

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Mai 2018

Sonderfälle	Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter Behälter auf Standzargen	AD 2000-Merkblatt S 3/1
--------------------	---	---

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

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

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

FDBR e. V. Fachverband Anlagenbau, Düsseldorf

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

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

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

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e. V., Essen

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst.

Inhalt

	Seite
0 Präambel	2
1 Geltungsbereich.....	2
2 Allgemeines	2
3 Formelzeichen und Einheiten	2
4 Konstruktionsvarianten des Anschlussbereiches.....	3
5 Schnitte und Schnittgrößen.....	5
6 Nachweise im Anschlussbereich (Schnitte 1–1, 2–2, 3–3)	6
7 Nachweis der Standzarge (Schnitt 4–4).....	9
8 Nachweis der Gleit- und Kippsicherheit (Schnitt 5–5).....	9
9 Schrifttum.....	11

Ersatz für Ausgabe September 2001; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe

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

0 Präambel

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

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

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

1 Geltungsbereich

Mit diesem AD 2000-Merkblatt kann der Nachweis für Standzargen an Behältern geführt werden. Er erfolgt getrennt für die örtlichen Beanspruchungen im Bereich der Verbindung von Standzarge und Druckbehälterwandung, für die Standzarge selbst und deren Verankerung im Fundament.

Spannungserhöhungen in der drucktragenden Schale im Sinne von AD 2000-Merkblatt B 0, Abschnitt 4.5 sind insbesondere bei geringer Druckbeanspruchung ($e/D < 0,005$) sowie bei hohen Zusatzmomenten, beispielsweise durch Wind ($H/D > 5$), zu erwarten. Unterhalb dieser Grenzen kann es notwendig sein, einen Spannungsnachweis zu führen, wenn die Zusatzlasten extrem werden (z. B. durch Zusatzgewichte, durch Füllgewichte hoher Dichte, durch hohe Exzentrizität bei Querbeschleunigung) oder wenn die Konstruktionsprinzipien nicht mit den hier behandelten Varianten übereinstimmen.

2 Allgemeines

Dieses AD 2000-Merkblatt ist nur im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt S 3/0 anzuwenden.

Die Konstruktion der Standzarge muss nach DIN 28082-1 und -2 oder in enger Anlehnung daran erfolgen. Auf das Vorhandensein von Besichtigungsöffnungen ist zu achten.

Die Gestaltung der Schweißnähte muss mit DIN EN 1708 vereinbar sein. Auf den Nachweis von Schweißnähten kann verzichtet werden, wenn die Schweißnahtdicke das 0,7-Fache der Wanddicke der dünnsten der beteiligten Bleche aufweist und beidseitig geschweißt oder volltragend angeschlossen wird. Wenn ein Nachweis von Schweißnähten erforderlich wird, so kann dieser nach AD 2000-Merkblatt S 3/0 erfolgen.

Die Lasteinleitung in den Fußring muss gleichmäßig erfolgen; Spannungsspitzen sind zu vermeiden.

Nachzuweisen sind die vom Besteller gemäß AD 2000-Merkblatt S 3/0, Abschnitt 4.2 festgelegten Lastfälle. Dabei sind die zulässigen Berechnungsspannungen nach AD 2000-Merkblatt S 3/0 zu verwenden. Diese zulässigen Berechnungsspannungen und die Schnittgrößen sind abhängig vom jeweiligen Lastfall. Dies wird im Folgenden jedoch nicht durch entsprechende Indizes kenntlich gemacht, um die Zahl der Indizes zu begrenzen und damit die Übersicht zu verbessern.

3 Formelzeichen und Einheiten

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

a	Hebelarm Exzentrizität (vgl. Bild 2)	in mm
b	Fußringbreite	in mm
e	ausgeführte Wanddicke abzüglich aller Wanddickenzuschläge $e = s_e - \Sigma c$, mit s_e nach AD 2000-Merkblatt B 0	in mm
f	lastfallabhängige zulässige Berechnungsspannung nach AD 2000-Merkblatt S 3/0	in N/mm ²
F	auf Symmetrieachse bezogene Schnittkraft	in N
g	Überstand des Fußringes auf unverankerter Seite	in mm
h	Höhe des Tragringes (vgl. Bild 6)	in mm
i	Breite der Druckplatte bzw. des Gurtringes	in mm
k	Abstand zwischen Zarge und Lochkreis	in mm
l	Überstand des Fußringes auf der verankerten Seite	in mm
M	resultierendes Schnittmoment, auf Symmetrieachse bezogen	in Nmm
n	Anzahl Anker	–
\bar{r}	Ausschnittparameter	in rad
t	Abstand zwischen zwei Stegblechen	in mm
T	Abstand zwischen zwei Pratzen	in mm
W	Widerstandsmoment des Ringes nach Bild 1	in mm ³
α	Spannungserhöhungsfaktor nach Anhang 1 des AD 2000-Merkblattes B 3	–

γ	Anschluss- bzw. Grenzwinkel	in °
ΔF	Behältermassenkraft unterhalb Schnitt 2–2	in N
ΔM	Momentenerhöhung inf. Schwerpunkänderung im Bereich des Ausschnittes	in Nmm
δ	halber Öffnungswinkel eines Ausschnittes (vgl. Bild 4)	in rad
ε	Verschiebung des Flächenschwerpunktes durch Ausschnitt	in mm
σ	Spannung	in N/mm ²

Indizes

a	äußere, d. h. Symmetrieachse abgewandte Schalenoberfläche
b	Beton
b (hoch)	Biegeanteil
B	Behälter
D	Druckplatte bzw. Gurtring
F	Füllung
ges (hoch)	Gesamtspannung, d. h. Membran- und Biegeanteil
G	Gewichtsanteil des Behälters inkl. An- und Einbauten, ohne Füllung
H	hydrostatische Säule
i	innere, d. h. Symmetrieachse zugewandte Schalenoberfläche
K	Ankerschraube-Kernquerschnitt
m (hoch)	Membrananteil
n	Nachweisort (mögl. Werte p und q), legt das Vorzeichen des Momentenanteils der Schnittkraft fest
o	Schalenoberfläche (mögl. Werte i und a)
p	Nachweisort, an dem der Momentenanteil mit pos. Vorzeichen in die Schnittkraft eingeht (d. h. windzugewandte Seite – luv)
P	Stegblech
q	Nachweisort, an dem der Momentenanteil mit neg. Vorzeichen in die Schnittkraft eingeht (d. h. windabgewandte Seite – lee)
R	Flansch- bzw. Fußring
S	Schnitt, an dem der Nachweis erfolgt (mögl. Werte 1 bis 5)
T	Tragring
t	Lochkreis Ankerschraube bzw. Bohrungsdurchmesser für Ankerschraube
Ü	Überdruck oder Unterdruck als negativer Überdruck (ohne Flüssigkeitsdruck)
Z	Standzarge, auf unverschwächte Schale bezogen

4 Konstruktionsvarianten des Anschlussbereiches

Dieses AD 2000-Merkblatt erlaubt Nachweise im Bereich der Verbindung von Standzarge und drucktragender Schale für die im Folgenden beschriebenen Konstruktionsformen A, B und C.

4.1 Konstruktionsform A (Zargenanschluss über Tragring im Zylinderbereich)

Standzarge zylinderförmig oder konisch mit Neigungswinkel $\leq 7^\circ$ zur Achse.

4.2 Konstruktionsform B (Zargenanschluss im Krepfenbereich)

Standzarge zylinderförmig oder konisch mit Neigungswinkel $\leq 7^\circ$ zur Achse und im Bereich $\gamma_{\min} < \gamma \leq 20^\circ$ direkt am Behälterboden angeschweißt.

Geltungsbereich:

$$0,5 \leq e_B / e_Z \leq 2,25$$

γ_{\min} ist begrenzt durch die Bedingung

$$D_Z - D_B < \min\{e_Z, e_B\}$$

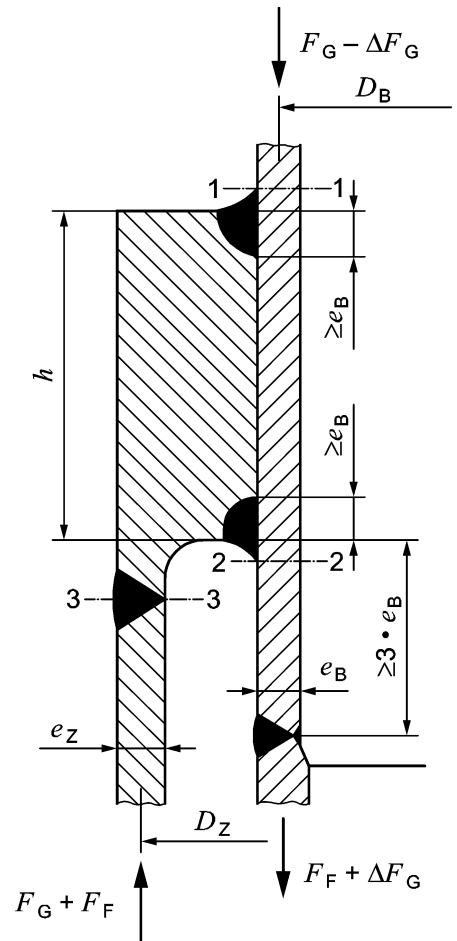


Bild 1 – Konstruktionsform A – Zargenanschluss über Tragring im Zylinderbereich
(Schnittgrößen aus Massenkraften)

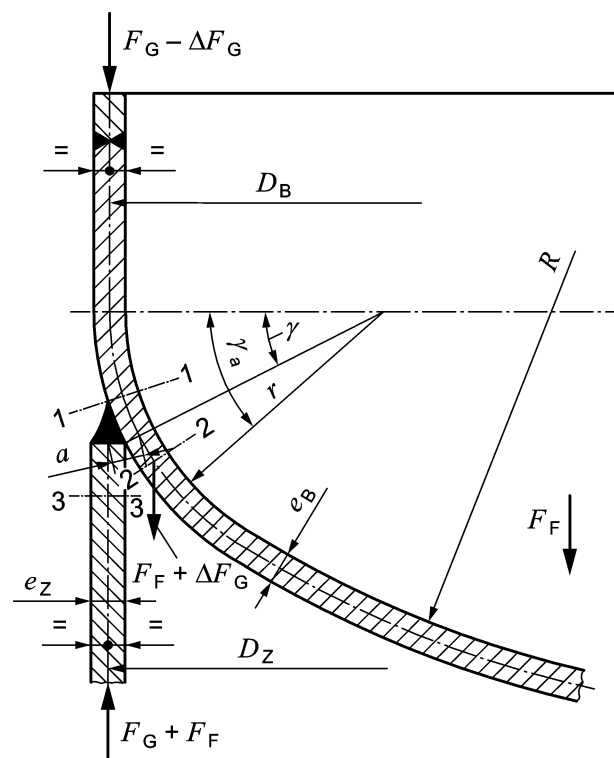


Bild 2 – Konstruktionsform B – Zargenanschluss im Krepfenbereich von Klöpfer- und Korbogeböden
(Schnittgrößen aus Massenkraften)

4.3 Konstruktionsform C (übergeschobene Standzarge)

Über den Behältermantel geschobene und direkt angeschweißte zylindrische Standzarge.

Es wird vorausgesetzt, dass beiderseits der Anschlussnaht jeweils im Bereich $3e_B$ keine Störungen durch Ausschnitte, angeschlossene Böden, Behälterrundnähte usw. vorhanden sind.

Auf die Gefahr von Spaltkorrosion ist zu achten.

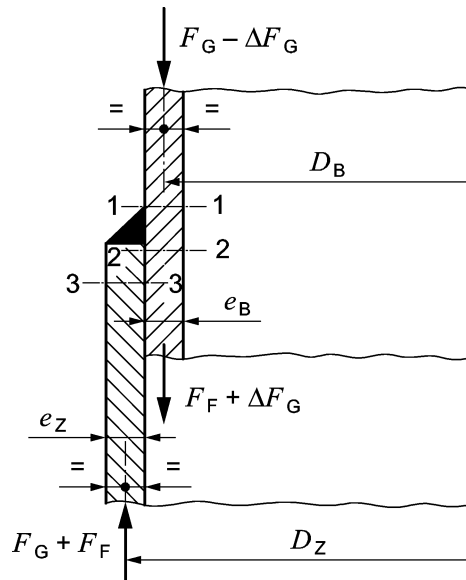


Bild 3 – Konstruktionsform C – übergeschobene Standzarge (Schnittgrößen aus Massenkräften)

5 Schnitte und Schnittgrößen

Die Schalenschnittgrößen F_s , H_s und M_s am jeweils behandelten Schnitt 1 bis 5 werden als Funktion der Kombination aller in diesem Lastfall zu betrachtenden Lasten ermittelt (vgl. Bild 4).

Bei abgestufter Wanddicke in der Zarge können weitere Nachweisschnitte notwendig werden.

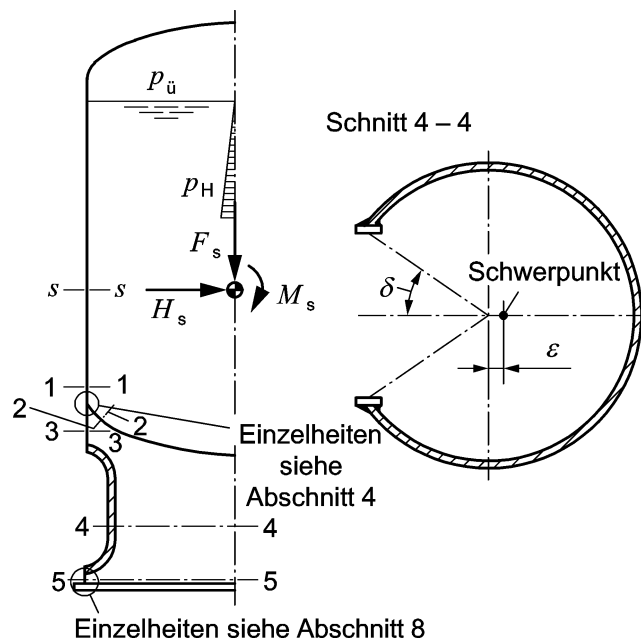


Bild 4 – Prinzipische Skizze Standzarge – Schnitte und Schnittgrößen

6 Nachweise im Anschlussbereich (Schnitte 1–1, 2–2, 3–3)

Im Anschlussbereich werden die in den Bildern 1 bis 3 festgelegten Schnitte 1 bis 3 nachgewiesen. Der Nachweis erfolgt differenziert für die Membranspannungen und die Gesamtspannungen, wobei jeweils nur die Längskomponenten berücksichtigt werden.

Die Schnittkraft F_Z in der Standzarge im Bereich des Anschlusses ergibt sich dann, abhängig von der Lage (n), d. h. ob das Moment die Lastkomponente verstärkt (q) oder abschwächt (p):

$$F_{Zn} = -F_1 - \Delta F_G - F_F \pm \frac{4 M_1}{D_Z} \quad (n = p, q). \quad (1)$$

Hierin ist F_1 die resultierende Normalkraft und M_1 das resultierende Moment aus äußeren Lasten im Schnitt 1–1 oberhalb der Verbindung zwischen drucktragender Schale und Standzarge.

6.1 Membranspannungsnachweise

Die Membranspannungsnachweise sind für die Konstruktionsformen A, B und C gleich. Die Membranspannungen am Nachweisort n lauten im Schnitt 1–1:

$$\sigma_{1n}^m = \frac{F_{Zn} + \Delta F_G + F_F}{\pi \cdot D_B \cdot e_B} + \frac{p_{\dot{U}} \cdot D_B}{40 \cdot e_B} \quad (n = p, q). \quad (2)$$

Die Festigkeitsbedingung lautet:

$$|\sigma_{1n}^m| \leq f_B \quad (n = p, q). \quad (3)$$

Aus Formel (3) lässt sich durch Gleichsetzen mit Formel (2) eine zur Einhaltung dieser Festigkeitsbedingung rechnerisch erforderliche Wanddicke im Schnitt 1–1 nach Formel (3a) ermitteln.

$$e_{1n}^m = \frac{1}{f_B} \cdot \left(\frac{F_{Zn} + \Delta F_G + F_F}{\pi \cdot D_B} + \frac{p_{\dot{U}} \cdot D_B}{40} \right) \quad (3a)$$

Die Berechnung dieser Wanddicke ist für Konstruktionsform A erforderlich.

Ist σ_{1n}^m eine Druckspannung, muss eine Stabilitätsberechnung mit kombinierten Belastungen nach DIN EN 1993-1-6 [7] durchgeführt werden. AD 2000-Merkblatt S 3/0, Abschnitt 4.3.4.2.2 und Tafel 2 sind hierbei anzuwenden.

Dies gilt sinngemäß für andere Schnitte im zylindrischen Bereich der Schale.

Die Membranspannung im Schnitt 2–2 ist unabhängig vom Nachweisort

$$\sigma_2^m = \sigma_{2q}^m = \sigma_{2p}^m = \frac{F_F + \Delta F_G}{\pi \cdot D_B \cdot e_B} + \frac{p_{\dot{U}} \cdot D_B}{40 \cdot e_B} \quad (4)$$

Die Festigkeitsbedingung

$$|\sigma_2^m| \leq f_B \quad (5)$$

ist einzuhalten.

Aus Formel (5) lässt sich durch Gleichsetzen mit Formel (4) eine zur Einhaltung dieser Festigkeitsbedingung rechnerisch erforderliche Wanddicke im Schnitt 2–2 nach Formel (5a) ermitteln:

$$e_2^m = \frac{1}{f_B} \cdot \left(\frac{\Delta F_G + F_F}{\pi \cdot D_B} + \frac{p_{\dot{U}} \cdot D_B}{40} \right) \quad (5a)$$

Die Berechnung dieser Wanddicke ist für Konstruktionsform A erforderlich.

Im Schnitt 3–3 der Standzarge erreichen die Membranspannungen am Nachweisort n den Wert

$$\sigma_3^m = \frac{F_{Zn}}{\pi \cdot D_Z \cdot e_Z} \quad (n = p, q). \quad (6)$$

Die Festigkeitsbedingung

$$|\sigma_{3n}^m| \leq f_Z \quad (n = p, q) \quad (7)$$

muss erfüllt werden.

Aus Formel (7) lässt sich durch Gleichsetzen mit Formel (6) eine zur Einhaltung dieser Festigkeitsbedingung rechnerisch erforderliche Wanddicke im Schnitt 3–3 nach Formel (7a) ermitteln:

$$e_{3n}^m = \frac{1}{f_Z} \cdot \left(\frac{F_{Zn}}{\pi \cdot D_Z} \right) \quad (7a)$$

Die Berechnung dieser Wanddicke ist für Konstruktionsform A erforderlich. Ist σ_{3n}^m eine Druckspannung, kann der dann erforderliche Stabilitätsnachweis auch hier unter Beachtung von [2] nach [1] geführt werden.

6.2 Biegespannungen

6.2.1 Konstruktionsform A (vgl. Bild 1)

Der Nachweis erfolgt in Anlehnung an DIN 2505.

Das lokale Biegemoment am Nachweisort n lautet:

$$M_n = \frac{D_Z - D_B}{2} \cdot F_{Zn} \quad (n = p, q). \quad (8)$$

Mit den nach den Formeln (3a), (5a) und (7a) ermittelten erforderlichen rechnerischen Wanddicken ergibt sich das Gesamtwiderstandsmoment des Tragrings am Nachweisort n zu

$$W_n = \frac{\pi}{4} \left[(D_Z + e_Z - D_B - e_B) \cdot h^2 + (2 e_B^2 - e_{1n}^2 - e_2^2) \cdot D_B + 0,5 (e_Z^2 - e_{3n}^2) \cdot D_Z \right] \quad (n = p, q). \quad (9)$$

Darin berücksichtigt der Faktor 0,5 im dritten Summanden die Art des Überganges von der Standzarge zum Anschlussring nach Bild 1.

Sind die zulässigen Beanspruchungen von Behälter (f_B) und/oder Standzarge (f_Z) geringer als die des Tragrings (f_T), so sind der zweite und/oder dritte Summand im Verhältnis f_B/f_T und/oder f_Z/f_T zu reduzieren.

6.2.2 Konstruktionsform B (vgl. Bild 2)

Die Exzentrizität a der Schalenmittellinien verursacht am Nachweisort n ein Biegemoment

$$M_n = a \cdot F_{Zn} \quad (n = p, q) \quad (10)$$

$$\text{mit } a = \frac{1}{2} \sqrt{e_B^2 + e_Z^2 + 2 e_B \cdot e_Z \cdot \cos \gamma}$$

$$\text{und } \cos \gamma = 1 - \frac{D_B + e_B - D_Z + e_Z}{2(r + e_B)},$$

aus dem die entsprechenden Biegespannungsanteile in den Schnitten 1 bis 3

$$\sigma_{Sn}^b(a) = C \frac{6 M_n}{\pi \cdot D_B \cdot e_B^2} \quad (S = 1, 2; n = p, q) \quad (11)$$

und

$$\sigma_{3n}^b(a) = C \frac{6 M_n}{\pi \cdot D_Z \cdot e_Z^2} \quad (n = p, q) \quad (12)$$

folgen.

Der Korrekturfaktor C kann im Geltungsbereich

$$0,5 \leq \frac{e_B}{e_Z} \leq 2,25$$

näherungsweise mit

$$C = 0,63 - 0,057 \left(\frac{e_B}{e_Z} \right)^2$$

angesetzt werden.

Diese Abhängigkeit wurde aus numerischen Berechnungen mit der Methode der Finiten-Elemente ermittelt. Wegen der großen Anzahl der Parameter musste eine Vereinfachung vorgenommen werden, die unter Umständen zu einer beträchtlichen Überdimensionierung führen kann, z. B. bei Korbbogenböden.

Dieser Biegespannungskomponente überlagert sich im Bereich der Schnitte 1 und 2 ein durch den Innendruck (p) in der Krempe verursachter Biegespannungsanteil

$$\sigma_S^b(p) = \frac{(p_{\text{Ü}} + p_{\text{H}}) D_{\text{B}}}{40 e_{\text{B}}} \left(\frac{\gamma}{\gamma_a} \alpha - 1 \right). \quad (13)$$

Für Klöpperböden ist $\gamma_a = 45^\circ$, für Korbbogenböden $\gamma_a = 40^\circ$ einzusetzen; die Formzahl α ist für die jeweilige Bodenform Anhang 1 zu AD 2000-Merkblatt B 3 zu entnehmen.

6.2.3 Konstruktionsform C (vgl. Bild 3)

Die Exzentrizität der Schalenmittellinien verursacht am Nachweisort n ein Biegemoment

$$M_n = \frac{D_Z - D_B}{2} \cdot F_{Zn} \quad (n = p, q), \quad (14)$$

das in den Schnitten 1 und 2 die Biegespannungen

$$\sigma_{Sn}^b = \frac{3 M_n}{\pi \cdot e_{\text{B}}^2 \cdot D_{\text{B}}} \quad (S = 1, 2; n = p, q) \quad (15)$$

und im Schnitt 3 die Biegespannung

$$\sigma_{3n}^b = \frac{6 M_n}{\pi \cdot e_{\text{Z}}^2 \cdot D_{\text{Z}}} \quad (n = p, q) \quad (16)$$

zur Folge hat.

Druckverursachte Biegespannungen werden vernachlässigt, d. h. es gilt

$$\sigma_S^b(p) = 0 \quad (S = 1, 2). \quad (17)$$

6.3 Gesamtspannungen und Festigkeitsbedingungen

6.3.1 Konstruktionsform A

An jedem Nachweisort n muss die Festigkeitsbedingung

$$\frac{|M_n|}{W_n} \leq f_T \quad (n = p, q) \quad (18)$$

überprüft werden, wobei M_n nach Formel (8) und W_n nach Formel (9) zu bestimmen sind.

6.3.2 Konstruktionsformen B und C

Die Gesamtspannungen auf Innen- (i) bzw. Außenfaser (a) am Nachweisort n lauten im Schnitt 1–1

$$\sigma_{1ni}^{\text{ges}} = \sigma_{1n}^m - \sigma_{1n}^b(a) + \sigma_1^b(p) \quad (19i)$$

$$\sigma_{1na}^{\text{ges}} = \sigma_{1n}^m + \sigma_{1n}^b(a) - \sigma_1^b(p) \quad (n = p, q) \quad (19a)$$

mit den Einzelkomponenten der Abschnitte 6.1 und 6.2.2 bzw. 6.1 und 6.2.3 für die Konstruktionsformen B bzw. C.

Entsprechend ergeben sich die Gesamtspannungen im Schnitt 2–2

$$\sigma_{2ni}^{\text{ges}} = \sigma_2^m + \sigma_{2n}^b(a) + \sigma_2^b(p) \quad (20i)$$

$$\sigma_{2na}^{\text{ges}} = \sigma_2^m - \sigma_{2n}^b(a) - \sigma_2^b(p) \quad (n = p, q) \quad (20a)$$

und im Schnitt 3–3

$$\sigma_{3ni}^{\text{ges}} = \sigma_{3n}^m - \sigma_{3n}^b \quad (21i)$$

$$\sigma_{3na}^{\text{ges}} = \sigma_{3n}^m + \sigma_{3n}^b \quad (n = p, q). \quad (21a)$$

Die Festigkeitsbedingung lautet bei zähem Werkstoffverhalten:

$$\sigma_{\text{Sno}}^{\text{ges}} \leq f_S \cdot \left[3 - 1,5 \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{Sn}}^m}{K} \right)^2 \right] \quad (S = 1, 2, 3; n = p, q; o = i, a). \quad (22)$$

Sie ist für alle Gesamtspannungen nach Formel (19) bis (21) einzuhalten.

7 Nachweis der Standzarge (Schnitt 4–4)

Im Schnitt 4–4, dem Querschnitt mit der maximalen Beanspruchung aufgrund max. Schnittgröße und/oder der max. Verschwächung, müssen die Restfläche A_4 und das Widerstandsmoment W_4 des Restquerschnittes bestimmt werden.

Mit den im Bereich dieses Schnittes vorliegenden Schnittgrößen F_4 und M_4 und dem spannungserhöhenden Moment $\Delta M_4 = \varepsilon F_4$ aus der Verschiebung des Schwerpunktes ergibt sich die Spannung im Bereich des Ausschnittes

$$\sigma_{4n}^m = \pm \frac{M_4 + \Delta M_4}{W_4} - \frac{F_4}{A_4} \quad (n = p, q). \quad (23)$$

Die Festigkeitsbedingung

$$|\sigma_{4n}^m| \leq f_Z \quad (24)$$

muss erfüllt werden.

Vereinfachend und sicher kann der Festigkeitsnachweis bei rohrförmig oder nicht versteiften Ausschnitten mit den Querschnittswerten A'_4 und W'_4 der unverschwächten Schale geführt werden, wenn die daraus folgenden Spannungen mit dem aus AD 2000-Merkblatt B 9 für den Kugelstützen abgeleiteten Verschwächungsbeiwert v_A korrigiert werden. D. h. es muss dann gelten:

$$|\sigma_{4n}^m| = \left| \left(\pm \frac{M_4}{W'_4} - \frac{F_4}{A'_4} \right) \frac{1}{v_A} \right| \leq f_Z \quad (n = p, q). \quad (25)$$

Ist σ_{4n}^m eine Druckspannung, muss ein Stabilitätsnachweis geführt werden. Die Stabilitätsberechnung kann nach [3] oder mit kombinierten Belastungen nach DIN EN 1993-1-6 [7] durchgeführt werden. AD 2000-Merkblatt S 3/0, Abschnitt 4.3.4.2.2 und Tafel 2 sind hierbei anzuwenden.

Wird dieser Nachweis nach [3] geführt, so ist die dabei verwendete zulässige Berechnungsspannung f um 20 % zu verringern.

Auf eine Berücksichtigung der Verschwächung durch den Ausschnitt kann beim Stabilitätsnachweis verzichtet werden, wenn der Ausschnitttrand gegen radiale Verformung stützenartig versteift ist und entweder

a) der Öffnungsparameter auf

$$\bar{r} = \delta \sqrt{\frac{D_Z}{2 e_Z}} \leq 2 \quad (26)$$

beschränkt bleibt, oder

b) bei Ausschnitten mit $\delta \leq 0,8$ (d. h. einem Öffnungswinkel $\leq 90^\circ$) eine zusätzliche Sicherheit von 2 gegenüber der zulässigen Berechnungsspannung f besteht, wobei der Nachweis nach [1] mit den Querschnittswerten des unverschwächten Querschnittes zu führen ist.

8 Nachweis der Gleit- und Kippsicherheit (Schnitt 5–5)

Mit den im Schnitt 5–5 vorhandenen Schnittgrößen wird der Nachweis für die Bauteile der Zarge geführt.

8.1 Nachweis gegen Gleiten

Der Nachweis gegen Gleiten ist in DIN EN 1990:2010-12, Abschnitt 6.4 [8] bzw. DIN EN 1993-1-1:2010-12 [9] geregelt. Kritisch sind Lastfälle mit einem hohen Verhältnis von Horizontal- zu Vertikallast.

8.2 Ankerschrauben

Kritisch sind Lastfälle, die Zugspannungen im Anker verursachen; i. d. R. ist der Lastfall entscheidend, der aus minimalem Gewicht und höchster Zugkraft aus dem Moment (Nachweisort p, i. d. R. luvseitig) resultiert. Die Kraft pro Ankerschraube beträgt:

$$F_{\text{Kp}} = \frac{1}{n} \left(\frac{4 M_5}{D_t} - 0,9 F_5 \right). \quad (27)$$

Eine Verankerung zur Sicherheit gegen Kippen ist notwendig für $F_{Kp} > 0$.

Die Dimensionierung der Ankerschrauben erfolgt nach AD 2000-Merkblatt S 3/0.

In Ausnahmefällen ist die Vorspannkraft der Ankerschraube höher als die betriebsmäßige Belastung. In diesen Fällen ist in den Formeln (33) bis (35) für F_{Kp} die Vorspannkraft einzusetzen.

8.3 Lasteinleitung im Fußring

Für Beanspruchungsfälle mit geringem Kippmoment genügt eine konstruktive Auslegung mit einfachem Fußring, die an DIN 28082-1 orientiert sein muss. Der Nachweis dafür kann nach Abschnitt 8.3.1 erfolgen.

Bei höheren Kippmomenten sollte eine Konstruktion entsprechend DIN 28082-2 gewährleistet werden. Der Nachweis dafür kann nach Abschnitt 8.3.2 geführt werden.

8.3.1 Einfacher Fußring

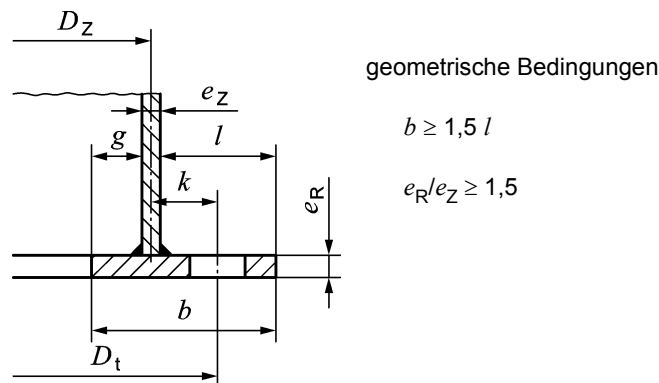


Bild 5 – Einfacher Fußring für geringe Momentenbelastung

Die maximale Betonpressung beträgt

$$\sigma_b = \sigma_{bq}^m = \frac{1}{\pi \cdot D_z \cdot b} \left(-\frac{4 M_5}{D_z} - F_5 \right) \quad (28)$$

Die Fußringdicke muss folgenden Bedingungen genügen

$$e_R \begin{cases} \geq l \sqrt{\frac{3 \cdot |\sigma_b|}{f_R}} & \text{und} \\ \geq \sqrt{\frac{3 n \cdot F_{Kp} (1 - D_z/D_t)}{\pi \cdot f_R}} & \text{für } n \geq \frac{\pi D_t}{2 k + d_t} \end{cases} \quad (29)$$

$$\text{und } e_R \geq \sqrt{\frac{n \cdot F_{Kp} \cdot k}{b \cdot f_R}} \quad \text{für } n < \frac{\pi D_t}{2 k + d_t} \quad (30)$$

worin σ_b Formel (28) und F_{Kp} Formel (27) zu entnehmen sind.

8.3.2 Fußring mit Pratzen oder Doppelring mit Stegen

Mit der maximalen Betonpressung σ_b aus Formel (28) ergibt sich für $T/l \leq 3$ die notwendige Fußringdicke e_R aus

$$e_R \geq l \sqrt{\frac{K \cdot |\sigma_b|}{f_R}} \quad (31)$$

mit $K = 1,145 \cdot T/l - 0,5$.

Für $T/l > 3$ erfolgt der Nachweis nach Formel (29).

Die Stegblechdicke e_p muss folgender Bedingung genügen:

$$e_p \geq 0,5 \frac{F_{Kp}}{l \cdot f_p} \quad (32)$$

Außer dem Spannungsnachweis nach Formel (33) ist, sofern erforderlich, für die Dicke der Stegbleche e_p ein Stabilitätsnachweis in Anlehnung an AD 2000-Merkblatt S 3/4, Abschnitt 7.3 zu führen.

Die Druckplatten- bzw. Gurtringdicke e_D beträgt

$$e_D \begin{cases} \geq \frac{2\sqrt{3} \cdot F_{Kp}}{\pi \cdot d_t \cdot f_D} \\ \geq 0,72 \sqrt{\left(\frac{F_{Kp} \cdot t}{l \cdot (i - d_t) f_D} \right)} \end{cases} \quad (34)$$

mit $e_D \leq 3 e_p$.

Der Einfluss des Versatzmomentes aus $F_{Kp} \cdot k$ auf die Standzarge ist nachzuweisen. Dies kann bei Prätzen z. B. in Anlehnung an AD 2000-Merkblatt S 3/4 bzw. [6] erfolgen (mit $a_p = k - e_z/2$; $N_F = F_{Kp}$). Die konstruktive Ausführung der Prätzenkonstruktion entscheidet dabei über das Nachweisformat. Der Doppelring mit Stegen kann z. B. durch einen entsprechenden Ringträger unter n Radiallasten R_i nach [4] oder [5] nachgewiesen werden; mit $R_i = F_{Kp} \cdot k / [h - 0,5 \cdot (e_D + e_R)]$.

9 Schrifttum

- [1] Deutscher Ausschuss für Stahlbau: Beulsicherheitsnachweise für Schalen. DASt-Richtlinie 013, Juli 1980.
- [2] Hinweise auf die Schalenbeulrichtlinie in: Mitteilungen des IfBt **4** (1981), S. 116.
- [3] *Knödel, P., u. U. Schulz*: Zur Stabilität von Schornsteinen mit Fuchsöffnungen. Stahlbau **57** (1988), H.1, S.13–21.
- [4] *Petersen, Chr.*: Stahlbau. Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1988.
- [5] Stahlbau Handbuch Band 2. Stahlbau Verlagsgesellschaft, Köln 1985.
- [6] Richtlinienkatalog Festigkeit RKF, Teil 2, BR-A 61-Tragprätzen, 3. Auflage 1979, Linde KCA-Dresden GmbH.
- [7] DIN EN 1993-1-6, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen
- [8] DIN EN 1990:2010-12, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [9] DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

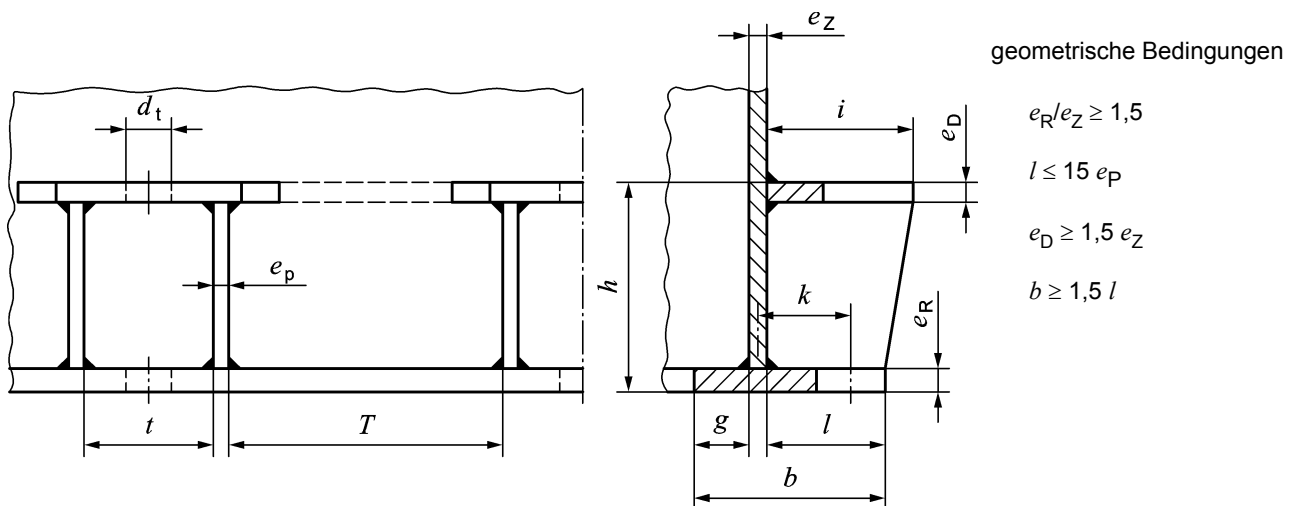


Bild 6 – Fußringkonstruktion für hohe Momentenbelastung

Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

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

Bezugsquelle:

Beuth

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