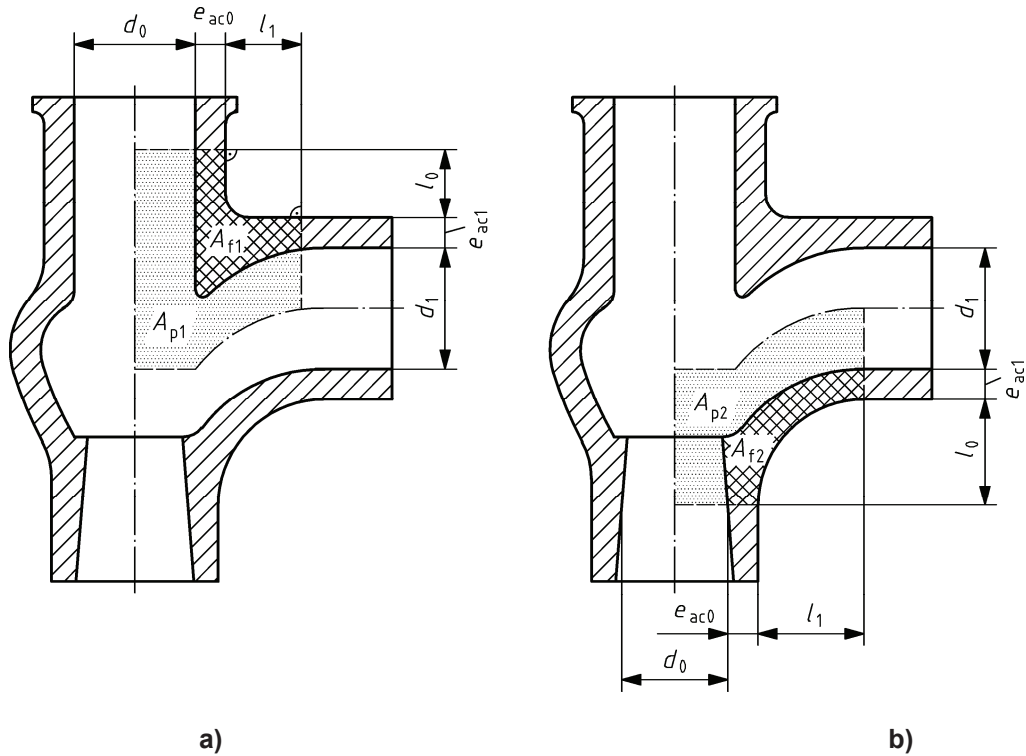


Bild 11 — Eckventil

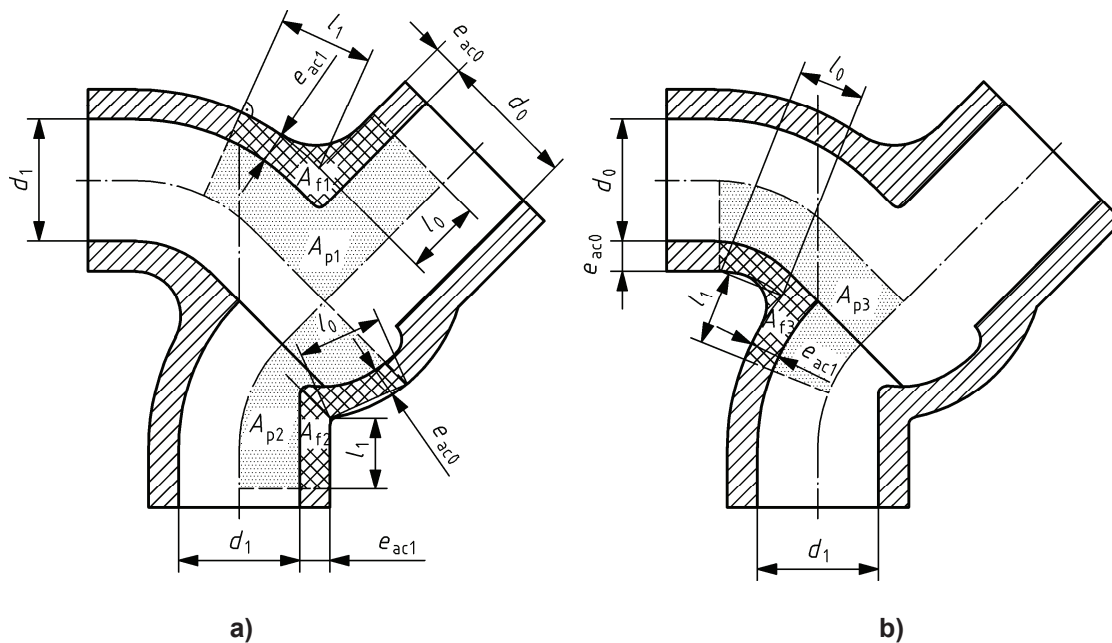


Bild 12 — Niederschraubventil in Eckform

Bei zylindrischen Gehäusekörpern mit schräggehendem Grundkörper oder Abzweig (z. B. nach Bild 13) mit $\phi_A \geq 45^\circ$ ist für l_0 anstelle Gleichung (51) die folgende Gleichung zu verwenden:

$$l_0 = \left(1 + 0,25 \cdot \frac{\phi_A}{90^\circ} \right) \cdot \sqrt{(d_0 + e_{ac0}) \cdot e_{ac0}} \quad (53)$$

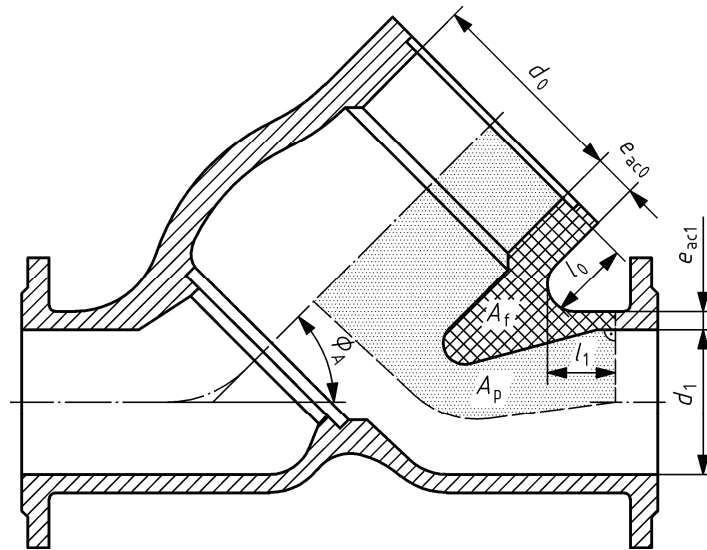


Bild 13 — Zylindrischer Gehäusekörper mit schrägem Abzweig

Bei kegelförmigen Grundkörpern oder Abzweigen müssen für d_0 und d_1 die jeweils kleinsten an der Öffnung vorhandenen Durchmesser eingesetzt werden (siehe Bild 11 b) und Bild 14).

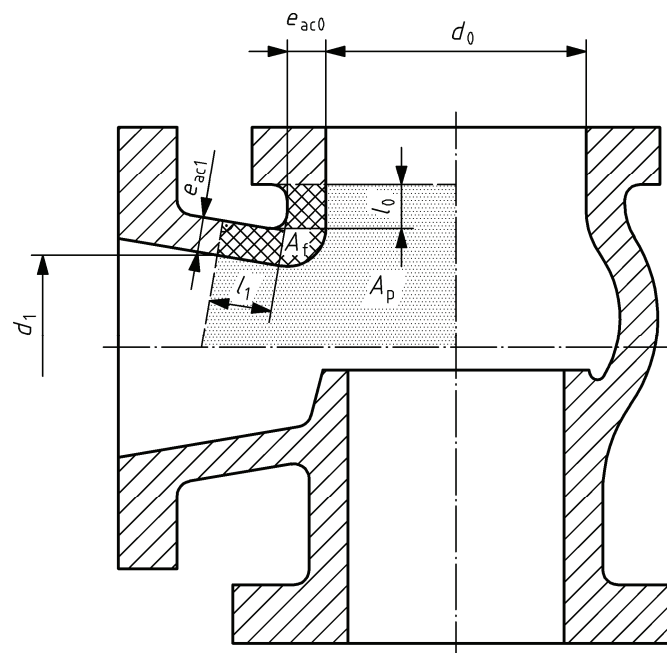


Bild 14 — Gehäusekörper in Eckform

7.2.4.3 Kugelförmige Gehäusekörper

Für Abzweige in kugelförmigen Grundkörpern mit d_1/d_0 oder $d_2/d_0 \leq 0,5$ werden die mittragenden Längen, l_0 , ebenfalls nach Gleichung (51) ermittelt, unter der Bedingung, dass

$$l_0 \leq 0,5 \cdot l_3 \quad (54)$$

ist (siehe Bild 15, Ausführung a)).