

DIN EN 12516-2

ICS 23.060.01

Ersatz für
DIN EN 12516-2:2015-01**Industriearmaturen –
Gehäusefestigkeit –****Teil 2: Berechnungsverfahren für drucktragende Gehäuse von Armaturen
aus Stahl;****Deutsche Fassung EN 12516-2:2014+A1:2021**

Industrial valves –
Shell design strength –
Part 2: Calculation method for steel valve shells;
German version EN 12516-2:2014+A1:2021

Robinetterie industrielle –
Résistance mécanique des enveloppes –
Partie 2: Méthode de calcul relative aux enveloppes d'appareils de robinetterie en acier;
Version allemande EN 12516-2:2014+A1:2021

Gesamtumfang 115 Seiten

DIN-Normenausschuss Armaturen (NAA)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12516-2:2014+A1:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 69 „Industriearmaturen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 003-01-01 AA „Grundnormen“ im DIN-Normenausschuss Armaturen (NAA).

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, angenommen von CEN am 2021-09-06.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen **A1** **A1** angezeigt.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12516-2:2015-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) alle Gleichungen und Bilder wurden neu nummeriert; insbesondere 10.6 „Auslegungstemperatur“ wurde zu 10.5 „Berechnungsverfahren für Schraubendurchmesser“;
- c) einige Gleichungen wurden geändert:
 - 1) Gleichungen (3) bis (6) zur Berechnung der Wanddicke wurden ergänzt;
 - 2) Gleichungen (9) und (10) zur Berechnung von e_c im Fall von $d_o/d_i > 1,7$ wurden ergänzt;
 - 3) Gleichungen (17) und (20) für kegelförmige Grundkörper oder Abzweige wurden ergänzt;
- d) die Bilder wurden geändert und/oder angepasst:
 - 1) ein neues Bild 1 „Zusammensetzung der Wanddicke und der Toleranzzuschläge“ wurde ergänzt;
 - 2) Bild 2 „Kegel-Berechnungsbeiwert“ wurde überarbeitet;
 - 3) die früheren Bilder 6a und 6b wurden in Bild 7 „Berechnungsbeiwert, B_n , für rechteckige Querschnitte“ kombiniert;
 - 4) Bild 23, Bild 24 und Bild 25 zur Berechnung der Koeffizienten C_x , C_y und C_y wurden nach 8.2.1 verschoben;
 - 5) das neue Bild 46 „Ausführungen von Flanschverbindungen“ wurde ergänzt;

- e) Tabellen wurden angepasst:
- 1) Tabelle 1, welche die Symbole und Einheiten wiedergibt, wurde überarbeitet;
 - 2) eine Spalte für Prüfbedingungen wurde in Tabelle 2 „Berechnungsnennspannungen (zulässige Spannungen)“ ergänzt;
 - 3) Tabelle 5 „Ebene Kreisplatten und Kreisringplatten — Biegemomente in Abhängigkeit von Lastfällen und Einspannbedingungen“ wurde überarbeitet;
 - 4) Tabelle 7 „Hebelarme der Kräfte in den Momentengleichungen“ wurde überarbeitet;
- f) Abschnitt 6 „Berechnungsnennspannungen für drucktragende Teile außer Schrauben“ enthält nun Verweisungen zur EU-Richtlinie 97/23/EG (DGRL);
- g) Abschnitt 7 „Berechnungsverfahren für die Wanddicke von Gehäusekörpern“ wurde umstrukturiert; und 7.1 enthält nun Informationen zur Berechnung des Oberflächenvergleichs;
- h) Unterabschnitte 8.2.2 und 8.2.3 enthält nun eine Unterscheidung zwischen „direkte Belastung“ und „keine direkte Belastung unterlegen“; und 8.2.3 enthält eine Warnung bezüglich des mittlerer Auflagedurchmessers d_{mA} ;
- i) es gibt einen neuen Unterabschnitt 8.3.3.5 bezüglich des Durchmessers des Schwerpunkts;
- j) Abschnitt 10 „Berechnungsverfahren für Flansche“ wurde überarbeitet;
- k) der frühere informative Anhang A „Zulässige Spannungen“ wurde gelöscht;
- l) der Anhang „Kennwerte für Dichtungen und Verbindungen“ wurde überarbeitet;
- m) Anhang ZA wurde überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 3840: 1982-09

DIN EN 12516-2: 2004-10, 2015-01

— Leerseite —

Deutsche Fassung

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

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

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. August 2014 angenommen und enthält die Änderung 1, die vom CEN am 6. September 2021 angenommen wurde.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Symbole und Einheiten	8
4 Allgemeine Bedingungen für die Festigkeitsberechnung	13
5 Auslegungsdruck	14
6 Berechnungsnennspannungen für drucktragende Teile außer Schrauben	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Andere Stähle und Gusstücke als in 6.3, 6.4 oder 6.5 festgelegt	15
6.3 A_1 Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung > 30 % A_1	16
6.4 A_1 Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung > 35 % A_1	16
6.5 Ferritischer und martensitischer Stahlguss	16
6.6 Kriechbedingungen	16
7 Berechnungsverfahren für die Wanddicke von Gehäusekörpern	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Wanddicke von Gehäusekörpern und Abzweigen außerhalb des Abzweigbereiches	17
7.2.1 Allgemeines	17
7.2.2 Zylindrische Grundkörper oder Abzweige	18
7.2.3 Kugelige Grundkörper oder Abzweige	18
7.2.4 Kegelförmige Grundkörper oder Abzweige	19
7.2.5 Grundkörper oder Abzweige mit ovalen oder rechteckigen Querschnitten	21
7.3 Wanddicke im Abzweigbereich	28
7.4 Beispiele für druckbelastete Bereiche, A_p , und Metall-Querschnittsbereiche, A_f	30
7.4.1 Allgemeines	30
7.4.2 Zylindrische Gehäusekörper	31
7.4.3 Kugelförmige Gehäusekörper	33
7.4.4 Ovale und rechteckige Querschnitte	34
7.4.5 Konstruktionseinzelheiten	35
8 Berechnungsverfahren für verschraubte Oberteile und Deckel	39
8.1 Allgemeines	39
8.2 Oberteile aus ebenen Platten	39
8.2.1 Allgemeines	39
8.2.2 Runde Deckel ohne Öffnung	44
8.2.3 Runde Deckel mit konzentrischer kreisrunder Öffnung	45
8.2.4 Unrunde Deckel (elliptisch oder rechteckig)	47
8.2.5 Spezielle Deckel aus ebenen Kreisplatten für spezifische Belastungs- und Einspannbedingungen	48
8.3 Deckel aus einer Kugelschale und einem anschließenden Flanschring	63
8.3.1 Allgemeines	63

8.3.2	Wanddicken- und Festigkeitsberechnung der Kugelschale	64
8.3.3	Berechnung des Flanschrings.....	65
8.3.4	Ausschnittverstärkung am Stopfbuchsraum.....	67
8.4	Gewölbte Böden	68
8.4.1	Allgemeines	68
8.4.2	Gewölbte Vollböden	68
8.4.3	Gewölbte Böden mit Ausschnitten	70
8.4.4	Zuschläge zur Wanddicke.....	72
9	Berechnungsverfahren für druckdichtende Oberteile und Deckel	72
10	Berechnungsverfahren für Flansche	75
10.1	Allgemeines	75
10.2	Runde Flansche	76
10.2.1	Allgemeines	76
10.2.2	Flansche mit konischem Ansatz	77
10.2.3	Flansche größer DN 1 000	79
10.2.4	Vorschweißbund mit konischem Ansatz nach Bild 48	79
10.2.5	Aufschweißflansche.....	80
10.2.6	Innenliegender Flansch.....	84
10.2.7	Losflansche	85
10.3	Ovale Flansche	86
10.3.1	Ovale Flansche nach Bild 54.....	86
10.3.2	Ovale Flansche nach Bild 55.....	88
10.4	Rechteckige oder quadratische Flansche.....	91
10.4.1	Rechteckige oder quadratische Flansche nach Bild 57	91
10.4.2	Rechteckiger Überschiebflansch nach Bild 58	92
10.5	Berechnungsverfahren für Schraubendurchmesser	93
10.5.1	Auslegungstemperatur.....	93
10.5.2	Nennspannungsdurchmesser	93
10.5.3	Lastfälle	94
10.5.4	Sicherheitsfaktoren und Zuschläge	94
11	Berechnungsverfahren für Stopfbuchsen	95
11.1	Belastungen	95
11.2	Stopfbuchsschrauben.....	95
11.3	Stopfbuchsflansche	95
11.4	Sonstige Bauteile	95
12	Ermüdung.....	95
13	Kennzeichnung.....	95
Anhang A (informativ)	Kennwerte für Dichtungen und Verbindungen.....	96
Anhang B (informativ)	Berechnungsverfahren.....	109
Anhang ZA (informativ)	 Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2014/68/EU	110
Literaturhinweise.....		111

Vorwort

Dieses Dokument (EN 12516-2:2014+A1:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 69 „Industriearmaturen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2022 und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, angenommen von CEN am 6. September 2021.

Dieses Dokument ersetzt  EN 12516-2:2014 .

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text werden durch die Markierungen   angezeigt.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie(n)/Verordnung(en).

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie(n)/Verordnung(en) siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

 Die wesentlichen Änderungen in der neuen Ausgabe EN 12516-2:2014 im Vergleich zur Vorgängerausgabe EN 12516-2:2004 sind folgende: 

- a) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) alle Gleichungen und Bilder wurden neu nummeriert; insbesondere 10.6 „Auslegungstemperatur“ wurde zu 10.5 „Berechnungsverfahren für Schraubendurchmesser“;
- c) einige Gleichungen wurden geändert:
 - 1) Gleichungen (3) bis (6) zur Berechnung der Wanddicke wurden ergänzt;
 - 2) Gleichungen (9) und (10) zur Berechnung von e_c im Fall von $d_o/d_i > 1,7$ wurden ergänzt;
 - 3) Gleichungen (17) und (20) für kegelförmige Grundkörper oder Abzweige wurden ergänzt;
- d) die Bilder wurden geändert und/oder angepasst:
 - 1) ein neues Bild 1 „Zusammensetzung der Wanddicke und der Toleranzzuschläge“ wurde ergänzt;
 - 2) Bild 2 „Kegel-Berechnungsbeiwert“ wurde überarbeitet;
 - 3) die früheren Bilder 6a und 6b wurden in Bild 7 „Berechnungsbeiwert, B_n , für rechteckige Querschnitte“ kombiniert;
 - 4) Bild 23, Bild 24 und Bild 25 zur Berechnung der Koeffizienten C_x , C_y und C_z wurden nach 8.2.1 verschoben;
 - 5) das neue Bild 46 „Ausführungen von Flanschverbindungen“ wurde ergänzt;

- e) Tabellen wurden angepasst:
- 1) Tabelle 1, welche die Symbole und Einheiten wiedergibt, wurde überarbeitet;
 - 2) eine Spalte für Prüfbedingungen wurde in Tabelle 2 „Berechnungsnennspannungen (zulässige Spannungen)“ ergänzt;
 - 3) Tabelle 5 „Ebene Kreisplatten und Kreisringplatten — Biegemomente in Abhängigkeit von Lastfällen und Einspannbedingungen“ wurde überarbeitet;
 - 4) Tabelle 7 „Hebelarme der Kräfte in den Momentengleichungen“ wurde überarbeitet;
- f) Abschnitt 6 „Berechnungsnennspannungen für drucktragende Teile außer Schrauben“ enthält nun Verweisungen zur EU-Richtlinie 97/23/EG (DGRL);
- g) Abschnitt 7 „Berechnungsverfahren für die Wanddicke von Gehäusekörpern“ wurde umstrukturiert; und 7.1 enthält nun Informationen zur Berechnung des Oberflächenvergleichs;
- h) Unterabschnitte 8.2.2 und 8.2.3 enthält nun eine Unterscheidung zwischen „direkte Belastung“ und „keine direkte Belastung unterlegen“; und 8.2.3 enthält eine Warnung bezüglich des mittlerer Auflagedurchmessers d_{mA} ;
- i) es gibt einen neuen Unterabschnitt 8.3.3.5 bezüglich des Durchmessers des Schwerpunkts;
- j) Abschnitt 10 „Berechnungsverfahren für Flansche“ wurde überarbeitet;
- k) der frühere informative Anhang A „Zulässige Spannungen“ wurde gelöscht;
- l) der Anhang „Kennwerte für Dichtungen und Verbindungen“ wurde überarbeitet;
- m) Anhang ZA wurde überarbeitet.

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* (das vorliegende Dokument);
- *Teil 3: Experimentelles Verfahren;*
- *Teil 4: Berechnungsverfahren für drucktragende Gehäuse von Armaturen aus anderen metallischen Werkstoffen als Stahl.*

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

EN 12516, *Industriearmaturen — Gehäusefestigkeit*, umfasst vier Teile. EN 12516-1 und EN 12516-2 legen Verfahren zur Bestimmung der Wanddicke der drucktragenden Gehäuse von Armaturen aus Stahl nach dem Tabellen- oder Berechnungsverfahren fest. EN 12516-3 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. EN 12516-4 legt Verfahren für die Berechnung der Wanddicke von drucktragenden Gehäusen von Armaturen aus anderen metallischen Werkstoffen als Stahl fest.

Das Berechnungsverfahren nach EN 12516-2 ist insoweit mit der früheren 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, [1]). Die zulässige Spannung wird auf der Grundlage der Werkstoffeigenschaften mit den in EN 12516-2 festgelegten Sicherheitsfaktoren errechnet. Nach den Gleichungen in EN 12516-2 gilt die Armatur als Druckbehälter, und es wird sichergestellt, dass keine übermäßige Verformung oder plastische Instabilität auftritt.

Das Tabellenverfahren nach EN 12516-1 ist insoweit mit ASME B 16.34 (siehe Literaturhinweise, [2]) 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 EN 12516-1 werden nach der Gleichung für den dünnen Zylinder wie auch in EN 12516-2 errechnet. Die in der Gleichung eingesetzte zulässige Spannung 120,7 MPa und der Betriebsdruck, p_c , in MPa, ändern sich in jeder PN- und Class-Bezeichnung. EN 12516-1 enthält diese p_c -Werte für alle tabellarischen PN- und Class-Bezeichnungen.

EN 12516-1 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 EN 12516-1 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 EN 12516-1:2014, 3.1 PN (Gehäuse)) 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 Grenzwerte 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 einfachen 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

Diese Europäische Norm legt das Verfahren zur Berechnung der Festigkeit des drucktragenden Gehäuses gegen den Innendruck der Armatur fest.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 19:2016, *Industriearmaturen — Kennzeichnung von Armaturen aus Metall* 

EN 1092-1:2018, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche* 

EN 1591-1:2013, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnung*

EN 10269:2013, *Stähle und Nickellegierungen für Befestigungselemente für den Einsatz bei erhöhten und/oder tiefen Temperaturen*

EN 12266-1:2012, *Industriearmaturen — Prüfung von Armaturen aus Metall — Teil 1: Druckprüfungen, Prüfverfahren und Annahmekriterien — Verbindliche Anforderungen*

EN 12266-2:2012, *Industriearmaturen — Prüfung von Armaturen aus Metall — Teil 2: Prüfungen, Prüfverfahren und Annahmekriterien — Ergänzende Anforderungen*

EN 13445-3:2014,¹ *Unbefeuerte Druckbehälter — Teil 3: Konstruktion* 

EN 16668:2016+A1:2018, *Industriearmaturen — Anforderungen und Prüfungen für Metallarmaturen als drucktragende Ausrüstungsteile* 

EN ISO 3506-1:2020, *Mechanische Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-1:2020)* 

1 Geändert durch EN 13445-3:2014/A1:2015, EN 13445-3:2014/A2:2016, EN 13445-3:2014/A3:2017, EN 13445-3:2014/A4:2018, EN 13445-3:2014/A5:2018, EN 13445-3:2014/A6:2019, EN 13445-3:2014/A7:2019 und EN 13445-3:2014/A8:2019.

3 Symbole und Einheiten

Die folgenden Symbole werden verwendet:



Tabelle 1 — Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Beschreibung
a_H	mm	Hebelarm für die horizontale Kraft
a_S	mm	Hebelarm für die Schraubenkraft
a_V	mm	Hebelarm für die vertikale Kraft
B	—	Berechnungsbeiwert zur Bestimmung der Flanschdicke
$B_{1...3}$	—	Berechnungsbeiwert für ovale und rechteckige Querschnitte
B_5	—	Korrekturfaktor für ovale Flansche
B_{FI}, B_{FII}	—	Berechnungsbeiwert für ebene runde Platten
B_h	—	Berechnungsbeiwert zur Bestimmung der Flanschdicke
B_{MI}, B_{MII}	—	Berechnungsbeiwert für ebene runde Platten
B_{PI}, B_{PII}	—	Berechnungsbeiwert für ebene runde Platten
b	mm	doppelte Flanschbreite
b_1	mm	kleinere Breite im ovalen und rechteckigen Querschnitt
b_2	mm	größere Breite im ovalen und rechteckigen Querschnitt
b_{D1}, b_{D2}	mm	Breite der Dichtung
b'_1	mm	Breite im ovalen und rechteckigen Querschnitt
b_D	mm	Breite der Dichtung
b_s	mm	effektive Breite für die Verstärkung
C_x, C_y, C_z	—	Berechnungsbeiwert für Deckel aus ebenen Platten
C	—	Berechnungsbeiwert für Linsendichtungen
c	mm	Konstruktionszuschlag für Schrauben
c_1	mm	Herstellungstoleranz
c_2	mm	standardisierter Korrosions- und Erosionszuschlag
d_o	mm	Außendurchmesser
d_o, d'_o	mm	Durchmesser im Grundkörper
d_{01}, d_{02}	mm	Durchmesser für selbstdichtenden Verschluss
d_1	mm	Durchmesser im Abzweig

Symbol	Einheit	Beschreibung
d_2	mm	Durchmesser im weiteren Abzweig
d_4	mm	Außendurchmesser des Bundflanschs
d_A	mm	Außendurchmesser der Platte/Deckel
d_a	mm	Außendurchmesser des Flansches
d_i	mm	Innendurchmesser
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 (siehe Bild 28)
d'_m	mm	mittlerer Durchmesser
d_D	mm	mittlerer Dichtungsdurchmesser
d_s	mm	erforderlicher Schraubendurchmesser
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	Elastizitätsmodul
E_D	MPa	Elastizitätsmodul des Dichtungswerkstoffes
e_n	mm	Wanddicke
e_{an}	mm	Wanddicke (endgültig/tatsächlich)
e_{acn}	mm	tatsächliche Wanddicke weniger c_1 und c_2
e_{acF}	mm	Dicke des Flanschansatzes
e_{cn}	mm	berechnete theoretische Mindestwanddicke, ohne c_1 und c_2
F_{DV}	N	Mindest-Schraubenkraft für den Einbauzustand
F_F	N	Flanschkraft
F_H	N	horizontale Bauteilkraft

Symbol	Einheit	Beschreibung
F_S	N	Schraubenkraft für Betriebszustände
F_{SB}	N	Mindest-Schraubenkraft
F_{S0}	N	Schraubenkraft für Einbauszustände
F_T	N	Zugkraft
F_V	N	vertikale Kraft auf dem Kegel
F_Z	N	Zusatzkraft
f	MPa	Nenn-Auslegungsspannung
f_d	MPa	Höchstwert der zulässigen Spannung für normale Lastfälle
$f_{d/t}$	MPa	Berechnungsnennspannung für Auslegungsbedingungen bei Temperatur t °C
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
$l_{0...3}$	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
$\cap l_3$	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)

Symbol	Einheit	Beschreibung
$M_{\max}$	Nm	maximales Biegedrehmoment
M_M	Nm	Randmoment
M_P	Nm	durch Innendruck ermitteltes Moment
M_r	Nm	Biegemoment in Radialrichtung
M_t	Nm	Biegemoment in Tangentialrichtung
m	—	Dichtungskennwert
n	—	Anzahl der Schrauben
n_1	—	Lastfaktor
p	MPa	Druck
p_c	MPa	Berechnungsdruck
p_d	MPa	Auslegungsdruck
p_F	MPa	Flächenpressung
PS	MPa	maximal zulässiger Druck
R	mm	Radius für die Berechnung der Lastfälle
R_{eH}	MPa	obere Streckgrenze
$R_{eH/t}$	MPa	obere Streckgrenze bei Temperatur t °C
R_i	mm	innerer Kugelschalenradius
R_m	MPa	Zugfestigkeit
$R_{m/t}$	MPa	Zugfestigkeit bei Temperatur t °C
$R_{m/T/t}$	MPa	Zeitstandfestigkeit über T Stunden bei Temperatur t °C
$R_{p0,2}$	MPa	0,2 %-Dehngrenze
$R_{p0,2/t}$	MPa	0,2 %-Dehngrenze bei Temperatur t °C
$R_{p0,2/t \text{ Test}}$	MPa	0,2 %-Dehngrenze bei Prüftemperatur t °C
$R_{p1,0/t \text{ Test}}$	MPa	1,0 %-Dehngrenze bei Prüftemperatur t °C
$R_{p1,0}$	MPa	1,0 %-Dehngrenze
$R_{p1,0/t}$	MPa	1,0 %-Dehngrenze bei Temperatur t °C
$R_{p1,0/T/t}$	MPa	1,0 %-Dehngrenze im Zeitstandversuch (Zeitdehngrenze) über T Stunden bei t °C
r	mm	Radius
r_0	mm	Radius für die Berechnung der Lastfälle
r_1	mm	Radius für die Berechnung der Lastfälle
r_o	mm	Außenradius

Symbol	Einheit	Beschreibung
r_i	mm	Innenradius
r_D	mm	Radius der Mitte der Auflageplatte für die Dichtung
r_F	mm	Radius zu F_1
S_D	—	Sicherheitsfaktor für den Dichtungswert
SF	—	Sicherheitsfaktor
s	mm	Schwerpunktabstand des halben Kreisringes von der Mittellinie
s_N	mm	Schweißnahtdicke
S_S	mm	Schwerpunkt
S_1, S_2	—	Schwerpunkt
s_1, s_2	mm	Schwerpunktabstand 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, W_I, W_{II}, W_{III}	mm ³	Flanschwiderstand
W_{avI}, 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		Koeffizient
Z_1	mm ³	Koeffizient
γ	°	Linsendichtungswinkel
α	—	Formfaktor
β	—	Berechnungsfaktor = α/δ
η	—	Bearbeitungsbeiwert
μ	—	Poissonzahl
δ	—	Verhältnis zwischen Schraubenkräften und Druckkräften
δ_1	—	Dehngrenzenverhältnis
φ	°	Winkel für Eckschweißungen

Symbol	Einheit	Beschreibung
φ_k	°	Winkel im Krepfenbereich
Φ	°	Winkel des Grundkörperabzweiges
Φ_A	°	Winkel für Gehäusekörper mit schrägem Abzweig
χ	—	vom Dichtungswerkstoff abhängiger Berechnungsfaktor
σ	MPa	Spannung in den Querschnitten oder Abzweigen
σ_{VU}	MPa	Minstdichtungskonstante der Einbaubedingung
σ_{VO}	MPa	maximale Dichtungskonstante der Einbaubedingung
σ_{BO}	MPa	maximale Dichtungskonstante der Betriebsbedingung
$\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$	MPa	Spannung im Querschnitt I, II, III

A1

4 Allgemeine Bedingungen für die Festigkeitsberechnung

Die Gleichungen (1) und (2) gelten hauptsächlich für statische Beanspruchungen durch Innendruck. Inwieweit diese Gleichungen auch bei schwelender 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 Bild 1a) und Bild 2);

c_1 die Herstellungstoleranz;

c_2 der standardisierte Korrosions- und Erosionszuschlag.

Die Werte für den Korrosionszuschlag sind:

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

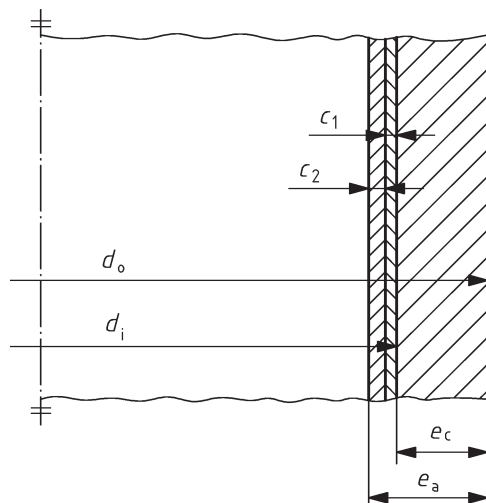
$c_2 = 0 \text{ mm}$ für alle anderen Stähle;

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

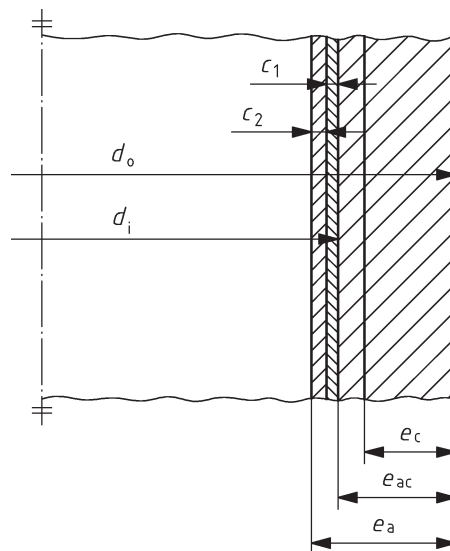
Bei der Überprüfung der Wanddicke vorhandener drucktragender Gehäuse müssen diese Zuschläge von der tatsächlichen Wanddicke abgezogen werden.

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

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



a) für Neuauslegung



b) für den Nachweis der bestehenden Wanddicke

A1

Legende

- e Wanddicke
- d Durchmesser
- a tatsächlich
- c berechnet
- i innen
- o außen
- $e_{ac} \geq e_c$
- $e_a \geq e_c + c_1 + c_2$

- c_1 Herstellungstoleranz
- c_2 Korrosionszuschlag
- e_c berechnete Wanddicke
- e_{ac} tatsächliche Mindestwanddicke weniger c_1 und c_2
- e_a tatsächliche Wanddicke

A1

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 Berechnungsnennspannungen für drucktragende Teile außer Schrauben

6.1 Allgemeines

A1 gestrichener Text **A1**

Die Berechnung der Prüfbedingungen ist freigestellt.



Tabelle 2 — Berechnungsnennspannungen (zulässige Spannungen)

Werkstoff	Auslegungsbedingungen	Kriechbedingungen	Prüf- und Einbauzustände ^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 und austenitischer Stahlguss nach 6.3 mit einer Bruchdehnung > 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 und austenitischer Stahlguss nach 6.4 mit einer Bruchdehnung > 35 %	$f = \max [R_{p1,0/t}/1,5; \min (R_{p1,0/t}/1,2; R_{m/t}/3,0)]$	$f = R_{m/100\,000/t}/1,5$	$f = R_{p1,0/t_{\text{test}}}/1,05$
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 6.2	$f = \min (R_{p0,2/t}/1,5; R_{m/20}/2,4)^a$	$f = R_{m/100\,000/t}/1,5$	$f = R_{p0,2/t_{\text{test}}}/1,05$
^a Die unmittelbar außerhalb der mittragenden Länge l_0 oder l_1 liegende Übergangszone darf mit dieser höheren Berechnungsnennspannung berechnet werden, wenn die Länge der Übergangszone $\geq 3 \cdot e_c$ 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.			



A1 Für die Auswahl des Werkstoffs gelten die relevanten Anforderungen von EN 16668. Bei Verwendung von Werkstoffen für drucktragende Gehäuse, die einer Mindestbruchdehnung von ≥ 14 % und einer minimalen Kerbschlagarbeit, gemessen an einer Charpy-V-Kerbschlagprobe, von ≥ 27 J entsprechen, müssen die Berechnungsnennspannungen (zulässige Spannungen) nach Tabelle 2 berechnet werden. Wird ein Werkstoff für die Schale in Betracht gezogen, der niedrigere Bruchdehnungswerte und/oder niedrigere Werte für eine Kerbschlagbiegeprüfung nach Charpy-V aufweist, so müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um diese niedrigeren Werte auszugleichen, und die spezifischen Anforderungen müssen nachweisbar sein. **A1**



ANMERKUNG Die Berechnungsnennspannungen dieses Abschnittes stimmen mit der Europäischen Richtlinie über Druckgeräte überein. Der Begriff „Berechnungsnennspannungen“ bedeutet „zulässige allgemeine Membranspannung“ im Rahmen dieser Europäischen Richtlinie für Druckgeräte. **A1**

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

Der Höchstwert der Berechnungsnennspannung 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 **[A1] Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung > 30 % [A1]**

Der Höchstwert der Berechnungsnennspannung 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.

6.4 **[A1] Austenitischer Stahl und austenitischer Stahlguss mit einer Mindestbruchdehnung > 35 % [A1]**

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

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

6.5 **Ferritischer und martensitischer Stahlguss**

Der Höchstwert der Berechnungsnennspannung 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 Berechnungsnennspannung 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 Berechnungsnennspannungen müssen mit der in diesem Abschnitt errechneten Berechnungsnennspannung verglichen werden, 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 dürfen 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 Bild 9 a) und Bild 9 b).

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 entsprechend Bild 1 b) abgezogen werden.

■ **A1** Die Berechnung erfordert zwei Schritte:

- die Berechnung der Wanddicke des Grundkörpers und der Abzweige außerhalb des Ausschnitts- oder Abzweigbereiches, siehe 7.2;
- die Berechnung der Wanddicke im Abzweigbereich, siehe 7.3.

Die Wanddicke des Abzweigbereiches ist unter Berücksichtigung des Gleichgewichts der Kräfte zu überprüfen, siehe 7.3. ■ **A1**

7.2 Wanddicke von Gehäusekörpern und Abzweigen außerhalb des Abzweigbereiches

7.2.1 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.

■ **A1** Die Werte für den Schweißfaktor k_c dürfen folgende Werte nicht überschreiten:

- 1 für Geräte, die zerstörenden und zerstörungsfreien Prüfungen unterzogen werden, die bestätigen, dass die gesamte Reihe der Verbindungen keine erheblichen Fehlstellen aufweist;

- 0,85 für Geräte, die stichprobenartigen zerstörungsfreien Prüfungen unterzogen werden;
- 0,7 für Geräte, die keinen zerstörungsfreien Prüfungen außer Sichtprüfungen unterzogen werden. $\langle A_1 \rangle$

Alle berechneten Wanddicken sind Wanddicken ohne Zuschläge.

- d_i = Innendurchmesser
- r_i = Innenradius
- d_o = Außendurchmesser
- r_o = Außenradius

7.2.2 Zylindrische Grundkörper oder Abzweige

$$d_o/d_i \leq 1,7$$

Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, muss das Verfahren 7.4.5, 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

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

$\langle A_1 \rangle$ Wenn $d_i = d_o - 2 \cdot e_c$, sind die Gleichungen (7) und (8) bzw. (9) und (10) gleichwertig. $\langle A_1 \rangle$

7.2.3 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

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

A1 Wenn $r_i = r_o - e_c$, sind die Gleichungen (11) und (12) bzw. (13) und (14) gleichwertig. **A1**

7.2.4 Kegelförmige Grundkörper oder Abzweige

$$e_a/d_o > 0,005 \quad (15)$$

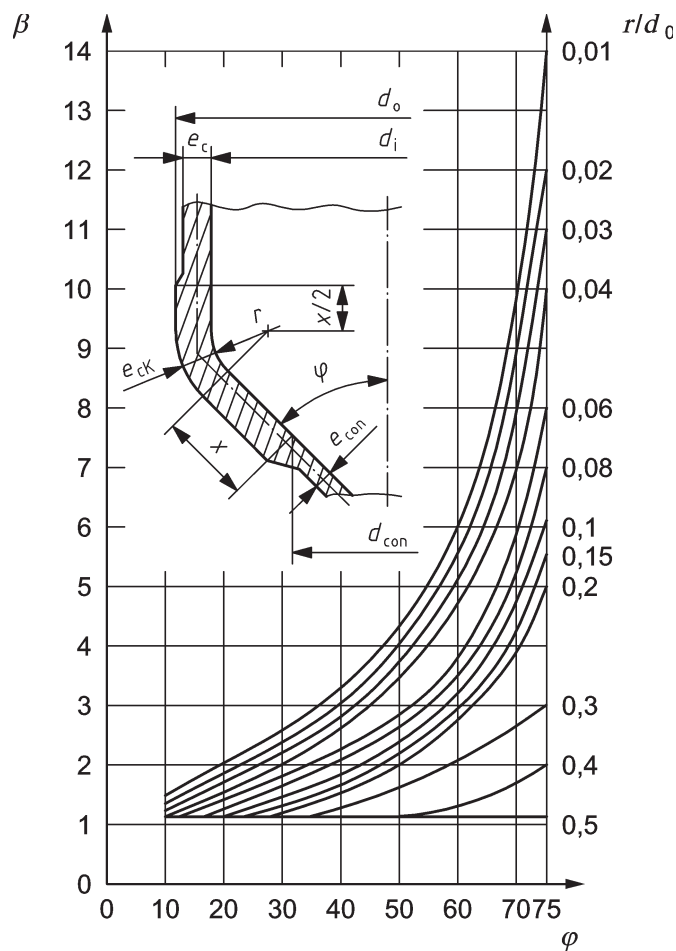


Bild 2 — Kegel-Berechnungswert

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

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

Wanddicke in der Krempe oder in einer Eck-Schweißung:

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

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

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

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

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

Bei Eckschweißungen, die bei Winkeln $\varphi \leq 30^\circ$, $e_{\text{CK}} \leq 20$ 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 Krempe und $\varphi > 70^\circ$ gilt:

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

Tabelle 3 — Kegel-Berechnungsbeiwert

Win- kel φ	β bei Verhältnis r/d_o												cos
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	φ
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 Wert, φ , ermittelt werden.

7.2.5 Grundkörper oder Abzweige mit ovalen oder rechteckigen Querschnitten

7.2.5.1 Allgemeines

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 Literaturhinweise, [3]).

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.

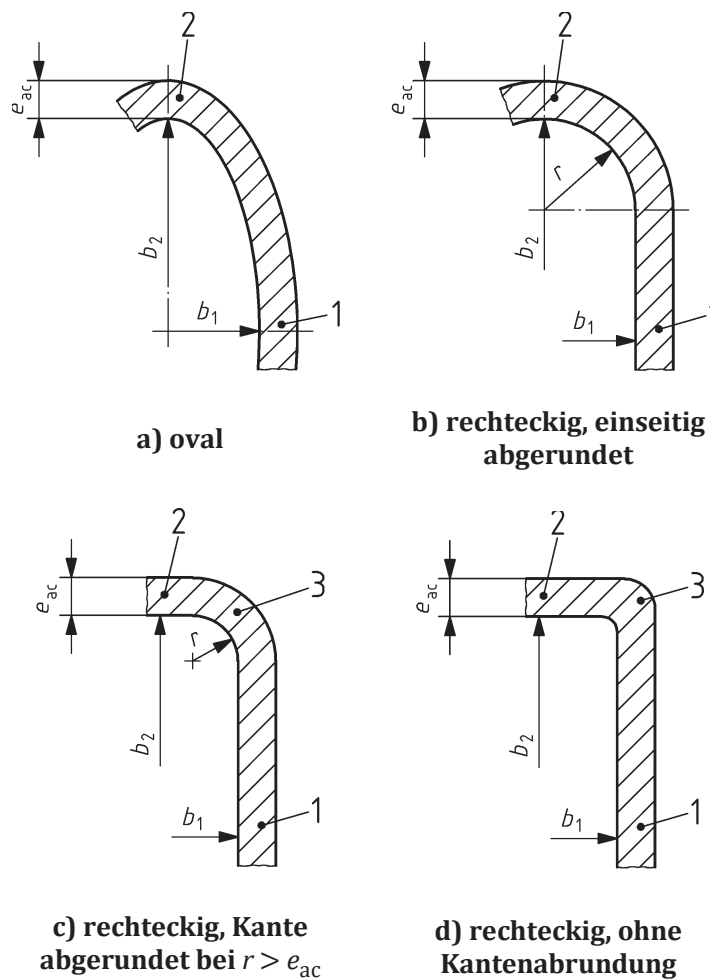


Bild 3 — Querschnitte

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

A1

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



ANMERKUNG 1 e_{c0} ist das Maximum von e_{cn} mit $n = 1, 2$ und 3 . A1

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.

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 A1 2 A1 Im Fall von Bild 3 b) ($b_1 = 2r$): $\varphi_k = 90^\circ$ und $B_{03} = 1$.

7.2.5.2 Ovale Querschnitte

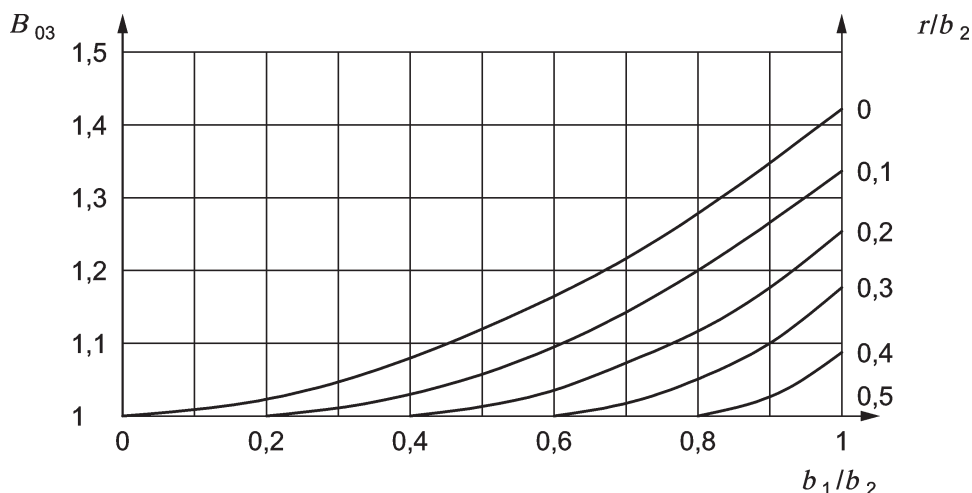


Bild 4 — Berechnungsbeiwert B_{03} , für Stelle 3

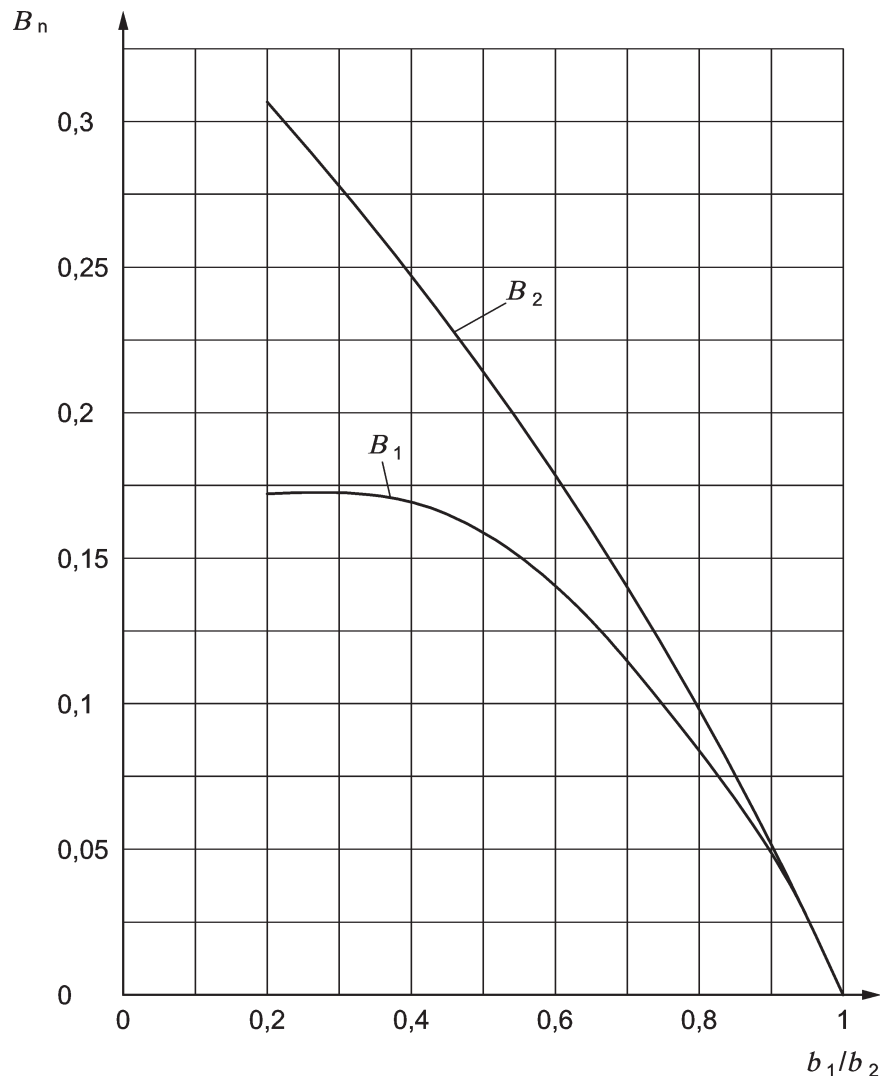


Bild 5 — Berechnungsbeiwert, B_n , für ovale Querschnitte

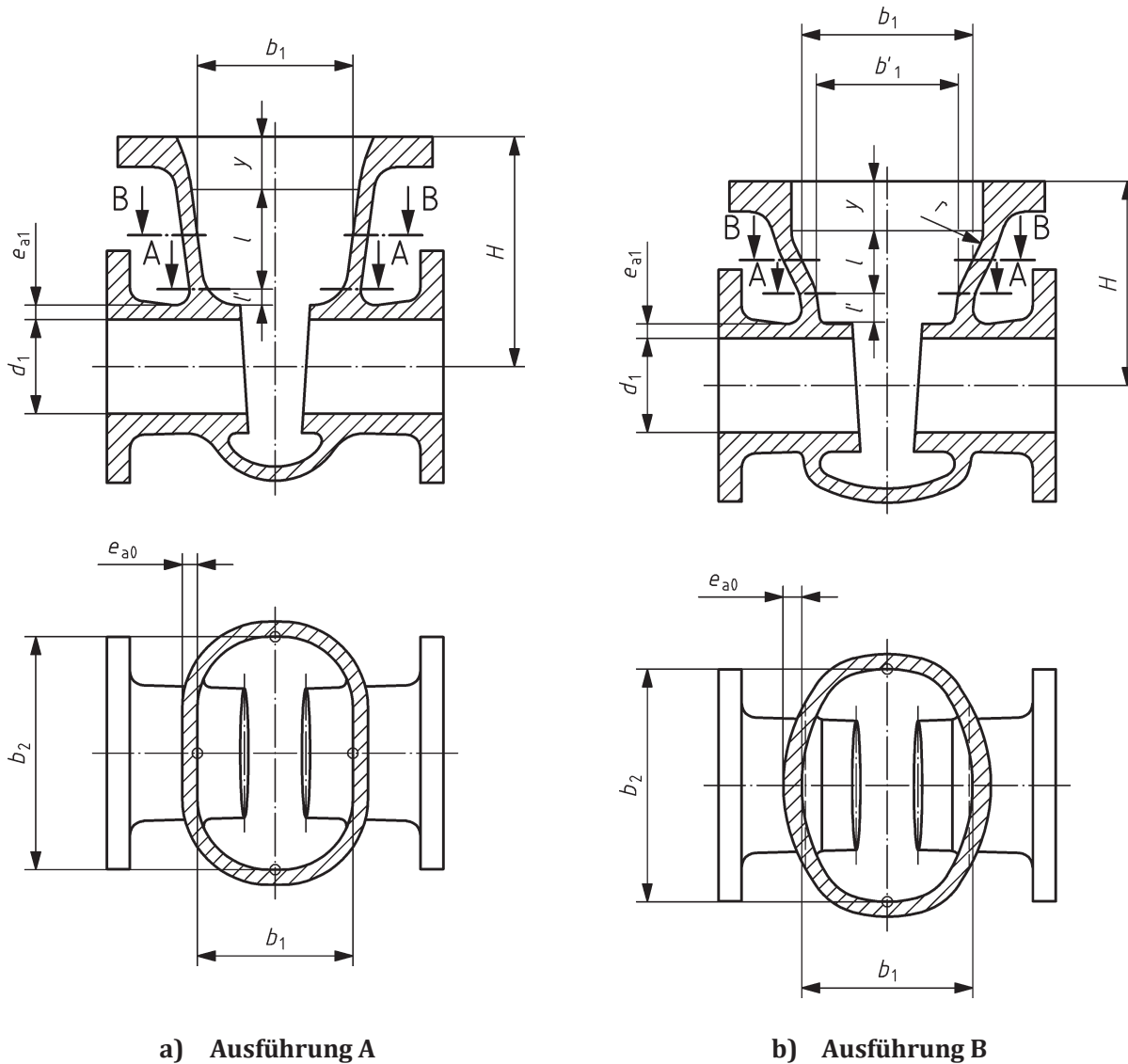


Bild 6 — Beispiele für Querschnittsveränderungen B-B in ovalen Grundkörpern

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_{a0} ist die an dieser Stelle vorhandene Wanddicke.

7.2.5.3 Rechteckige Querschnitte

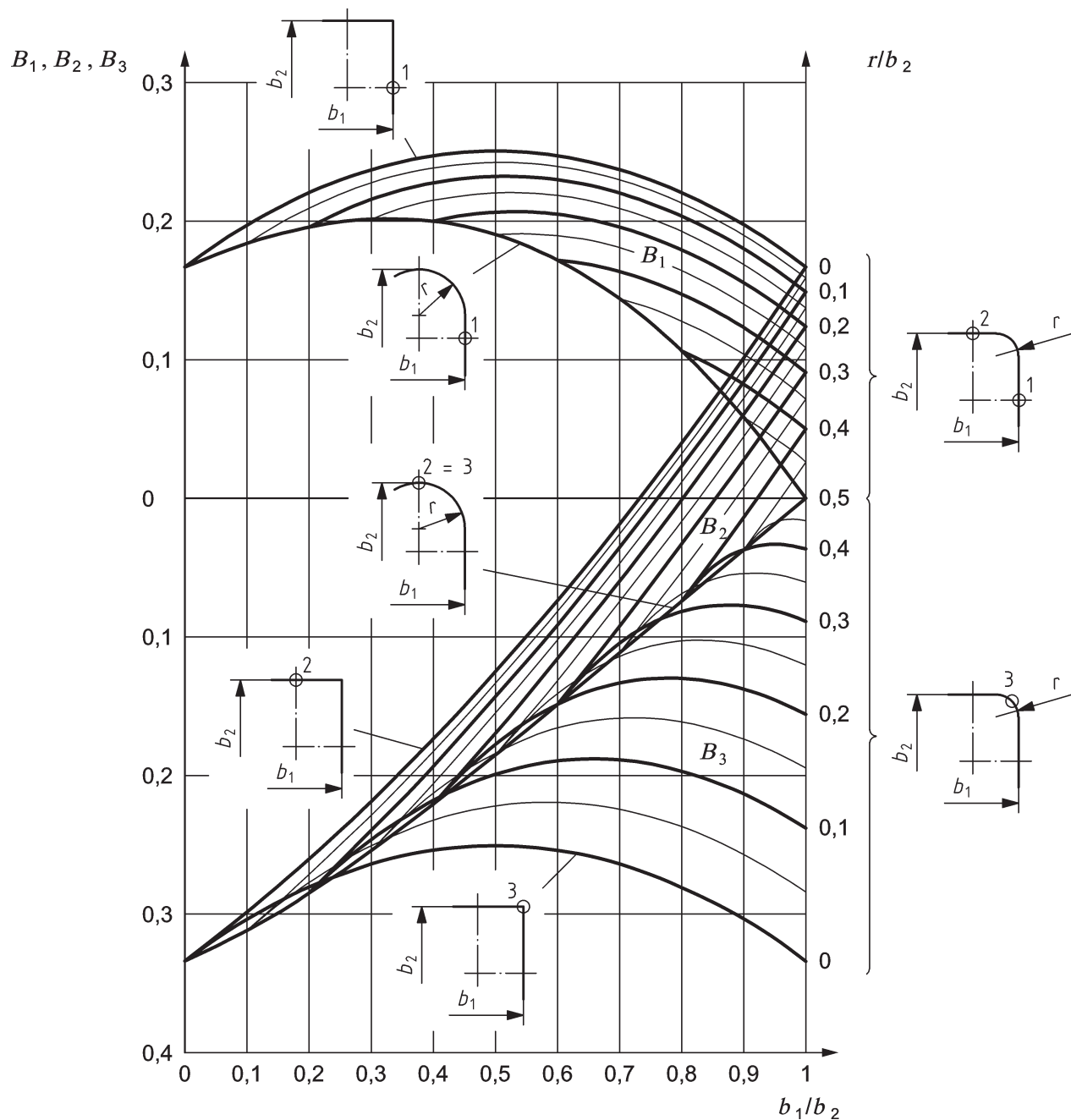


Bild 7 — Berechnungsbeiwert, B_n , für rechteckige Querschnitte

Die Berechnungsbeiwerte, B_n , für rechteckige Querschnitte sind für die zu betrachtenden Stellen 1 bis 3 in Bild 7 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:

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

[A1] Der Korrekturfaktor k ergibt sich analog zu dem Abklingverhalten der Beanspruchungen in Zylinderschalen unter Berücksichtigung experimenteller Untersuchungsergebnisse an nicht-kreisförmigen Gehäusen aus nachstehender Gleichung (39): **[A1]**

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

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

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

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

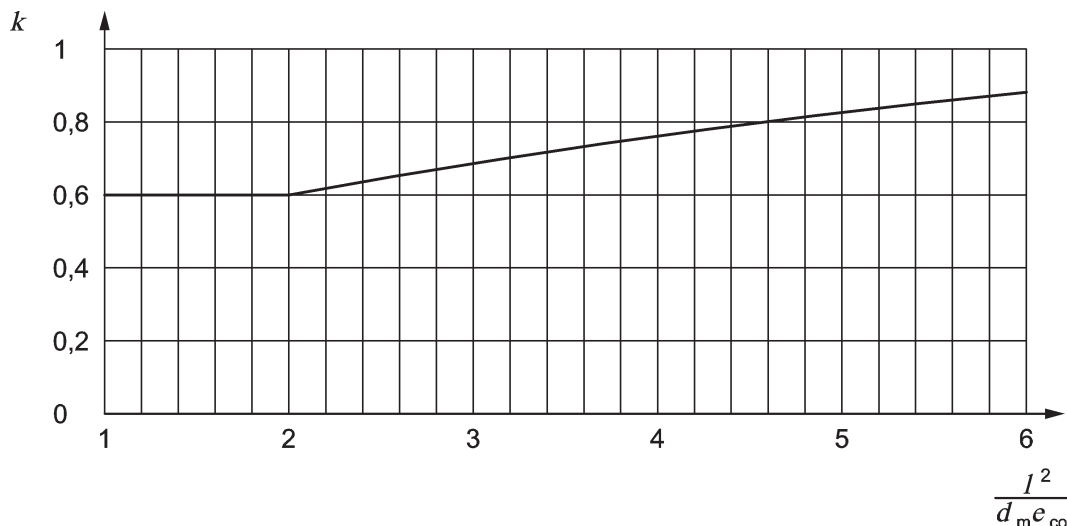


Bild 8 — Korrekturfaktor, k , für kurze Gehäusekörper

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.

7.3 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 Bild 9 bis Bild 20.

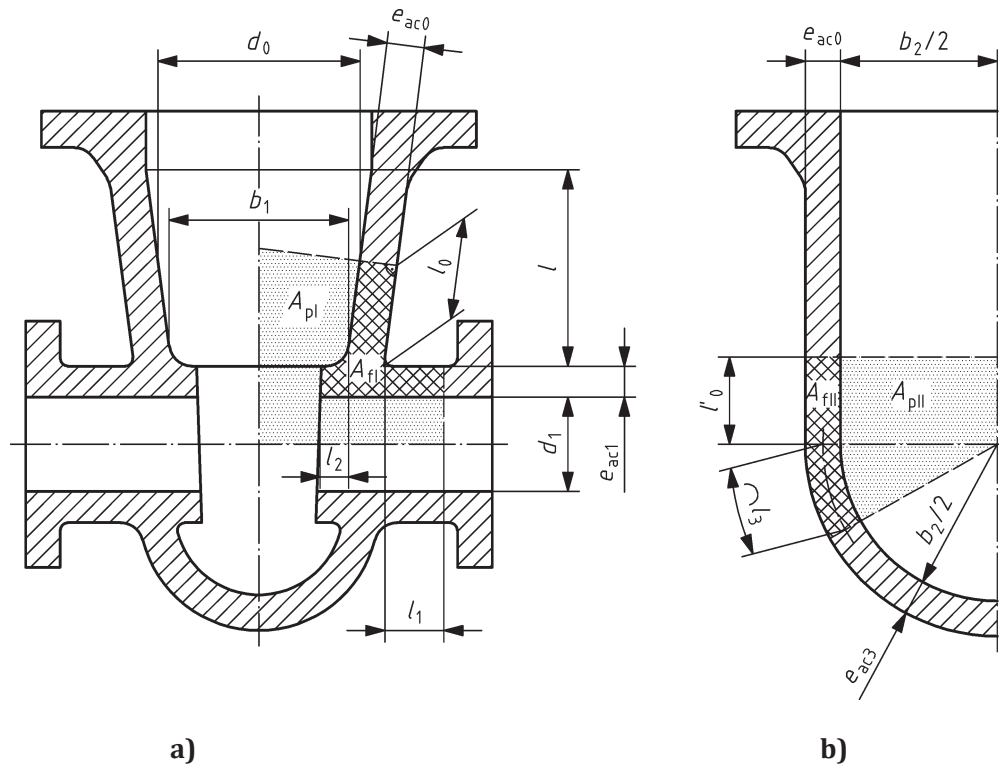


Bild 9 — Berechnungsschema im Abzweigbereich

Ⓐ Nach Bild 9 entspricht das Kräftegleichgewicht der Gleichung (41):

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

Dabei ist:

A_{pI} oder A_{pII} die druckbelastete Fläche;

A_{fI} oder A_{fII} die als Ausgleich wirkende Metall-Querschnittsfläche;

k_c der Schweißfaktor.

Die Flächen A_p und A_f werden durch die Mittellinien von Oberteil und Durchflussstrecke und durch die Abstände l bestimmt, siehe Bild 9 bis Bild 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	Durchmesser Verhältnis $d_1/d_0 < 0,7$ $p \cdot \left[\frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f$	(42)
nicht kreisförmiger Querschnitt	$p \cdot \left[\frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f/1,2$	(43)
	$p \cdot \left[\frac{A_{pII}}{A_{fII} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f/1,2$	(44)
kreisförmiger Querschnitt	Durchmesser Verhältnis $d_1/d_0 \geq 0,7$ $p \cdot \left[\frac{A_{pI}}{A_{fI} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f$	(45)
	$p \cdot \left[\frac{A_{pII}}{A_{fII} \cdot k_c} + \frac{1}{2} \right] \leq f$	(46)
kreisförmiger Querschnitt	Durchmesser Verhältnis $d_1/d_0 \geq 0,7$ and $e_{a1}/e_{a0} < d_1/d_0$ — Gleichung (45) — Gleichung (46) — zusätzlich gilt für Querschnitt II: (Bild 9 b)) $p \cdot \left[\frac{d_0 + e_{ac0}}{2 \cdot e_{ac0}} + 0,2 \cdot \frac{d_1 + e_{ac1}}{e_{ac1}} \cdot \sqrt{\frac{d_0 + e_{ac0}}{e_{ac0}}} \right] \leq 1,5 \cdot f$	(47)
nicht kreisförmiger Querschnitt	— Gleichung (43) — Gleichung (44) — zusätzlich gilt für Querschnitt II: $p \cdot \left[\frac{b_2 + e_{ac0}}{2 \cdot e_{ac0}} + 0,25 \cdot \frac{d_1 + e_{ac1}}{e_{ac1}} \cdot \sqrt{\frac{b_2 + e_{ac0}}{e_{ac0}}} \right] \leq 1,5 \cdot f$	(48)

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

7.4.1 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 Bild 10 bis Bild 20). Eingezogene Sitze, wie z. B. in Bild 10, dürfen nicht berücksichtigt werden. Wegen der geometrisch komplizierten Formen von Gehäusekörpern nach den Bild 10 bis Bild 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_p , einbezogen werden, wobei die auf diese Weise bestimmte Begrenzung auch die Begrenzung der Druckfläche darstellt (siehe z. B. Bild 9, Bild 10 und Bild 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)]

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

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

7.4.2 Zylindrische Gehäusekörper

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

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

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

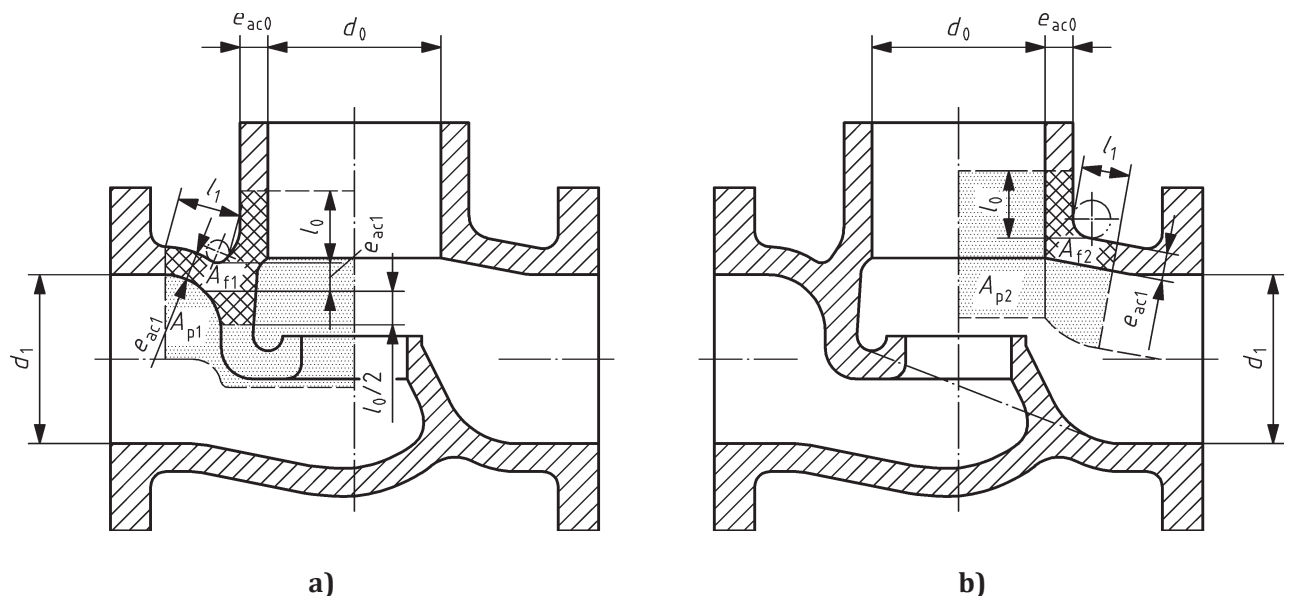


Bild 10 — Zylindrischer Gehäusekörper