

Armaturengehäuse

Festigkeitsberechnung gegen Innendruck

DIN

3840

Bodies of valves; calculation

Corps des appareils de robinetterie, calcul

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	7.1 Die erforderliche Wanddicke	7
2 Allgemeines zur Anwendung der Berechnungsverfahren	2	7.2 Berechnung der Gehäusekörper außerhalb der Ausschnitts- bzw. Abzweigbereiche ..	7
3 Einheiten und Formelzeichen	2	7.3 Gehäusekörper mit Abzweig	15
3.1 Einheiten	2	7.4 Abgrenzung zwischen der Berechnung gegen vorwiegend ruhende Innendruckbeanspruchung und der Berechnung gegen schwellende Beanspruchung	24
3.2 Formelzeichen und deren Bedeutung	2	7.5 Zusatzbeanspruchungen	26
4 Berechnungsdaten	4	8 Berechnung der Gehäuseabschlüsse bei vorwiegend ruhender Innendruckbeanspruchung	26
4.1 Berechnungsdruck	4	8.1 Flansche	26
4.2 Prüfdruck	4	8.2 Gewölbte Böden	36
4.3 Erhöhter Prüfdruck für Typprüfung von Serienarmaturen aus Gußeisen	4	8.3 Tellerböden	39
4.4 Berechnungstemperatur	5	8.4 Ebene Kreisplatten und Kreisringplatten ..	42
5 Zuschläge zur Wanddicke	5	8.5 Selbstdichtende Verschlüsse	51
6 Zulässige Beanspruchung	5	Zitierte Normen und andere Unterlagen	54
7 Berechnung der Gehäusekörper bei vorwiegend ruhender Innendruckbeanspruchung	7	Erläuterungen	56

1 Anwendungsbereich

1.1 Diese Norm gilt für die Festigkeitsberechnung drucktragender glatter (ohne Rippen) Gehäuseteile von Armaturen aus metallischen Werkstoffen. Als solche werden im Sinne dieser Norm die Gehäusegrundkörper und Gehäuse-Abschlüsse wie Böden, Deckel, Flansche und Sonderverschlüsse behandelt. Drucktragende Einbauten, z. B. Schieberplatten und Ventilkegel, sind sinngemäß zu behandeln.

1.2 Die Festigkeitsberechnung entsprechend den Festlegungen dieser Norm kann entfallen, wenn die Festigkeit der Bauteile mit einem anderen anerkannten Verfahren experimentell oder theoretisch nachgewiesen wird.

1.3 Für Serienarmaturen aus Gußeisen bis einschließlich Nennweite DN 400 kann an Stelle der Festigkeitsberechnung der Festigkeitsnachweis durch eine Typprüfung mit erhöhtem Prüfdruck nach Abschnitt 4.3 erbracht werden. Armaturen aus Gußeisen mit Nennweite größer DN 400 sind nach dieser Norm zu berechnen, sofern nicht Abschnitt 1.2 zutrifft.

1.4 Bei Verwendung von Armaturengehäusen in überwachungsbedürftigen Anlagen gelten über die in dieser Norm getroffenen Festlegungen hinaus die Anforderungen der jeweils zutreffenden technischen Regeln hinsichtlich der Werkstoffwahl, Herstellung, Verarbeitung sowie erstmaliger und wiederkehrender Prüfungen.

Fortsetzung Seite 2 bis 56

Normenausschuß Armaturen (NAA) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

2 Allgemeines zur Anwendung der Berechnungsverfahren

2.1 Die nachstehenden Berechnungsverfahren gelten für Schalen unter innerem Überdruck bis zu Durchmesser-Verhältnissen von 1,7 oder für Wanddicken bei Stahl ≤ 120 mm, bei Gußeisen ≤ 50 mm. Darüber hinausgehende Verhältnisse siehe Abschnitt 2.9

2.2 In den nachstehenden Gleichungen wird nur die Beanspruchung der Gehäuse durch den Innendruck berücksichtigt. Zusätzliche Belastungen siehe Abschnitt 7.5.

2.3 Die nachfolgenden Gleichungen gelten für vorwiegend ruhende Innendruckbeanspruchung. Inwieweit diese auch bei schwelloser Innendruckbeanspruchung zugrunde gelegt werden können, wird in Abschnitt 7.4 behandelt.

2.4 Betriebsverhältnisse mit Schwingungszahlen, die die in Abschnitt 7.4 genannten Grenzen überschreiten und solche mit zyklischen Wärmespannungen sind gesondert zu berücksichtigen. Berechnungsverfahren hierfür sind vorgesehen.

2.5 Der Festigkeitsberechnung bei vorwiegend ruhender Beanspruchung wird, wenn nichts anderes bemerkt ist, die mittlere Anstrengung $\bar{\sigma}_v$ in der Wandung im höchstbeanspruchten Gebiet zugrunde gelegt, wobei die Anstrengung nach der Schubspannungshypothese als Differenz aus der größten und kleinsten der in den drei Raumrichtungen wirkenden Hauptspannungen zu ermitteln ist. Dabei wird vorausgesetzt, daß der Werkstoff in der Lage ist, Spannungsspitzen durch örtlich begrenztes Fließen auszugleichen.

2.6 Die Anwendung dieser Berechnungsverfahren bei wenig verformungsfähigen Werkstoffen ist zulässig, wenn dem geringeren Verformungsvermögen durch einen höheren Sicherheitsbeiwert Rechnung getragen wird und die Wanddicke des Grundkörpers die unter Abschnitt 2.9 angegebenen Grenzen nicht überschreitet.

2.7 Eine unmittelbare Berechnung der Wanddicke der Gehäusekörper im Ausschnittsbereich ist meist nicht möglich. Die Maße werden ausgehend von den im ungestörten Bereich erforderlichen Wanddicken zunächst aufgrund von Erfahrungen angenommen. Sodann muß nachgeprüft werden, ob mit diesen Maßen die geforderte Festigkeitsbedingung erfüllt ist.

2.8 Bei der Konstruktion der Armaturgehäuse muß besonderer Wert auf sanfte Querschnittsübergänge gelegt werden. Scharfe Kerben mindern das Verformungsvermögen und können zu Brüchen führen. (Die Darstellungen geben keine Konstruktionshinweise, sondern dienen nur zur Erläuterung der Berechnung.)

2.9 Sind größere Durchmesser-Verhältnisse als 1,7 oder Wanddicken bei Stahl über 120 mm und bei Gußeisen über 50 mm nicht zu umgehen, sind ergänzende Maßnahmen in bezug auf Werkstoffauswahl, konstruktive Gestaltung, rechnerische oder experimentelle Untersuchungen, Schweißtechnik sowie anlagenseitige Belastungsart zufolge von Transienten (kurzzeitige instationäre Änderungen von Druck und Temperatur) zu treffen.

3 Einheiten und Formelzeichen

3.1 Einheiten

Größe	Einheiten
Längen	mm
Flächen	mm ²
Widerstandsmomente	mm ³
Kräfte	N
Kraftmomente	N · mm
Drücke	N/mm ²
Spannungen	N/mm ²
Elastizitätsmodul	N/mm ²
Temperaturen	°C

3.2 Formelzeichen und deren Bedeutung

a (mit Index)	Abstand, Hebelarm
b (mit Index)	Breite
$b_1; b_2$	lichte Weiten von Oval- bzw. Vierkantquerschnitten
c (mit Index)	Zuschläge zur Wanddicke
d (mit Index)	Durchmesser
d_0	lichter Durchmesser des Grundkörpers (größter Durchmesser des Armaturengehäuses)
d_1	lichter Durchmesser des Gehäuseabzweiges (Ausschnitt)
$e_1; e_2$	Schwerpunktabstände
f (mit Index)	Längenmaß

f_1	Traglastfaktor für Verstärkungsscheiben
f_L	Lebensdauererlängerungsfaktor
$g_1; g_2$	Schweißnahtdicken von Kehlnähten
h (mit Index)	Höhen, Plattendicken
k	Korrekturfaktor
k_E	Modul des elliptischen Integrals
k_0	Dichtungskennwert für die Vorverformung
k_B	Dichtungskennwert für den Betriebszustand
l (mit Index)	tragende Längen der Wandung
$m_1; m_2$	Halbachsen einer Ellipse, halbe Rechteckseiten
n	Anzahl der Schrauben
p	Berechnungsdruck
p_N	Nennndruck (PN)
p'	Prüfdruck
p''	erhöhter Prüfdruck bei Typprüfung für Serienarmaturen
r (mit Index)	Radien
s (mit Index)	Wanddicken mit Zuschlägen und Verschwächung
s_e	ausgeführte Wanddicke
s_V	Mindestwanddicke (ohne Zuschläge) mit Verschwächung
t	Teilung
v_N	Schweißnahtwertigkeit
x	Abklinglänge
y	zylindrischer Anteil in Ovalekörpern
A_5	Bruchdehnung (Meßlänge 5 X Stabdurchmesser)
A_p	drucktragende Fläche
A_0	tragende Querschnittsfläche
B (mit Index)	Berechnungsbeiwerte
C	Wirksamkeit einer Randverstärkung
D	Plattensteifigkeit
E	Elastizitätsmodul
E'	Elliptisches Integral
F (mit Index)	Einzelkraft
H	Mittenabstand Gehäusegrundkörper-Abzweig
K	Festigkeitskennwert, allgemein
K'	Elliptisches Integral
K_D	Formänderungswert des Dichtungswerkstoffes
M (mit Index)	Kraft-Moment
M' (mit Index)	Kraftmoment auf Längeneinheit bezogen
N	zulässige Schwingspielzahl
P	Last je Flächeneinheit
P_S	Schwerpunkt
R (mit Index)	Radien einer Wölbung
S (mit Index)	Sicherheitsbeiwert bei Betriebsbeanspruchung
S'	Sicherheitsbeiwert bei Prüfdruck
U (mit Index)	Umfang
W	Widerstandsmoment
Z (mit Index)	Zahlenwert
α	Winkel
α_K	Spannungskonzentrationsbeiwert
β	Berechnungsbeiwert für kegelförmige Wandungen und Böden
δ	Dehngrenzenverhältnis

η	Gütwert der Schraubverbindung
ϑ	Berechnungstemperatur
κ	Rechnungsbeiwert für die Schraubenkraft
φ (mit Index)	Winkel
ψ	Winkel
σ (mit Index)	Normalspannung
σ_v	Vergleichsspannung
σ_{zul}	zulässige Spannung = $\frac{K}{S}$
τ	Schubspannung
$\check{R}_p; \check{R}_{p0,2}$	Mindeststreckgrenze bei 20 °C
$\check{R}_m$	Mindestzugfestigkeit bei 20 °C
$\check{R}_{p0,2/\vartheta}$	Mindeststreckgrenze bei Berechnungstemperatur ϑ
$\check{R}_{p1/\vartheta}$	1 %-Dehngrenze (Mittelwert) bei Berechnungstemperatur ϑ
$\check{R}_{m/\vartheta}$	Mindestzugfestigkeit bei Berechnungstemperatur ϑ
$\bar{R}_{m/h/\vartheta}$	Zeitstandfestigkeit für Stunden bei der Temperatur ϑ (Mittelwert)
$\check{R}_{m/h/\vartheta}$	Zeitstandfestigkeit für Stunden bei der Temperatur ϑ (Mindestwert = 0,8 · Mittelwert)

Indizes

a	außen	A	Ausschnitt
b	Biegung	B	Boden; Betrieb
i	innen	D	Dichtung
l	längs	F	Flansch
r	radial	K	Krempe
t	Verdrehung	L	Loch
u	Umfang	R	Rohr
0	Grundkörper	S	Schraube
1; 2	Abzweig		

Weitere Symbole

$\wedge$	maximal (z. B. $\hat{\sigma}$)
$\vee$	minimal (z. B. $\check{\sigma}$)
—	mittel (z. B. $\bar{\sigma}$)

4 Berechnungsdaten

Armaturen werden vorzugsweise für die in DIN 2401 Teil 1 angegebenen Nenndruckstufen gebaut. Mit Hilfe der Festigkeitsberechnung muß dann nachgeprüft werden, welche Nenndruckstufe der Festigkeitsberechnung genügt. Für einzelne Armaturen ist es aber auch üblich, die Armaturen unabhängig von den Nenndruckstufen unmittelbar für die jeweiligen Betriebsverhältnisse bzw. die jeweiligen Auslegungsdaten zu berechnen.

4.1 Berechnungsdruck

Als Berechnungsdruck p ist der zulässige Betriebsüberdruck einzusetzen. Dabei sind eventuell auftretende Druckstöße und fehlender Druckausgleich in geschlossenen Räumen zu berücksichtigen. Wird ein Armaturengehäuse als Regelorgan mit verschiedenen Drücken im Eintritt und Austritt belastet, muß die Rechnung mit dem jeweils höchsten zulässigen Betriebsüberdruck durchgeführt werden.

4.2 Prüfdruck

Die Höhe des Prüfdruckes beträgt üblicherweise wenn nicht nach Abschnitt 1.4 eine andere Regelung gilt:

$$p' = 1,5 \cdot p_N \quad \text{oder} \quad p' = 1,3 \cdot p \quad (1)$$

Falls dieser Prüfdruck oder ein zwischen Hersteller und Besteller vereinbarter Prüfdruck höher ist als

$$p \frac{\sigma_{zul} \text{ Prüfzustand}}{\sigma_{zul} \text{ Betriebszustand}} \quad (2)$$

muß die Festigkeitsberechnung zusätzlich mit dem Prüfdruck und den für den Prüfdruck geltenden Festigkeitswerten und Sicherheitsbeiwerten durchgeführt werden.

4.3 Erhöhter Prüfdruck für Typprüfung und Serienarmaturen aus Gußeisen

Als erhöhter Prüfdruck für die unter Abschnitt 1.3 erwähnte Typprüfung für Serienarmaturen aus Gußeisen bis einschließlich DN 400 gilt:

$$p'' = 1,5 \cdot S'' \cdot p_N$$

wobei S'' abhängig vom Werkstoff wie folgt festgelegt ist:

Gußeisen mit Lamellengraphit, alle Sorten:	$S'' = 3,5$
GGG-40:	$S'' = 1,7$
GGG-40,3:	$S'' = 1,5$
GGG-50:	$S'' = 2,0$

Diesen erhöhten Prüfdrücken muß das Armaturengehäuse ohne erkennbare Mängel standhalten.

Für Armaturengehäuse in überwachungsbedürftigen Anlagen gilt als erhöhter Prüfdruck:

$$p'' = S \cdot p$$

mit S als Sicherheitsbeiwert gegen $\check{R}_m$ nach Tabelle 1.

4.4 Berechnungstemperatur

Als Berechnungstemperatur ϑ ist bei den vom Beschickungsmittel beaufschlagten Bauteilen die Temperatur des Beschickungsmittels maßgebend. Falls konstruktions- oder betriebsbedingt niedrigere Temperaturen in den Bauteilen herrschen, sind diese den Berechnungen zugrunde zu legen. Dabei kann für nicht integrale Bestandteile (z. B. Sperringe in selbst-dichtenden Verschlüssen, Schrauben) ohne Nachweis die Berechnungstemperatur gegenüber der des Beschickungsmittels um 20 °C abgesenkt werden.

Ist die Auslegungstemperatur niedriger als 20 °C gilt als Berechnungstemperatur $\vartheta = 20$ °C 1).

5 Zuschläge zur Wanddicke

Die nach den folgenden Festlegungen errechneten Wanddicken bzw. die der Festigkeits-Nachrechnung zugrunde zu legenden Wanddicken sind Mindestwerte. Plattierungen bleiben hierbei unberücksichtigt.

Je nach Betriebsbedingungen kann es erforderlich werden, die Mindestwanddicken um Zuschläge c zu vergrößern.

5.1 Ein Herstellungs-Toleranzzuschlag c_1 ist vom Hersteller aufgrund seiner Erfahrungen festzulegen und in der Zeichnung als Mindestwanddicke zu kennzeichnen.

5.2 Ein Abnutzungszuschlag c_2 beträgt bei ferritischen Stählen allgemein $c_2 = 1$ mm, wenn $s_V \leq 30$ mm ist. Darüber hinausgehende Zuschläge sind zwischen Hersteller und Besteller zu vereinbaren und in der Zeichnung zu vermerken.

6 Zulässige Beanspruchung

6.1 Für die Bemessung aufgrund vorwiegend ruhender Beanspruchung ist die zulässige Spannung σ_{zul} maßgebend. Sie ergibt sich nach Gleichung (4) zu

$$\sigma_{zul} \leq \frac{K}{S} \quad (4)$$

Dabei ist derjenige in Tabelle 1 angeführte, für die Berechnungstemperatur ϑ geltende Festigkeitskennwert K maßgebend, der mit dem jeweils geforderten Sicherheitsbeiwert S die geringste zulässige Beanspruchung ergibt.

6.2 Bei begrenzten Einsatzzeiten können in begründeten Fällen Zeitstandwerte für geringere Zeiten, jedoch nicht weniger als 10 000 Stunden, mit $S = 1,5$ vereinbart werden 2).

Zwischenwerte der Zeitstandfestigkeit werden durch lineare Interpolation im doppelt logarithmischen System ermittelt.

6.3 Bei austenitischen Stählen gelten als Festigkeitskennwerte für die Berechnung die in DIN 17 440 angegebenen 1%-Dehngrenzen bis 50 mm Dicke oder 160 mm Durchmesser, die in SEW 400 angegebenen 1%-Dehngrenzen jedoch nur bis 20 mm Dicke oder bis 100 mm Durchmesser.

6.4 Die Schweißnahtwertigkeit v_N ist abhängig von der konstruktiven Anordnung der Naht, dem Werkstoff und dem Prüfumfang. Sie beträgt $v_N = 0,80$ bis $v_N = 1,0$. Die Schweißnahtausführung muß den im Abschnitt 1.4 genannten Technischen Regeln entsprechen.

6.5 Vollbeanspruchte Schweißnähte in Bauteilen, die mit Hilfe der Zeitstandfestigkeit bemessen werden, sind mit dem um mindestens 20 % herabgesetzten Festigkeitskennwert des Grundwerkstoffes zu berechnen, es sei denn, Zeitstandwerte der Schweißnahtverbindung liegen vor.

1) Bei Wandtemperaturen unter -10 °C sind die Zähigkeitseigenschaften der Stähle besonders zu beachten. Es sind dann bevorzugt alterungsbeständige Stähle oder Stähle mit besonderen Kaltzähigkeitseigenschaften zu verwenden. Angaben über Stähle für tiefe Temperaturen siehe Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 680 bzw. für kaltzähem Stahlguß siehe Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 685.

Angaben über Einsatz von Stählen für tiefe Temperaturen siehe AD-Merkblatt W 10.

Angaben über alterungsbeständige Stähle siehe DIN 17 135.

2) Bei Lebensdauerbetrachtungen mit $S = 1,0$ beträgt die Mindestzeit 100 000 Stunden.

6.6 Die Sicherheitsbeiwerte S und S' sind in Tabelle 1 enthalten. Bei Anschweißenden an Gehäusekörpern aus Stahlguß kann der sich außerhalb der mittragenden Länge l_0 bzw. l_1 anschließende Übergang mit einem Sicherheitsbeiwert $S = 1,5$ berechnet werden, wenn die Übergangslänge $\geq 3 \cdot s_V$, jedoch mindestens 50 mm ist und der Übergangswinkel $\leq 30^\circ$ beträgt. Voraussetzung hierfür ist Gütestufe 1 nach DIN 17 245 und die ausreichende Bemessung gegen den Prüfzustand.

Tabelle 1. Sicherheitsbeiwerte S und S' zugeordnet zum Festigkeitskennwert K

Werkstoff	Zustand	A_5 %	Sicherheitsbeiwert S bei Rechnung gegen					Sicherheitsbeiwert S' beim Prüfdruck
			$\check{R}_m$	$\check{R}_p; \check{R}_{p0,2}/\check{\sigma}$	$\bar{R}_{p1}/\check{\sigma}$	$\bar{R}_m/100000/\check{\sigma}$	$\check{R}_m/200000/\check{\sigma}$	
Walz- und Schmiedestahl	a)	16	2,4	1,5	1,5 ³⁾	1,5	1,0	1,1
	b)		2,8	1,8				1,35
Stahlguß	a), c)	15	3,2	2,0	—	2,0	—	1,5
	b), c)		3,8	2,5	—	—	—	1,9
Anschweißenden an Stahlguß (siehe Abschnitt 6.6)	a), c)	15	2,4	1,5	—	1,5	—	—
Gußeisen mit Kugelgraphit								
GGG-35.3	c)	22	4,8	3,0	—	—	—	1,5
GGG-40.3	c)	18	4,8	3,0	—	—	—	1,5
GGG-40	d)	15	7,2	4,5	—	—	—	1,7
GGG-50	d)	7	8,0	5,0	—	—	—	2,0
Gußeisen mit Lamellengraphit	d)	—	9,0	—	—	—	—	3,5
Zustände: a) Abnahmeprüfzeugnis DIN 50 049 — 3.1 A bis 3.2 C b) Werksbescheinigung DIN 50 049 — 2.1 Werkszeugnis DIN 50 049 — 2.2 Werksprüfzeugnis DIN 50 049 — 2.3 c) gegläht bzw. gleichwertige Behandlung bei größeren Gußstücken d) ungegläht								
³⁾ Für austenitische Stähle siehe Abschnitt 6.3.								

7 Berechnung der Gehäusekörper bei vorwiegend ruhender Innendruckbeanspruchung

Die Gehäusekörper können aufgefaßt werden als ein Grundkörper aus einer geometrisch bestimmaren Struktur mit Ausschnitten bzw. Abzweigen und Abzweigdurchdringungen. Die Berechnung der Wanddicken umfaßt daher einmal den außerhalb des vom Ausschnitt beeinflussten Bereiches liegenden Grundkörperteil und zum anderen den Ausschnittsbereich selbst. Als Grundkörper des Gehäusekörpers wird dabei der Teil angesehen, der den größeren Durchmesser aufweist, so daß gilt $d_0 \geq d_1$ bzw. $b_2 \geq d_1$.

Der Übergang unterschiedlicher Wanddicken soll stetig verlaufen. Dieses gilt auch für die Angleichung der Gehäusegrundkörperwanddicke s_0 bzw. der Abzweigwanddicke s_1 an die anschließende Rohrwanddicke s_R , die mindestens auf einer Länge von $2 \cdot s_0$ bzw. $2 \cdot s_1$ erfolgen soll.

7.1 Die erforderliche Wanddicke

Für die Gesamtwanddicke mit Zuschlägen gilt:

$$s_0 = s_{V0} + c_1 + c_2 \quad \text{bzw.} \quad (5)$$

$$s_1 = s_{V1} + c_1 + c_2 \quad (6)$$

wobei s_0 bzw. s_{V0} für den Grundkörper und s_1 bzw. s_{V1} für anschließende Abzweige gilt.

Für die Nachrechnung ausgeführter Bauteile mit den effektiven Wanddicken s_{e0} bzw. s_{e1} ist zu setzen:

$$s_{V0} = s_{e0} - c_1 - c_2 \quad (7)$$

$$s_{V1} = s_{e1} - c_1 - c_2 \quad (8)$$

7.2 Berechnung der Gehäusekörper außerhalb der Ausschnitts- bzw. Abzweigbereiche

Die geometrische Struktur der Grundkörper der Armaturengehäuse kann zylindrisch, kugelig, kegelförmig, oval oder rechteckig sein. Entsprechend lassen sich die Wanddicken im ungestörten Bereich der Körper ermitteln.

7.2.1 Zylindrische Grundkörper ohne Ausschnitte

Die Wanddicke ohne Zuschläge beträgt bei einem Durchmesser Verhältnis $d_a/d_i \leq 1,7$:

$$s_V = \frac{d_i \cdot p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N} \quad \text{oder} \quad (9)$$

$$s_V = \frac{d_a \cdot p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N + 2 p} \quad (10)$$

Gleichung (9) und (10) liefern nur gleiche Werte, wenn $d_i = d_a - 2 s_V$ gesetzt wird.

v_N ist die Wertigkeit der Längsschweißnaht.

7.2.2 Kugelige Grundkörper ohne Ausschnitte

Die Wanddicke ohne Zuschläge beträgt bei einem Durchmesser Verhältnis $d_a/d_i \leq 1,2$

$$s_V = \frac{r_i \cdot p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N} \quad \text{oder} \quad (11)$$

$$s_V = \frac{r_a \cdot p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N + p} \quad (12)$$

Bei $1,2 \leq d_a/d_i \leq 1,5$ sind folgende Gleichungen anzuwenden:

$$s_V = r_i \left[\sqrt{1 + \frac{2 p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N}} - 1 \right] \quad \text{oder} \quad (13)$$

$$s_V = r_a \frac{\sqrt{1 + \frac{2 p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N}} - 1}{\sqrt{1 + \frac{2 p}{(2 \sigma_{zul} - p) v_N}}} \quad (14)$$

Gleichung (11) bis (14) liefern nur gleiche Ergebnisse, wenn $r_i = r_a - s_V$ gesetzt wird.

v_N trägt einer im berechneten Querschnitt eventuell vorhandenen Schweißnaht Rechnung.

7.2.3 Grundkörper mit kegelförmiger Wandung ohne Ausschnitte

Für die Bemessung der Wanddicken ohne Zuschläge in kegelförmigen Mänteln mit $(s_e - c_1 - c_2)/d_a > 0,005$ sind die in der Krempe oder einer Rundnaht am weiteren Ende auftretenden Biegebeanspruchungen in Richtung der Mantellinie und die am weiteren Ende des kegelförmigen Teiles außerhalb der Krempe auftretende Beanspruchung in Umfangsrichtung maßgebend.

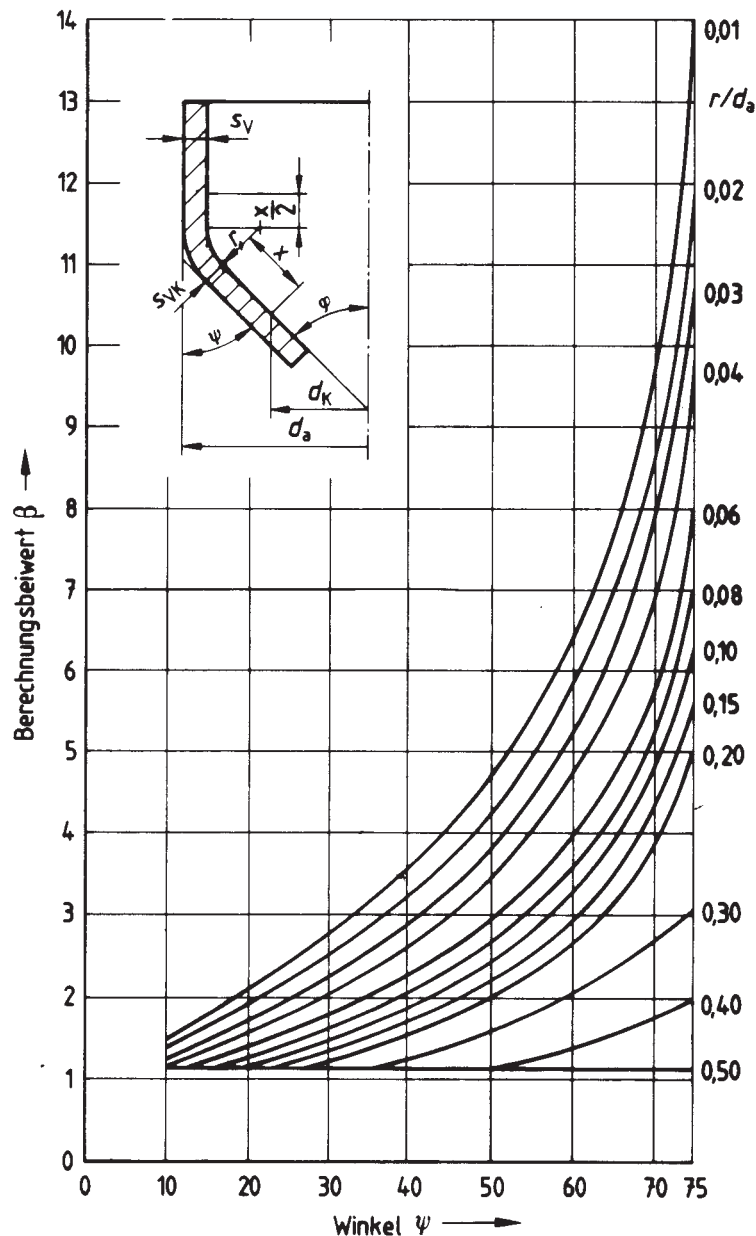


Bild 1. Berechnungsbeiwert β für Krempe von kegelförmigen Mänteln

7.2.3.1 Wanddicke in der Krempe bzw. einer Eck-Schweißung:

$$s_{VK} = \frac{d_a \cdot p \cdot \beta}{4 \sigma_{zul} \cdot v_N} \quad (15)$$

Der Berechnungsbeiwert β ergibt sich abhängig vom Verhältnis Krempenradius r zu Durchmesser d_a am weiten Ende und dem Winkel ψ aus Bild 1 bzw. Tabelle 2.

Die nach Gleichung (15) ermittelte Wanddicke ist auch außerhalb der Krempe im Bereich

$$x = \sqrt{d_a \cdot (s_e - c_1 - c_2)}$$

bzw. $0,5 \cdot x$ erforderlich (siehe Bild 1).

v_N ist der Bewertungsfaktor für eine in der Krempe oder im Krempeneinflußgebiet liegende Schweißnaht.

Wenn zwei kegelige Mäntel mit unterschiedlichen Neigungswinkeln aneinandergesetzt werden, ist zur Bestimmung von β der zwischen dem steileren und flacheren Kegelschuß auftretende Winkel ψ maßgebend.

Bei Eckschweißungen, die bei Winkel $\psi \leq 30^\circ$, $s_e \leq 20$ mm und doppelseitig geschweißter Naht zulässig sind, ist der Berechnungsbeiwert β ersatzweise für das Verhältnis $r/d_a = 0,01$ aus Bild 1 abzulesen. Gleichzeitig ist hierfür Abschnitt 7.2.3.2 zu berücksichtigen.

Tabelle 2. Berechnungsbeiwert β für kegelförmige Mäntel und Zahlenwerte $\cos \varphi$

Winkel φ bzw. ψ	β bei Verhältnis r/d_a												$\cos \varphi$
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4	0,5	
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

7.2.3.2 Die erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge im Kegelmantel ergibt sich bei Betrachtung der Beanspruchung in Umfangsrichtung aus:

$$s_V = \frac{p \cdot d_K}{2 \sigma_{zul} v_N - p} \cdot \frac{1}{\cos \varphi} \quad (16)$$

Der Durchmesser d_K ist bei Eckschweißungen gleich dem Innendurchmesser am weiten Ende. Bei Krempe wird eine Stützwirkung durch Berücksichtigung der Abklinglänge x berücksichtigt, die jedoch die halbe Mantellänge nicht übersteigen darf. v_N trägt einer in Meridianrichtung verlaufenden Schweißnaht Rechnung.

7.2.3.3 Bei flachen Kegeln mit Krempe und $\varphi > 70^\circ$ beträgt die erforderliche Wanddicke ohne Zuschläge

$$s_V = 0,3 (d_a - r) \frac{\varphi}{90} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{zul} \cdot v_N}} \quad (17)$$

7.2.4 Grundkörper mit Oval- bzw. Vierkantquerschnitten ohne Abzweig

7.2.4.1 Bei ovalförmigen Querschnitten (siehe Bild 2 a) und Vierkantausführungen mit und ohne Abrundungen der Kanten (siehe Bilder 2 b bis 2 d) sind die in den Wandungen bzw. in den Kanten auftretenden zusätzlichen Biegebeanspruchungen zu berücksichtigen.

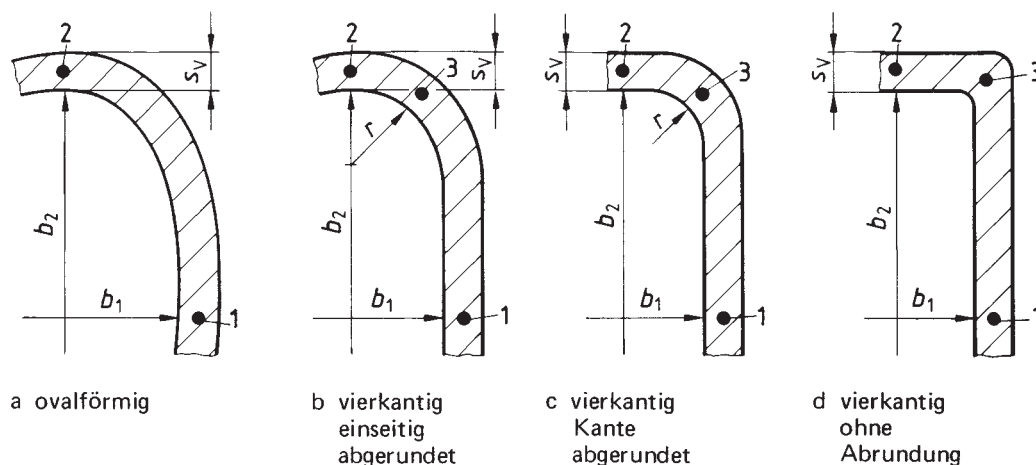


Bild 2. Querschnitte

Die theoretische Mindestwanddicke für solche Körper unter Innendruckbeanspruchung errechnet sich ohne Berücksichtigung von Randeinflüssen aus:

$$s'_V = \frac{p \cdot b_2}{2 \sigma_{zul}} \sqrt{B_0^2 + \frac{4 \sigma_{zul}}{p} B_n} \quad (18)$$

7.2.4.2 Die Berechnung muß bei ovalförmigen Querschnitten für die in Bild 2 a gekennzeichneten Stellen 1 und 2 und für vierkantige Querschnitte für die in den Bildern 2 b bis 2 d angegebenen Stellen 1 und 3 durchgeführt werden, da hier die das Festigkeitsverhalten im wesentlichen beeinflussenden Biegemomente Größtwerte aufweisen. In Ausnahmefällen (z. B. kleines b_1/b_2 -Verhältnis) kann bei vierkantigen Querschnitten auch die Nachrechnung von Stelle 2 erforderlich werden.

7.2.4.3 Der von den Normalkräften abhängende Berechnungsbeiwert B_0 beträgt:

für Stelle 1: $B_0 = b_1/b_2$

für Stelle 2: $B_0 = 1$

Für Stelle 3 kann B_0 abhängig vom Seitenverhältnis b_1/b_2 und dem Eckradienverhältnis r/b_2 aus Bild 3 entnommen oder nach Gleichung (19) berechnet werden:

$$B_0 = \left[1 - \frac{2r}{b_2} (1 - \sin \varphi_k) \right] \sin \varphi_k + \left[\frac{b_1}{b_2} - \frac{2r}{b_2} (1 - \cos \varphi_k) \right] \cos \varphi_k \quad (19)$$

$$\text{mit } \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{1 - 2r/b_2}{\frac{b_1}{b_2} - \frac{2r}{b_2}} \quad (19a)$$

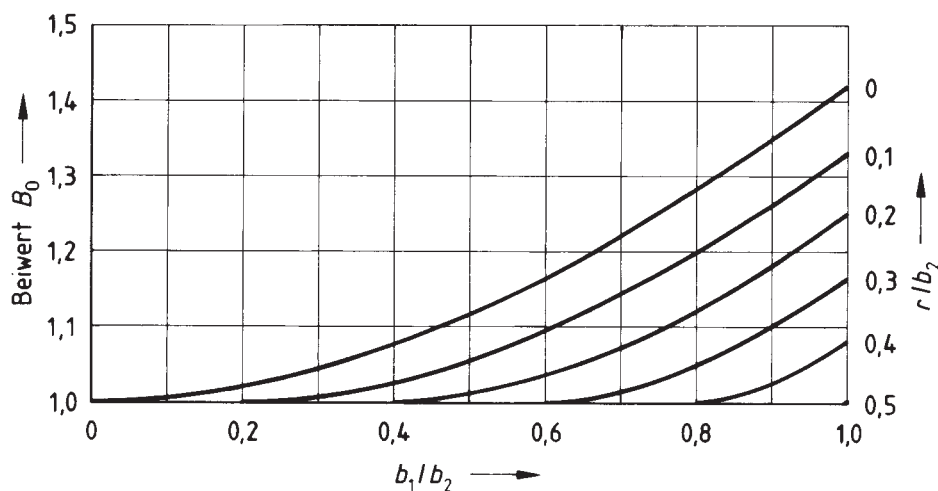
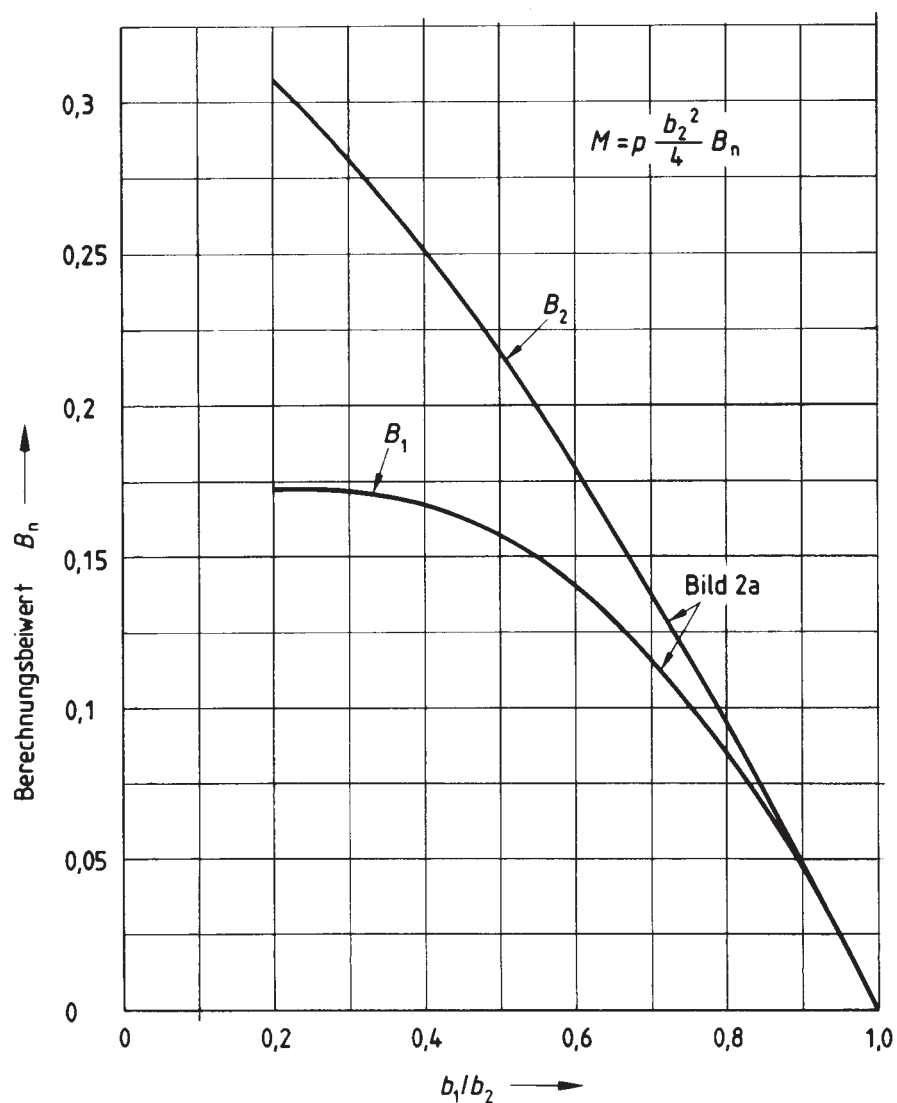


Bild 3. Berechnungsbeiwert B_0 an Berechnungsstelle 3

Bild 4. Berechnungsbeiwert B_n für ovalförmige Querschnitte

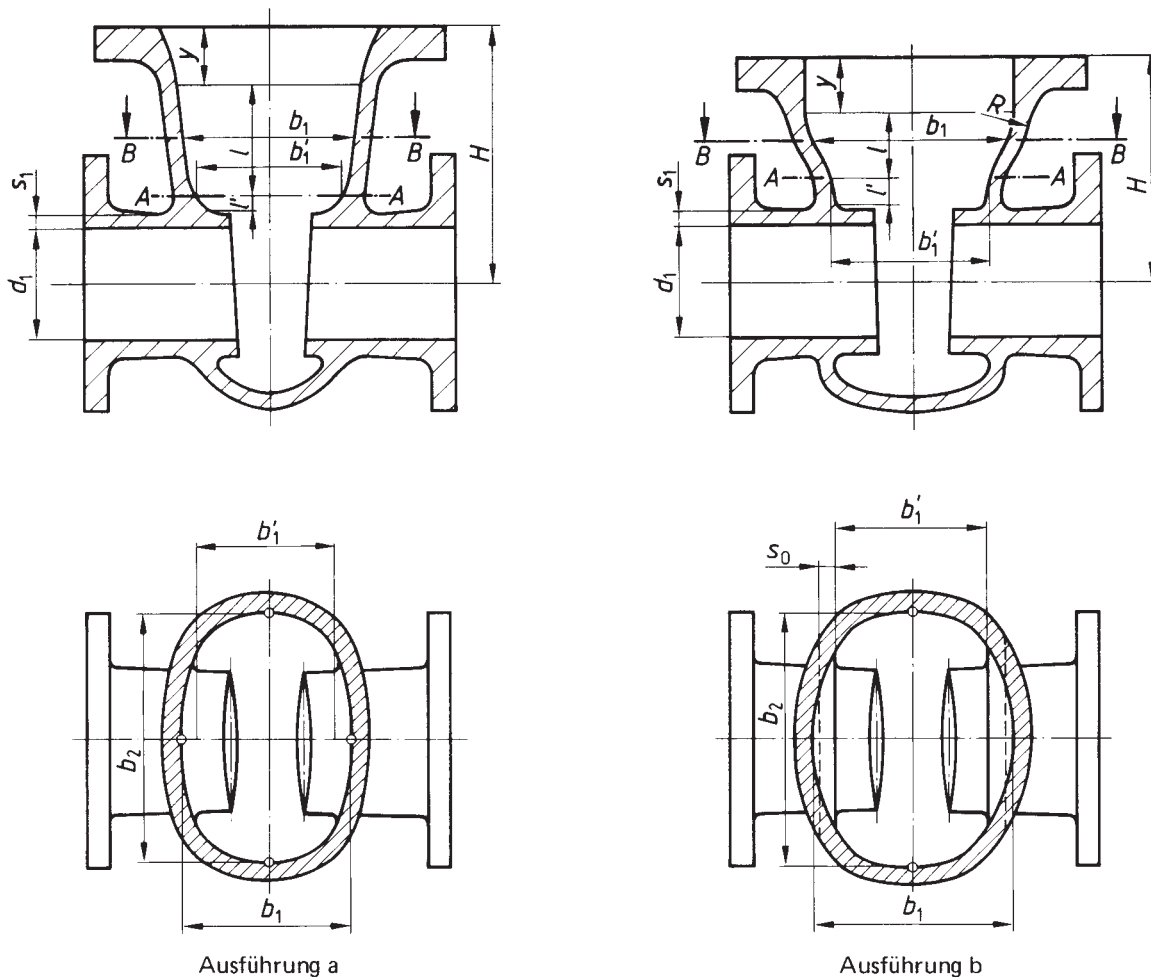


Bild 5. Beispiele für Querschnittsveränderungen in ovalen Grundkörpern

7.2.4.4 Die von den Biegemomenten abhängenden Berechnungsbeiwerte B_n sind für ovalförmige Querschnitte für die Stellen 1 und 2 abhängig von b_1/b_2 in Bild 4 dargestellt. Die Kurven entsprechen folgenden Gleichungen [1]:

$$B_1 = \frac{1 + k_E^2}{6} - \frac{1 - k_E^2}{6} \frac{K'}{E'} \quad (20)$$

$$B_2 = \frac{1 - k_E^2}{6} \frac{K'}{E'} - \frac{1 - 2k_E^2}{6} \quad (21)$$

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

K' und E' sind die vollständigen elliptischen Integrale, deren Werte abhängig von dem Modul des Integrals k_E aus Tabellenbüchern entnommen werden können z. B. [3]

Für die Berechnungsbeiwerte können für $b_1/b_2 \geq 0,5$ auch folgende Näherungsgleichungen benutzt werden [1]:

$$B_1 = \left(1 - \frac{b_1}{b_2} \right) \left(0,625 - 0,435 \sqrt{1 - \frac{b_1}{b_2}} \right) \quad (22)$$

$$B_2 = \left(1 - \frac{b_1}{b_2} \right) \left[0,5 - 0,125 \left(1 - \frac{b_1}{b_2} \right) \right] \quad (23)$$

Die Berechnungsbeiwerte gelten auch für Querschnittsveränderungen in ovalen Grundkörpern, z. B. bei Schiebern nach Bild 5 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 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

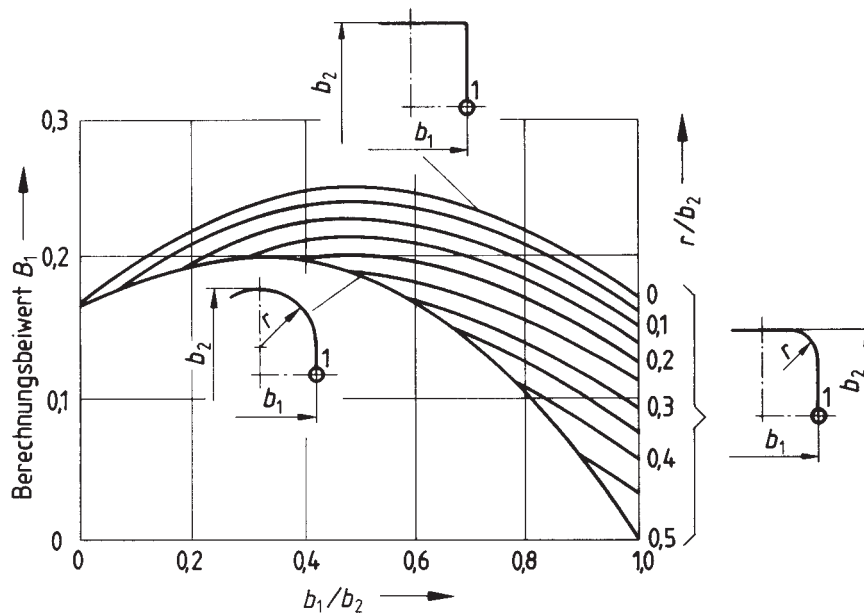
$$l = H - y - \left(\frac{d_1}{2} + s_1 \right) - l' \quad (24)$$

wobei für die vom Einlaufstutzen beeinflusste Länge l' gilt:

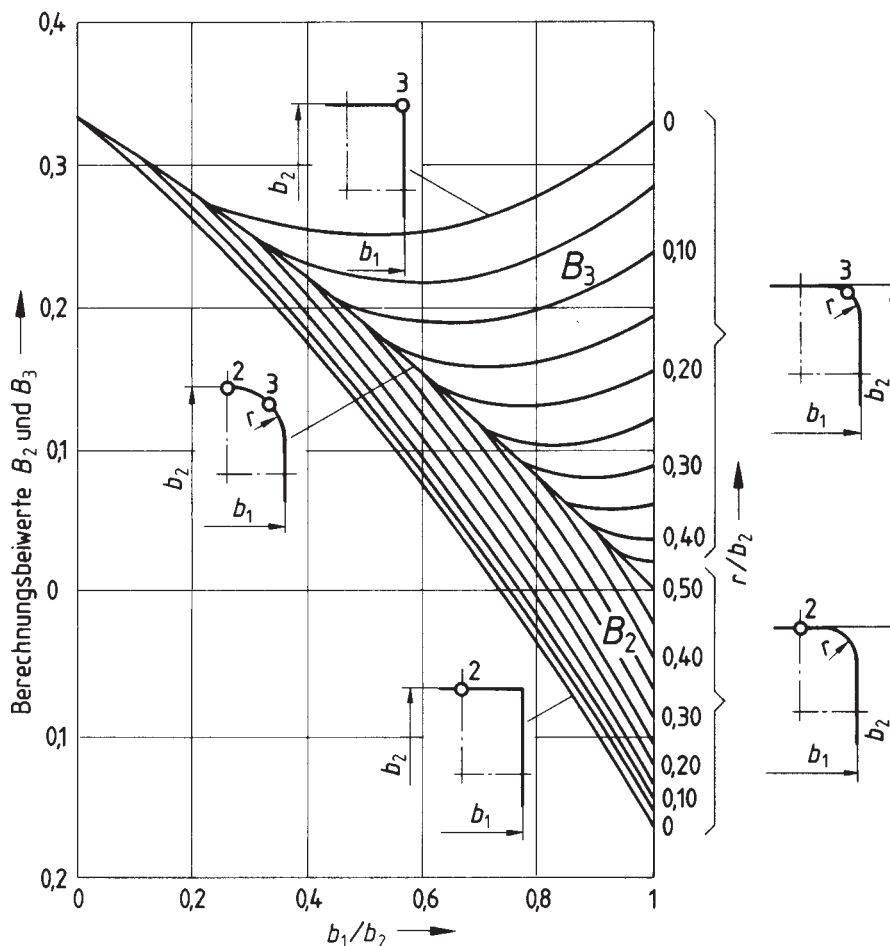
$$l' = 1,25 \sqrt{d'_m \cdot s_e} \quad (25)$$

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

wobei b'_1 und b_2 am Querschnitt A–A im Abstand l' vom Einlaufstutzen zu ermitteln sind. s_e ist die dort vorhandene Wanddicke.



Berechnungsbeiwerte B_1 für Vierkant-Querschnitte



Berechnungsbeiwerte B_2 und B_3 für Vierkant-Querschnitte

Bild 6. Berechnungsbeiwerte

7.2.4.5 Die Berechnungsbeiwerte B_n für vierkantige Querschnitte sind für die zu betrachtenden Stellen 1 bis 3 in Bild 6 abhängig vom Verhältnis b_1/b_2 dargestellt. In die Gleichung (18) sind die Berechnungsbeiwerte B_n stets positiv einzusetzen.

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

$$B_1 = \frac{1}{6} \frac{1 - 2 \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^3 + 3 \left(\frac{b_1}{b_2} \right) - 3 \frac{2r}{b_2} \left(2 - \frac{\pi}{2} \right) - 3 \left(\frac{2r}{b_2} \right)^2 \left(1 + \frac{b_1}{b_2} \right) (\pi - 3) + \left(\frac{2r}{b_2} \right)^3 \left(\frac{9}{2} \pi - 14 \right)}{1 + \frac{b_1}{b_2} - \frac{2r}{b_2} \left(2 - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (26)$$

$$B_2 = B_1 - \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^2 \right] \quad (27)$$

$$B_3 = \frac{1}{2} \left[1 - 2 \frac{2r}{b_2} (1 - \sin \varphi_k) + \frac{4r^2}{b_2^2} (3 - 2 \sin \varphi_k - 2 \cos \varphi_k) - 2 \frac{b_1}{b_2} \frac{2r}{b_2} (1 - \cos \varphi_k) \right] - B_1 \quad (28)$$

wobei für den Winkel des Maximalmomentes Gleichung (19a) gilt.

7.2.4.6 Bei kurzen Gehäusekörpern (z. B. Bild 5 Ausführung a bzw. Ausführung b) mit der ungestörten, der Berechnungsgeometrie entsprechenden Länge l kann die Stützwirkung der an den Enden anschließenden Bauelemente (z. B. Flansche, Böden, Deckel) mit in Rechnung gestellt werden [1]. Damit ergibt sich mit Gleichung (18) die erforderliche Mindestwanddicke aus:

$$s_V = s'_V \cdot k \quad (29)$$

Der Korrekturfaktor k ergibt sich in Anlehnung an das Abklingverhalten der Beanspruchungen in Zylinderschalen unter Berücksichtigung experimenteller Untersuchungsergebnisse an nichtkreisförmigen Gehäusen aus:

$$k = 0,48 \sqrt[3]{\frac{l^2}{d_m \cdot s'_V}} \quad (30)$$

mit $0,6 \leq k \leq 1$

Die Funktion ist in Bild 7 abhängig von $l^2/d_m \cdot s'_V$ dargestellt [1].

Für d_m ist $d_m = (b_1 + b_2)/2$ zu setzen und s'_V entspricht Gleichung (18). Bei Querschnittsveränderungen über der Länge l z. B. nach Bild 5 Ausführung a bzw. Ausführung b sind die Maße b_1 und b_2 im Querschnitt B-B (bei $l/2$) zu entnehmen. Örtliche Abweichungen von der Gehäuseform, seien sie konvexer oder konkaver Art, können in der Regel vernachlässigt werden.

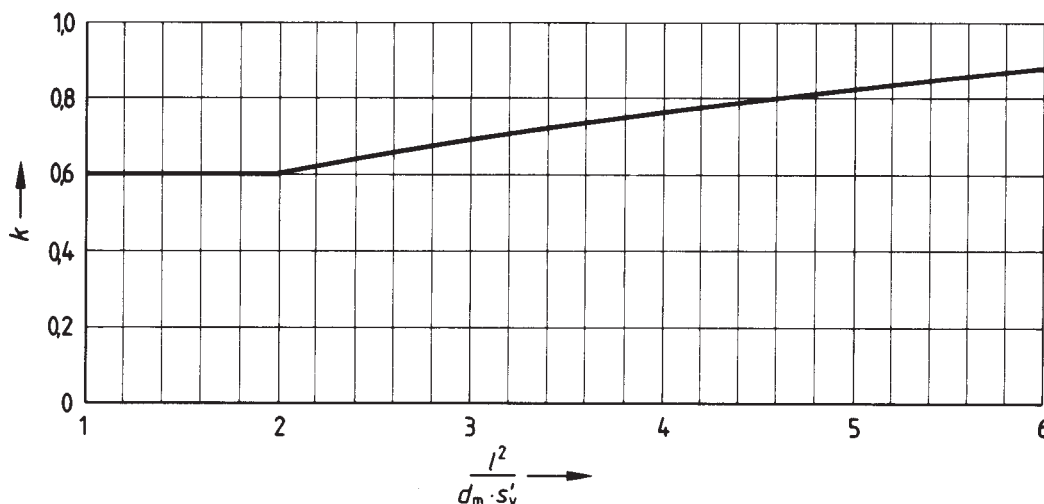


Bild 7. Korrekturfaktor k für kurze Gehäusekörper

7.2.4.7 Dem Festigkeitskriterium ist genüge geleistet, wenn die erforderliche Wanddicke örtlich vorhanden ist, vorausgesetzt, daß Übergänge der Wanddicken sanft erfolgen.

Genügt eine ausgeführte Konstruktion nicht der Festigkeitsbedingung nach Gleichung (18) bzw. (29), kann eine örtliche Verstärkung vorgesehen werden z. B. durch Rippen, wobei für die Konstruktion ein gesonderter Festigkeitsnachweis erforderlich ist oder es ist nach Abschnitt 1.2 der Festigkeitsnachweis mit einem anderen anerkannten Verfahren zu erbringen [6].

7.2.5 Grundkörper mit ebenen Abflachungen

Weisen zylindrische, oder kugelförmige Gehäusekörper ebene oder nahezu ebene Flächen auf, so müssen diese auf Biegebeanspruchung nachgerechnet werden. Die Wanddicke an solchen Flächen muß mindestens

$$s_V = m_1 \cdot 2 \sqrt{\frac{p}{\sigma_{zul}} \cdot \frac{0,5}{1 + m_1^2/m_2^2}} \quad (31)$$

sein, wobei mit m_1 die kleine und m_2 die große Halbachse der größtmöglichen, in die Fläche einbeschriebenen Ellipse bezeichnet. Dabei sind nur solche Flächen in Betracht zu ziehen, bei denen $2 m_2 > 5 \cdot s_e$ ist und bei denen die Wölbung über $2 m_2$ als Sehne gemessen $\leq s_e$ ist.

7.3 Gehäusekörper mit Abzweig

Die Festigkeitsberechnung des Gehäusekörpers mit Abzweig erfolgt aufgrund einer Gleichgewichtsbetrachtung zwischen den äußeren und inneren Kräften für die höchstbeanspruchten Zonen. Als solche werden die Übergangsstellen der zylindrischen, kugeligen oder nicht kreisförmigen Grundkörper zum Abzweig angesehen. Dem Grundkörper ist dabei der Durchmesser d_0 und die Wanddicke s_0 und dem Abzweig der Durchmesser d_1 und die Wanddicke s_1 zugeordnet. Es muß gelten: $d_0 > d_1$.

Bei zylindrischen Grundkörpern, siehe Bild 8, weist in der Regel die im Längsschnitt durch die Hauptachse gelegene Schnittstelle I mit der mittleren Hauptspannung $\bar{\sigma}_I$ die größte Beanspruchung auf. Bei Verhältnissen von Stutzenöffnung zur Grundkörperöffnung $\geq 0,7$ sind jedoch die im Querschnitt zur Hauptachse (Schnittstelle II) auftretenden Biegebeanspruchungen nicht mehr zu vernachlässigen, d. h. es ist dann auch diese Richtung zu berechnen (siehe Abschnitt 7.3.1.1).

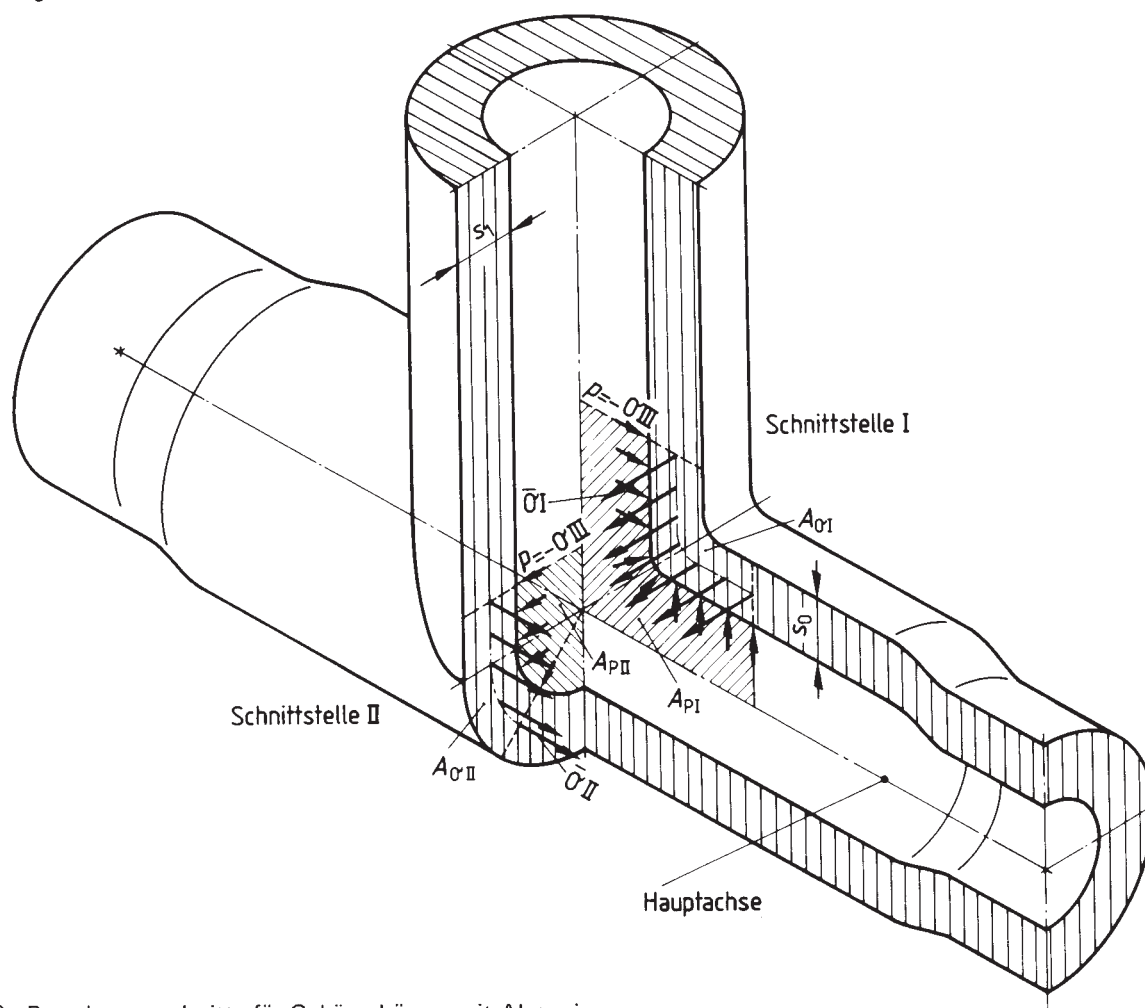


Bild 8. Berechnungsschnitte für Gehäusekörper mit Abzweig

Bei nicht kreisförmigen Gehäusekörpern mit Abzweigen und allgemein bei zusätzlichen Kraftwirkungen in Richtung der Hauptachse kann die größte Beanspruchung auch im Querschnitt mit der mittleren Hauptspannung $\bar{\sigma}_{II}$ (Schnittstelle II) liegen. In diesen Fällen ist die Rechnung ebenfalls für den Längs- und Querschnitt durchzuführen.

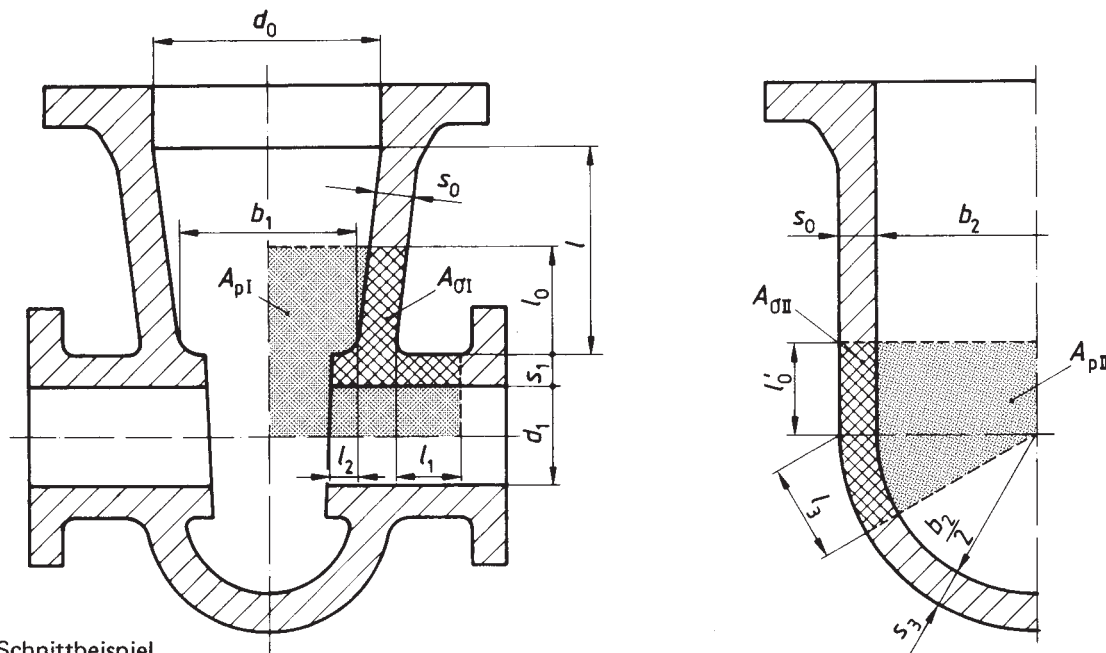


Bild 9. Schnittbeispiel

7.3.1 Das nachfolgende Berechnungsverfahren ist für Armaturengehäuse mit senkrechtem Abzweig siehe Bilder 9 bis 19, sowie mit schrägem Abzweig, wenn der Winkel $\varphi_A \geq 45^\circ$ ist, siehe Bild 11, zulässig. Dabei ist vorausgesetzt, daß $s_1 \leq d_1 - s_0/d_0$ ist. Ist bei Konstruktionen die Einhaltung dieser Bedingungen nicht möglich, kann die größere Wanddicke nur entsprechend dieser Gleichung in die Berechnung der mittragenden Länge und der tragenden Querschnittsfläche A_0 eingesetzt werden.

Eine unmittelbare Berechnung der Wanddicke der Gehäusekörper ist wegen der verschiedenen Einflußgrößen nicht möglich. Die Wanddicken müssen ausgehend von den im ungestörten Bereich erforderlichen Wanddicken, zunächst aufgrund der Erfahrungen angenommen und dann die Richtigkeit der Annahme nachgeprüft werden.

7.3.1.1 Dem Kräftegleichgewicht im Längsschnitt entspricht nach den Bildern 9 bis 19 die Beziehung

$$p \cdot A_{pI} = \bar{\sigma}_I \cdot A_{\sigma I} \cdot v_N \quad (32)$$

wobei $p \cdot A_{pI}$ die äußere Gesamtkraft darstellt, die auf der druckbelasteten Fläche A_{pI} (gerastert) wirkt, während als innere Kraft $\bar{\sigma}_I A_{\sigma I}$ die in der höchstbeanspruchten Zone der Wandung mit der Querschnittsfläche $A_{\sigma I}$ (kreuzschraffiert) und der mittleren Hauptspannung $\bar{\sigma}_I$ wirksame Kraft anzusehen ist. Mit v_N wird der Wertigkeit einer unter Umständen im Einflußbereich des Abzweiges liegenden Schweißnaht Rechnung getragen. Dieser Bereich umfaßt die Durchdringung zusätzlich eines Flächenstreifens von $2 \cdot s$, höchstens jedoch 50 mm Breite.

Die nach der Schubspannungs-Hypothese zu fordernde Festigkeitsbedingung lautet:

$$\sigma_{VI} = \bar{\sigma}_I - \bar{\sigma}_{III} = p \frac{A_{pI}}{v_N \cdot A_{\sigma I}} + \frac{p}{2} \leq \sigma_{zul} \quad (33)$$

Bei nicht kreisförmigen Gehäusekörpern mit Abzweigen sind zur Berücksichtigung der Biegespannungen, die über die bei der Ermittlung der Wanddicken nach den Gleichungen (18) bzw. (29) bereits erfaßten hinausgehen, folgende Festigkeitsbedingungen anzuwenden:

$$\sigma_{VI} = \bar{\sigma}_I - \bar{\sigma}_{III} = p \frac{A_{pI}}{v_N \cdot A_{\sigma I}} + \frac{p}{2} \leq \frac{\sigma_{zul}}{1,2} \quad (34)$$

In der Gleichungen (33) und (34) wird die senkrecht zur Wandung wirkende Spannung σ_{III} als kleinste Hauptspannung betrachtet, die auf der druckbeaufschlagten Seite $\sigma_{III} = -p$ und auf der drucklosen Seite $\sigma_{III} = 0$, also im Mittel $\bar{\sigma}_{III} = -p/2$ ist.

Sinngemäß gilt für das Kräftegleichgewicht im Querschnitt II (siehe Bild 9).

$$p \cdot A_{pII} = \bar{\sigma}_{II} \cdot A_{\sigma II} \cdot v_N \quad (35)$$

Die Festigkeitsbedingung lautet in diesem Falle

$$\sigma_{VII} = \bar{\sigma}_{II} - \bar{\sigma}_{III} = p \frac{A_{pII}}{v_N \cdot A_{\sigma II}} + \frac{p}{2} \leq \sigma_{zul} \quad (36)$$

bzw. bei nicht kreisförmigen Gehäusekörpern

$$\sigma_{VII} \leq \frac{\sigma_{zul}}{1,2} \quad (37)$$

Bei zylindrischen Gehäusekörpern mit $d_1/d_0 \geq 0,7$ und gleichzeitig auch $s_{V1}/s_{V0} < d_1/d_0$ ist im Querschnitt II zusätzlich folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{p}{k_s} \left[\frac{d_0 + s_{V0}}{2 \cdot s_{V0}} + 0,2 \frac{d_1 + s_{V1}}{s_{V1}} \cdot \sqrt{\frac{d_0 + s_{V0}}{s_{V0}}} \right] \leq \sigma_{zul} \quad (38)$$

Bei Berechnung mit Warmstreckgrenze ist $k_s = 1,5$

Bei Berechnung von geschmiedeten und gegossenen Gehäusekörpern im Zeitstandbereich gilt für $\bar{R}_{m/100\,000/h}$ $k_s = 1,5$ und für $\bar{R}_{m/200\,000/h}$ $k_s = 1,0$.

Für nicht kreisförmige Gehäusekörper lautet die Bedingung:

$$\frac{p}{k_s} \left[\frac{b_2 + s_{V0}}{2 \cdot s_{V0}} + 0,25 \frac{d_1 + s_{V1}}{s_{V1}} \sqrt{\frac{b_2 \cdot s_{V0}}{s_{V0}}} \right] \leq \sigma_{zul} \quad (39)$$

7.3.1.2 Die drucktragenden Flächen A_p bzw. die tragenden Querschnittsflächen A_Q werden rechnerisch oder durch Planimetrieren (maßstäbliche Zeichnung) bestimmt. Die als tragend anzusehenden Längen dürfen dabei höchstens entsprechend den folgenden Beziehungen angesetzt werden:

a) Bei zylindrischen Gehäusekörpern (z. B. Bilder 10 Ausführung a und Ausführung b) für Grundkörper

$$l_0 = \sqrt{(d_0 + s_0) \cdot s_0} \quad (40)$$

für den nach außen liegenden Teil des Abzweiges

$$l_1 = 1,25 \sqrt{(d_1 + s_1) \cdot s_1} \quad (41)$$

Bei Gehäusen mit schräggehendem Grundkörper oder Abzweig ($\varphi_A \geq 45^\circ$) (z. B. Bild 11)

$$l_0 = \left(1 + 0,25 \frac{\varphi_A}{90^\circ} \right) \sqrt{(d_0 + s_0) \cdot s_0} \quad (42)$$

Bei kegelförmigem Verlauf von Grundkörper oder Abzweig ist für d_0 und d_1 der kleinste an der Öffnung vorhandene Durchmesser einzusetzen (z. B. Bild 12)

b) Bei kugeligem Gehäusekörpern

Für Abzweige in kugelförmigen Grundkörpern mit Verhältnissen d_1/d_0 bzw. $d_2/d_0 \leq 0,5$ kann die mittragende Länge im Kugelbereich entsprechend Bild 13 Ausführung a angesetzt werden mit:

$$l_0 = \sqrt{(d_0 + s_0) \cdot s_0} \quad (43)$$

jedoch nicht größer, als es sich durch die Winkelhalbierende zwischen den Mittellinien beider Stützen ergibt. Für die mittragende Länge im Stützen gilt

$$l_1 = \sqrt{(d_1 + s_1) \cdot s_1} \quad (44)$$

Bei Verhältnissen d_1/d_0 bzw. $d_2/d_0 > 0,5$ wird wie in Bild 13 Ausführung b vorgegangen, wobei l_1 bzw. l_2 entsprechend Gleichung (44) zu ermitteln sind.

c) Bei Gehäusekörpern nach Bild 9 mit ovalen bzw. vierkantigen Querschnittsformen (siehe auch Bild 2)

$$l_0 = 1,25 \sqrt{(b_1 + s_0) \cdot s_0} \quad (45)$$

$$l_1 = \sqrt{(d_1 + s_1) \cdot s_1} \quad (46)$$

Im Querschnitt II nach Bild 9 gilt

$$l'_0 = 1,25 \sqrt{(b_2 + s_0) \cdot s_0} \quad (47)$$

$$l_3 = \sqrt{(d_1 + s_1) \cdot s_1} \quad (48)$$

Bei Verhältnissen Stützenöffnung zu Grundkörperöffnung $> 0,8$ entfällt in den Gleichungen (41), (42), (45) und (47) der Faktor vor der Wurzel.

φ_A , festgelegt mit $\geq 45^\circ$, gilt für schräggehende Grundkörper oder Abzweige nach Bild 11.

Bei der Festlegung der drucktragenden Fläche A_p erfolgt die Begrenzung im Gehäuseinneren durch die geometrischen Mittellinien im Grundkörper und Abzweig (siehe z. B. Bilder 10 bis 12). Eingezogene Sitze wie z. B. in Bild 10 werden nicht berücksichtigt. Die mittragenden Längen l_0 und l_1 werden wegen der geometrisch komplizierten Gehäuseformen nach den Bildern 10 bis 12 parallel zur Gehäuseaußenkontur ausgehend vom Tangentenpunkt der Konturnormalen an den vom Übergangsradius zwischen Grundkörper und Abzweig gebildeten Kreis aufgetragen (siehe Beispiele Bild 10 Ausführung a und Ausführung b). Bei kleinen Übergangsradien genügt es, vom Schnittpunkt der geradlinig verlängerten Gehäusekonturen auszugehen (siehe Bild 12). Am Endpunkt wird das Lot auf die entsprechende Mittellinie gefällt.

Bei Gehäusen, die sich im Längsschnitt im wesentlichen durch Rechteckform darstellen lassen (z. B. Bild 9 oder Bild 15), werden der Einheitlichkeit wegen die mittragenden Längen l_0 und l_1 ebenfalls entlang der Gehäuseaußenkontur aufgetragen und an den Endpunkten das Lot auf die Mittellinie von Grundkörper und Abzweig gefällt.