

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Februar 2004

Sonderfälle	Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter Nachweis für liegende Behälter auf Sätteln	AD 2000-Merkblatt S 3/2
--------------------	--	------------------------------------

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 G1.

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.

Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e.V. (FDBR), Düsseldorf

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Sankt Augustin

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 Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V., Postfach 10 38 34, 45038 Essen.

Inhalt

- | | |
|--|---|
| 0 Präambel | 5 Nachweis des Zylinders im Sattelbereich |
| 1 Geltungsbereich | 6 Nachweis des Sattels |
| 2 Allgemeines | 7 Schrifttum |
| 3 Formelzeichen, Einheiten und Skizzen | 8 Diagramme |
| 4 Nachweis im Zylinder (global) | |

0 Präambel

Zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräte-Richtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B + 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 Druckgeräte-Richtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

1 Geltungsbereich

1.1 Dieses AD 2000-Merkblatt dient der Erstellung von Festigkeitsnachweisen zu liegenden Behältern auf Sätteln

- Berechnung der örtlichen Beanspruchung in der Behälterwandung im Bereich der Auflagersättel,
- Nachweis des Behälters als Balkenträger,
- Tragfähigkeitsnachweis des Sattels.

1.2 Der Nachweis der örtlichen Beanspruchung im Bereich der Auflagersättel ist insbesondere notwendig bei Behältern

- mit $e/D < 0,005$,
 - aus Nichteisenmetallen,
 - großer Schlankheit,
 - mit großen Zusatzgewichten,
 - mit hoher Ausnutzung der Behälterwand durch Innendruck,
 - mit Umschlingungswinkeln der Sättel von weniger als 120°
- oder bei Unterdruck.

1.3 Der Nachweis des Behälters als Balkenträger ist im Feldbereich zwischen den Sätteln nur dann notwendig, wenn $M_{\text{Feld}} > M_{\text{Stütze}}$.

Bezüglich der konstruktiven Ausführung der Sättel wird auf [4] hingewiesen.

1.4 Dieses AD 2000-Merkblatt gilt nur unter Berücksichtigung der AD 2000-Merkblätter B 0 und S 3/0. Es gilt nicht bei übereinander angeordneten, liegenden Behältern mit Zwischensätteln. Hierzu sind gesonderte Nachweise erforderlich, z. B. nach [2].

Ersatz für Ausgabe Januar 2003; | = 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.

1.5 Für die Berechnung mit den Gleichungen dieses AD 2000-Merkblattes sollen die nachfolgenden Abmessungsbegrenzungen eingehalten werden.

$$b_1 / D \leq 0,2$$

$$b_2 / b_1 \leq 3,0$$

Bei größeren Abmessungsverhältnissen sind andere Nachweisverfahren erforderlich.

2 Allgemeines

2.1 Grundlage zur Bestimmung der zulässigen Sattellkräfte ist die Berechnung der lokalen Traglast eines aus der Schale herausgetrennten Balkens mit Rechteckquerschnitt nach [2] und [3]. Zu diesem Querschnitt wird die Biegegrenzspannung σ_{gr} bestimmt. Sie begrenzt die lokalen Biegespannungen in Abhängigkeit von den lokalen Membranspannungen und dem Auslastungsgrad durch globale Membranspannungen.

2.2 Die Berechnung der Auflagerkräfte, der Querkräfte und der Momente erfolgt an einem Balken mit Kreisquerschnitt, der gelenkig über den Sätteln gelagert ist.

2.3 Für die Berechnung nach diesem AD 2000-Merkblatt gelten folgende Voraussetzungen:

2.3.1 Übergänge vom Sattellager zur Behälterwand (Stelle 3 in Bild 2) sollen weich ausgeführt sein, um Spannungsspitzen abzumindern. Das gilt besonders für unversteifte Zylinder mit $e/D < 0,005$. Bei steifen Sattelkonstruktionen – insbesondere am Sattelhorn (z. B. Betonsättel) – kann dieses AD 2000-Merkblatt nicht angewendet werden. In einem solchen Fall kann der Nachweis der örtlichen Beanspruchung z.B. nach [1] erfolgen.

2.3.2 In Sattellagernähe sollen Schweißnähte und Stützen vermieden werden. Der Abstand von Verstärkungsblechnaht zur Stutznäht muss $> 1,1 \sqrt{D \cdot e}$ bzw. zur nächstliegenden Rundnaht und Lager oder zwischen Längsnaht und Sattelhorn mindestens $\sqrt{D \cdot e}$ betragen. Diese Bedingung gilt nicht für die Rundnaht zum gewölbten Boden. Hier soll der Abstand von Verstärkungsblechnaht zur Bodenrundnaht $\geq 3 \cdot e_b$, jedoch mind. 50 mm betragen. Die Gestaltung der Schweißnähte muss mit DIN EN 1708 vereinbar sein.

2.3.3 Die nachfolgenden Berechnungsformeln gelten bei Einhaltung folgender Bedingungen:

$$60^\circ \leq \delta_1 \leq 180^\circ$$

$$e/D \leq 0,05$$

$$\left. \begin{array}{l} e \leq e_v \leq 1,5 e \\ b_3 \geq 0,1 D \end{array} \right\} \text{ für Sattellager mit Verstärkungsblech}$$

2.3.4 $f_v \geq f$ (siehe AD 2000-Merkblatt S 3/0 Abschnitt 2.8)

2.3.5 Die Dichten der Beschickungs- und Prüfmittel sind jeweils zu beachten.

2.3.6 Die Sattellager sind im Allgemeinen an den Behälter anzuschweißen. Werden die Sattellager aus bestimmten Gründen nicht mit dem Behälter verschweißt (Fertigung, Montage, große Temperaturdehnungen, unterschiedliche Werkstoffarten), ist sicherzustellen, dass der Behälter gleichmäßig auf dem Sattel aufliegt.

2.3.7 Sind Temperaturdehnungen in Längsrichtung zu erwarten, sind ein Sattel als Festlager, die anderen als Loslager auszuführen. In Achsrichtung „weiche“ Sattellager dürfen als Festlager ausgeführt werden, wenn sie die entstehenden Dehnungen aufnehmen können.

3 Formelzeichen, Einheiten und Skizzen

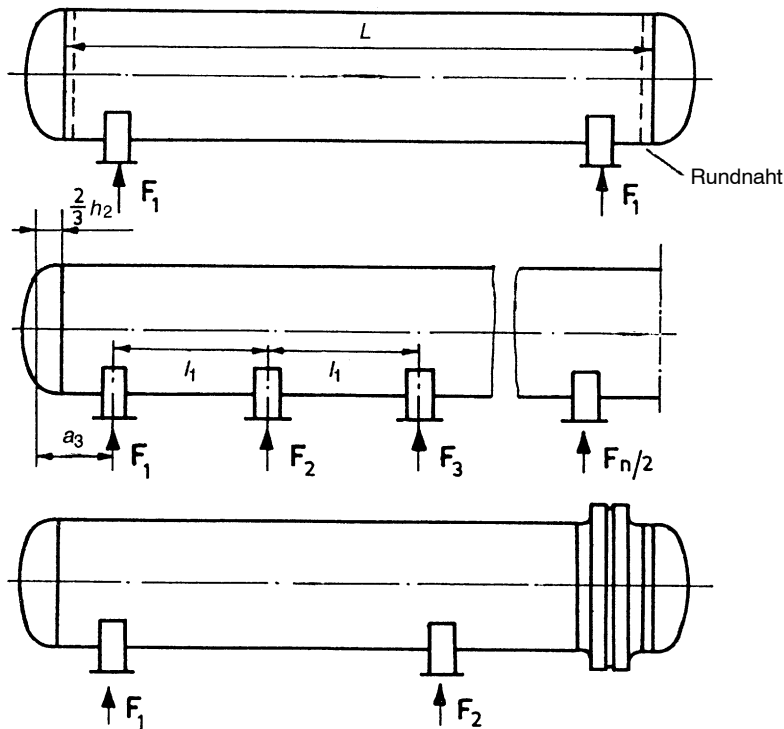
3.1 Bezeichnungen

Über die Festlegungen der AD 2000-Merkblätter B 0 und S 3/0 hinaus oder abweichend von diesen gilt:

a_1	Kraglänge des Zylinders (Bild 2)	in mm
a_2	Abstand der neutralen Faser des Versteifungsringes zur Behälterwand siehe Tabelle 3	in mm
a_3	Kraglänge des Tanks (Bild 1)	in mm
b_1	Breite des Sattellagers (Bild 2)	in mm
b_2	Breite des Verstärkungsbleches (Bild 2)	in mm
b_3	Verstärkungsblechüberstand nach Bild 2	in mm
b_e	effektive Plattenbreite (Bild 6)	in mm
e_e	Ersatzwanddicke	in mm
e_{ef}	effektive Wanddicke nach Formel (11)	in mm
e_2	Dicke des Sattelbleches	in mm
f	zulässige Spannung in der Behälterwand nach AD 2000-Merkblatt S 3/0	in N/mm ²
l_e	mittragende Länge der Zylinderwand nach Bild 2	in mm
l_2	Länge des Sattellagerblechs	in mm
n	Anzahl der Lager	-
p_f	zulässiger äußerer Überdruck	in bar
r	Radius zur neutralen Faser des Verstärkungsringes	in mm
t	Dicke des mit der Schale verschweißten Versteifungsringes (Bild 2)	in mm
D	Innendurchmesser der Zylinderschale	in mm
F_e	Ersatz-Axialkraft aus den örtlichen Membranspannungen am Lager i nach Formel (6)	in N
F_i	vorhandene Sattellast im Lager i	in N
F_N	zulässige Axialkraft aus Stabilität	in N
G	Gesamtgewicht je Lastfall	in N
K_1 bis K_{14}	Beiwerte	-
L	Zylinderlänge einschließlich h_1	in mm
M_i	vorhandenes Moment über Lager i	in Nmm
Q_i	vorhandene Querkraft über Lager i	in N
W	Widerstandsmoment	in mm ³
β	Beiwert für die Lagerbreite	in rad
δ_1	Umschlingungswinkel des Sattellagers	in °
δ_2	Umschlingungswinkel des Sattelblechs	in °
φ	Stabilitätsbeiwert für Plattenbeulung nach Formel (19)	-
ω	Beiwert zur Bestimmung von F_i nach Bild 9	-
ϑ_1	Verhältnis der lokalen Membranspannungen zu den lokalen Biegespannungen	-
$\vartheta_{2,i}$	Auslastungsgrad der Schale durch globale Membranspannungen an Stelle i	-
ε	Dehnungskennzahl	-
γ	Beiwert für den Bodenabstand	-
σ_{mx}	globale Membranspannung aus Biegung in Längsrichtung	in N/mm ²
σ_{gr}	Biegegrenzspannung	in N/mm ²
ψ	Teilumschließungswinkel nach Bild 8	in °

Indizes

- b Behälterboden
- p plastisch
- r Versteifungsring


A

Behälter symmetrisch
auf 2 Sattellagern

B

Behälter symmetrisch
auf 3 oder mehr Sattellagern

C

(Beispiel)
Behälter beliebig gelagert
(außer A und B)

Bild 1. Lagerungsarten

s Sattel
v Verstärkungsblech
A Schnitt A-A

3.2 Skizzen

Die nachfolgenden Bilder sind nur Prinzipskizzen zur Verdeutlichung der für die Berechnung erforderlichen Maßangaben.

4 Nachweis im Zylinder (global)

4.1 Überschlägiger Tragfähigkeitsnachweis

Für Behälter auf zwei Sattellagern nach Lagerungsart A in Bild 1 können die Nachweise nach den Abschnitten 4.2 bis 5 entfallen, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$L \leq L_{\max} \quad (\text{siehe Bild 3})$$

$$p \geq 0$$

$$f \geq 130 \text{ N/mm}^2$$

$$a_1 \leq 0,5D$$

$$b_1 \geq 1,1 \sqrt{D \cdot e}$$

$$v \geq 0,8$$

$$b_2 \geq K_{11} \cdot D + 1,5b_1 \quad \left. \vphantom{b_2 \geq K_{11} \cdot D + 1,5b_1} \right\} \text{ für Sattellager mit Verstärkungsplatte}$$

$$e_v \geq e$$

$$\text{Füllgutdichte} \leq 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$K_{11} \text{ siehe Abschnitt 5.2.2.1}$$

4.2 Vorhandene Schnittgrößen

Die vorhandenen Auflagerkräfte F_i , Stützmomente M_i und Querkraft Q_i über den Sätteln sowie die Feldmomente zwischen den Lagern werden an einem Balken mit Kreisquerschnitt ermittelt (siehe Bild 4). Dies kann mit den

nachfolgenden Näherungslösungen und/oder mit den Regeln der Statik erfolgen.

Als Belastung ergibt sich

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3} \cdot h_2}$$

$$M_0 = \frac{q \cdot D^2}{16}$$

4.2.1 Auflagerkräfte

Für Lagerungsart A und B (siehe Bild 1):

$$F_i = \frac{\omega_i \cdot G}{n}$$

$$\omega_i = \begin{cases} 1,0 & \text{für } n = 2 \\ \text{nach Bild 9} & \text{für } 3 \leq n \leq 8 \end{cases}$$

Für Lagerungsart C sind die Auflagerkräfte nach den Regeln der Statik zu bestimmen.

4.2.2 Momente und Querkräfte

Die Momente sind über den Lagern sowie im Feldbereich zwischen den Lagern zu bestimmen.

Lagerungsart A:

Stützmoment

$$M_1 = M_2 = \frac{q \cdot a_3^2}{2} - M_0$$

Querkraft

$$Q_i = \frac{(L - 2a_1)}{(L + \frac{4}{3} \cdot h_2)} \cdot F_i$$

Feldmoment

$$M = M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a_1 \right) - \frac{q}{2} \cdot \left(\frac{L}{2} + \frac{2}{3} h_2 \right)^2$$

Lagerungsart B:

Stützmoment

$$M_i = \begin{cases} \max \{ q \cdot l_i^2 / 8; q \cdot a_3^2 / 2 - M_0 \} & i = 1, n \\ q \cdot l_i^2 / 8 & i = 2 \dots n - 1 \end{cases}$$

Querkraft

$$Q_i \approx F_i / 2$$

Feldmoment nicht maßgebend

Lagerungsart C:

Die Ermittlung der Stützmomente, Querkräfte und Feldmomente erfolgt nach den Regeln der Statik.

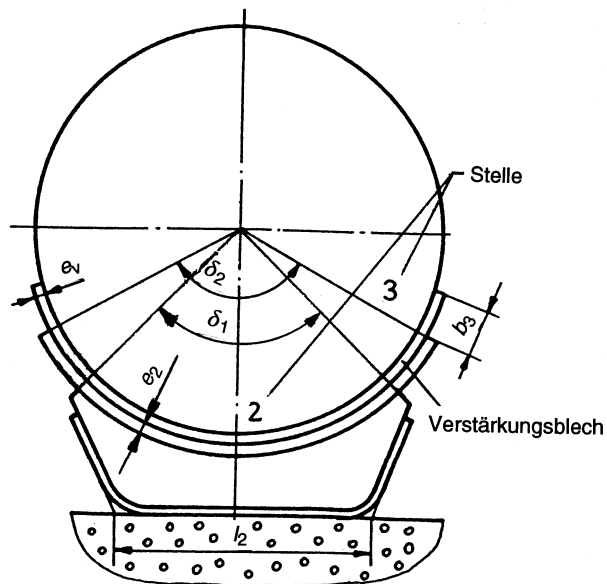
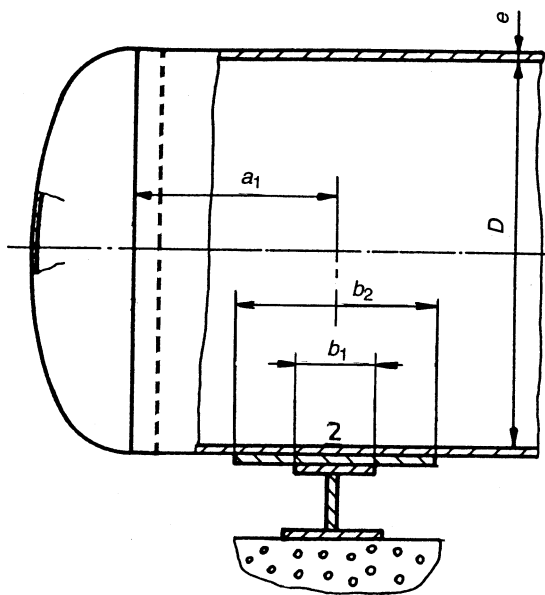
4.3 Nachweis im Feldbereich

Die folgenden Nachweise zwischen den Lagern im Feldbereich des Behälters sind nur erforderlich, wenn $|M_{\text{Feld}}| > |M_{\text{Stütze}}|$.

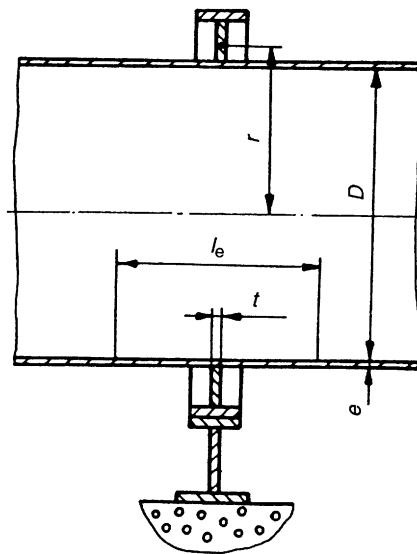
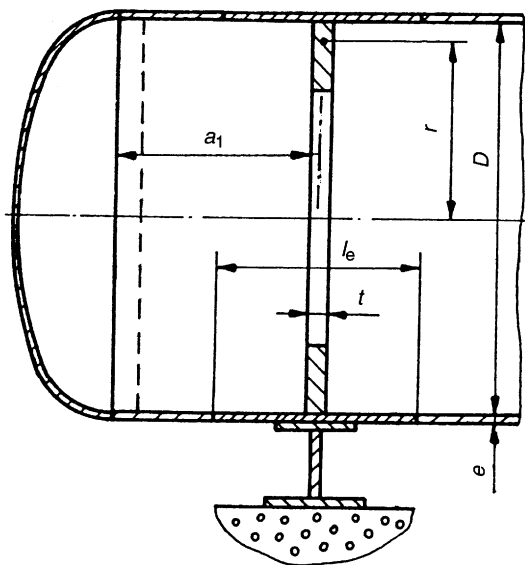
4.3.1 Behälter mit und ohne Überdruck

Festigkeitsnachweis

$$\frac{p \cdot D}{40 \cdot e \cdot v} + \frac{4 \cdot |M_{\text{Feld}}| \cdot K_{14}}{\pi \cdot D^2 \cdot e \cdot v} \leq f \quad (1)$$



a) Lagerbereich: Unversteifte Zylinderschale
(gezeichnet mit Verstärkungsblech, gültig auch ohne Verstärkungsblech)



b) Lagerbereich: Zylinderschale mit Versteifungsringen

Bild 2. Sattelausführungen

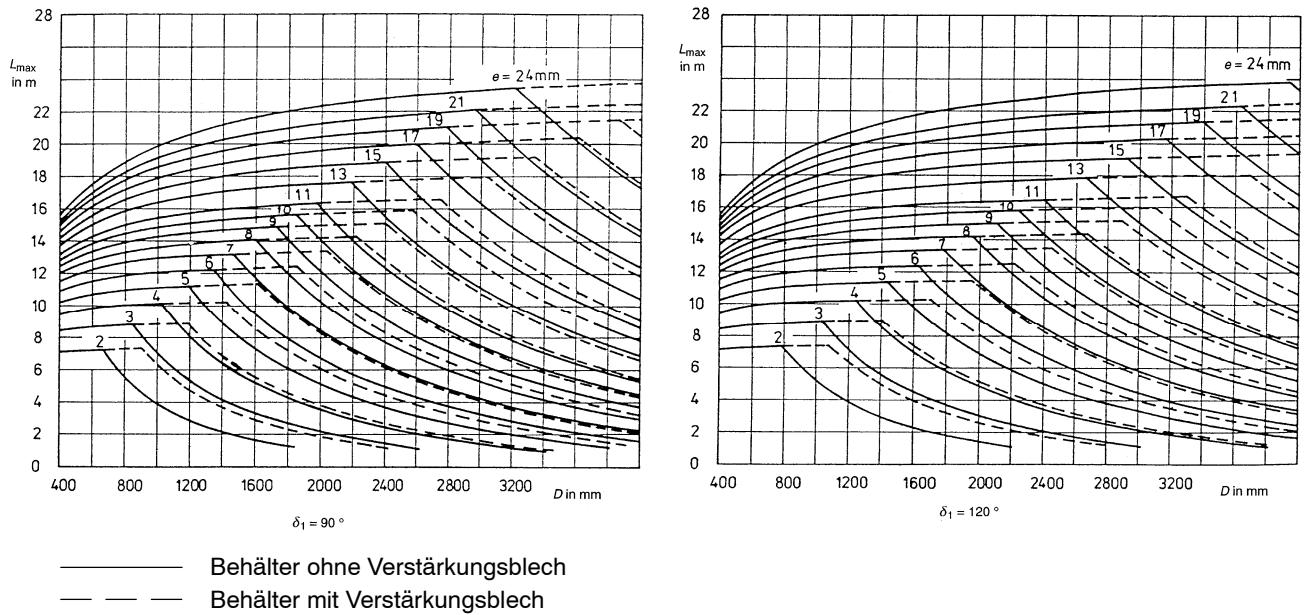


Bild 3. L_{\max} für Behälter auf zwei Sätteln

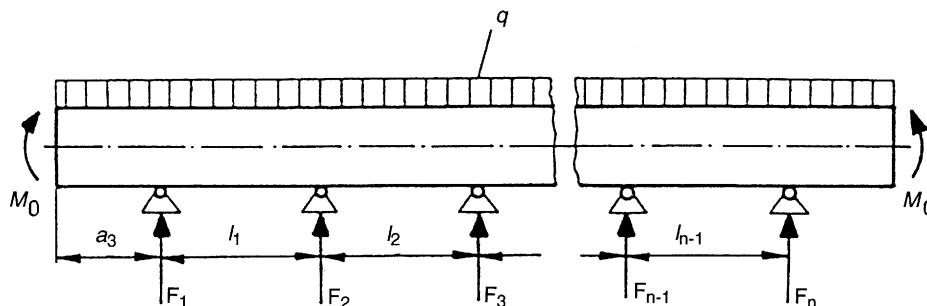


Bild 4. Berechnungsmodell

$\nu \leq 1$ falls Rundnaht an der Nachweisstelle ist
 bzw.
 $\nu_A \leq \nu \leq 1$ nach AD 2000-Merkblatt B 9, wenn Ausschnitt an der Nachweisstelle ist
 K_{14} siehe Abschnitt 8
 Der Stabilitätsnachweis für die Druckzone ist nach [5] oder [6] mit $p = 0$ zu führen.

4.3.2 Behälter mit äußerem Überdruck

Es erfolgt nur der Stabilitätsnachweis in der Druckzone des Behälters nach [5] oder [6] unter zusammengesetzter Beanspruchung.

5 Nachweis des Zylinders im Sattelbereich

Es ist nachzuweisen, dass

$$F_i \leq \min \{ \text{zul } F_2; \text{zul } F_3 \}$$

mit

zul F_2 zulässige Auflagerkraft aus der Beanspruchung in Längsrichtung (Stelle 2 in Bild 2) nach Formel (3)

zul F_3 zulässige Auflagerkraft aus der Beanspruchung in Umfangsrichtung (Stelle 3 in Bild 2) nach Formel (4)

Zur Ermittlung der zul F_i ist die Berechnung der folgenden Parameter erforderlich:

5.1 Biegegrenzspannung

Die Biegegrenzspannung σ_{gr} ist nach Formel (2) zu berechnen:

$$\sigma_{gr} = \frac{K_1 \cdot f \cdot S}{K_2} \quad (2)$$

$$K_2 = \begin{cases} 1,2 & \text{für Betriebszustand mit } S = 1,5 \\ 1,0 & \text{für Prüf- und Montagezustand mit } S' = 1,1 \end{cases}$$

K_1 = Beiwert in Abhängigkeit von ϑ_1 und ϑ_2 nach Abschnitt 5.2.1.1

$$K_1 = \begin{cases} \text{mit } K_1 \geq 0 \text{ für } |\vartheta_1| \neq 0: \\ \left(\frac{1 + 3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3\vartheta_1^2} \right) \left(\pm \sqrt{\frac{9\vartheta_1^2(1 - \vartheta_2^2)}{(1 + 3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2)^2} + 1} - 1 \right) \\ \text{für } \vartheta_1 = 0: \\ 1,5(1 - \vartheta_2^2) \end{cases}$$

Tafel 1. ϑ_1 , $\vartheta_{2,1}$ und $\vartheta_{2,2}$ -Werte zur Ermittlung von $\sigma_{gr,2}$ und $\sigma_{gr,3}$ in Abhängigkeit von K_1 und K_2

Stelle	ϑ_1	$\vartheta_{2,1}$	$\vartheta_{2,2}$
2	$-\frac{0,23 \cdot K_6 \cdot K_8}{K_5 \cdot K_3}$	$-\sigma_{mx} \cdot \frac{K_2}{S \cdot f}$	$\left(\frac{p \cdot D}{40 e} - \sigma_{mx}\right) \cdot \frac{K_2}{S \cdot f}$
3	$-\frac{0,53 \cdot K_4}{K_7 \cdot K_9 \cdot K_{10} \cdot \sin(0,5 \delta_1)}$	0	$\frac{p \cdot D}{20 e} \cdot \frac{K_2}{S \cdot f}$
K_2, S wie in Formel (2) K_3, K_4, K_{10} Einfluss der Lagerbreite b_1 K_5, K_6, K_7 Einfluss des Umschlingungswinkels δ_1 K_8, K_9 Einfluss des Bodenabstands a_1			

Wenn $\vartheta_2 < 0$, ist $\vartheta_2 = |\vartheta_2|$ zu setzen und das Vorzeichen von ϑ_1 umzukehren. Nachzurechnen sind jeweils der Betriebs- und der Prüfzustand, der drucklose Zustand mit Füllung sowie angegebene Montage- und Sonderzustände.

5.2 Tragfähigkeitsnachweis ohne Versteifungsringe

Die Tragfähigkeit ist an den Stellen 2 (Längsrichtung) und 3 (Umfangsrichtung) des Lagerbereichs nach Bild 2 zu ermitteln.

5.2.1 Zylinderschale ohne Verstärkungsblech

5.2.1.1 Festigkeitsnachweis

$$\text{zul } F_2 = 0,7 \cdot \sigma_{gr,2} \cdot \sqrt{D \cdot e} \cdot \frac{e}{K_3 \cdot K_5} \quad (3)$$

$$\text{zul } F_3 = 0,9 \cdot \sigma_{gr,3} \cdot \sqrt{D \cdot e} \cdot \frac{e}{K_7 \cdot K_9 \cdot K_{10}} \quad (4)$$

$\sigma_{gr,2}$ und $\sigma_{gr,3}$ nach Formel (2) und Tafel 1. Dabei ist K_1 mit den Größen ϑ_1 und ϑ_2 nach Tafel 1 zu berechnen. Es ist jeweils der Wert für ϑ_2 ($\vartheta_{2,1}$ bzw. $\vartheta_{2,2}$) zu nehmen, der das kleinste σ_{gr} ergibt.

$$\sigma_{mx} = \left| \frac{4 M_i}{\pi \cdot D^2 \cdot e} \right| \quad (5)$$

Beiwerte für

– den Bodenabstand

$$\gamma = 2,83 \cdot \frac{a_1}{D} \cdot \sqrt{\frac{e}{D}}$$

– die Lagerbreite

$$\beta = 0,91 \cdot \frac{b_1}{\sqrt{D \cdot e}}$$

$$K_3 = \max \left\{ \frac{2,718282^{-\beta} \cdot \sin \beta}{\beta}; 0,25 \right\}$$

$$K_4 = \frac{1 - 2,718282^{-\beta} \cdot \cos \beta}{\beta}$$

$$K_5 = \frac{1,15 - 0,1432 \delta_1}{\sin(0,5 \delta_1)}$$

$$K_6 = \frac{\max \left\{ 1,7 - \frac{2,1 \delta_1}{\pi}; 0 \right\}}{\sin(0,5 \delta_1)}$$

$$K_7 = \frac{1,45 - 0,43 \delta_1}{\sin(0,5 \delta_1)}$$

$$K_8 = \min \left\{ 1,0; \frac{0,8 \sqrt{\gamma + 6 \gamma}}{\delta_1} \right\}$$

$$K_9 = 1 - \frac{0,65}{1 + (6 \cdot \gamma)^2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{3 \delta_1}}$$

$$K_{10} = \frac{1}{1 + 0,6 \sqrt[3]{\frac{D}{e}} \cdot \frac{b_1}{D} \cdot \delta_1}$$

5.2.1.2 Stabilitätsnachweis

Mit Formel (6)

$$F_e = F_i \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{D}{e}} \cdot K_6 \cdot K_8 \quad (6)$$

ist nachzuweisen:

$$\frac{|p|}{p_i} + \frac{|M_i|}{\text{zul } M} + \frac{F_e}{F_N} + \left(\frac{|Q_i|}{\text{zul } Q} \right)^2 \leq 1 \quad (7)$$

Für $p > 0$ ist $p = 0$ zu setzen.

Dieser Interaktionsnachweis kann nach [2], [5] oder [6] geführt werden. Dabei ist nach [6] Abschnitt 2.2.4.1

$$\sum \sigma_x = \frac{4 M_i}{\pi (D + e)^2 e} + \frac{F_e}{\pi (D + e) e}$$

$$\text{und } \gamma = \begin{cases} 1,5 & \text{Betriebsgewicht} \\ 1,3 & \text{Prüfzustand} \\ 1,15 & \text{Montage-, Sonderzustände} \end{cases}$$

5.2.2 Zylinderschalen mit Verstärkungsblech

5.2.2.1 Vereinfachter Festigkeitsnachweis

Wenn die Bedingung

$$b_2 \geq K_{11} \cdot D + 1,5 b_1$$

erfüllt ist, ist der Nachweis nach Formel (8) zu führen.

$$F_i \leq 1,5 \min \{ \text{zul } F_2; \text{zul } F_3 \} \quad (8)$$

zul F_2 , zul F_3 nach Abschnitt 5.2.1.1.

$$K_{11} = \frac{5}{6 \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{e}} \cdot \delta_1}$$

Der Stabilitätsnachweis erfolgt nach Abschnitt 5.2.1.2, dabei darf die Dicke des Verstärkungsblechs nicht berücksichtigt werden.

5.2.2.2 Festigkeitsnachweis

Wenn die Bedingung nach Formel (8) nicht erfüllt ist, sind Nachweise nach Abschnitt 5.2.1.1 für zwei Fälle durchzuführen:

- (1) Das Verstärkungsblech ist als Sattellager mit der Breite b_2 und dem Umschlingungswinkel δ_2 zu betrachten. In allen Formeln und Bildern ist b_1 durch b_2 und δ_1 durch δ_2 zu ersetzen. Als Wanddicke der Schale gilt e , die Dicke des Verstärkungsblechs bleibt unberücksichtigt.
- (2) Das Verstärkungsblech ist als Verstärkung der Behälterwand zu betrachten. In allen Formeln und Bildern ist e durch die Ersatzwanddicke

$$e_e = e \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{e_v}{e}\right)^2}$$

zu ersetzen.

Der Stabilitätsnachweis ist nach Abschnitt 5.2.1.2 zu führen, dabei darf die Verstärkungsblechdicke nicht berücksichtigt werden.

5.3 Tragfähigkeitsnachweis mit Versteifungsring

5.3.1 Nachweis der Behälterwand

5.3.1.1 Mit und ohne Überdruck

- Festigkeitsnachweis:

$$\frac{p \cdot D}{40 e} + \sigma_{mx} \leq f \quad (9)$$

σ_{mx} nach Abschnitt 5.2.1.1 Formel (5)

- Stabilitätsnachweis:

Nach Abschnitt 5.2.1.2 mit $p = 0$ und $F_e = 0$.

5.3.1.2 Mit Unterdruck

Der Nachweis erfolgt nach Abschnitt 5.2.1.2 mit $F_e = 0$

5.3.2 Nachweis des Versteifungsringes

Es ist nachzuweisen, dass

$$F_i \leq \frac{K_{12} \cdot M_p \cdot v}{0,5 D \pm a_2} \quad (10)$$

(+) Ringe außen angeordnet

(-) Ringe innen angeordnet

M_p zulässiges Biegemoment aus der Traglast nach Tafel 3 mit l_e nach Formel (12) und e_{ef} nach Formel (11)

K_{12} nach Tafel 2

v Nahtwertigkeit im Ringstoß

$$e_{ef} = e \cdot \left(1 - \frac{|p| \cdot D}{20 \cdot e \cdot f}\right) \cdot \frac{f}{f_r} \quad (11)$$

$$l_e = \min \left\{ t + 4 \sqrt{D \cdot e}; A_r / e_{ef} \right\} \quad (12)$$

mit A_r = Fläche des aufgeschweißten Ringes

mit $t = \{t, t_6, b_4\}$ aus Tafel 3, wobei für t die jeweils zutreffende Größe aus t, t_6 und b_4 einzusetzen ist.

Werden Profile verwendet, die nicht in Tafel 3 enthalten sind, ist M_p nach Formel (13) zu bestimmen.

$$M_p = W_p \cdot f_r \quad (13)$$

W_p = plastisches Widerstandsmoment der Querschnittsfläche des Profils einschließlich der Fläche $l_e \cdot e_{ef}$. Die neutrale Achse zur Bestimmung von a_2 teilt die Gesamtfläche in zwei Teile gleicher Größe.

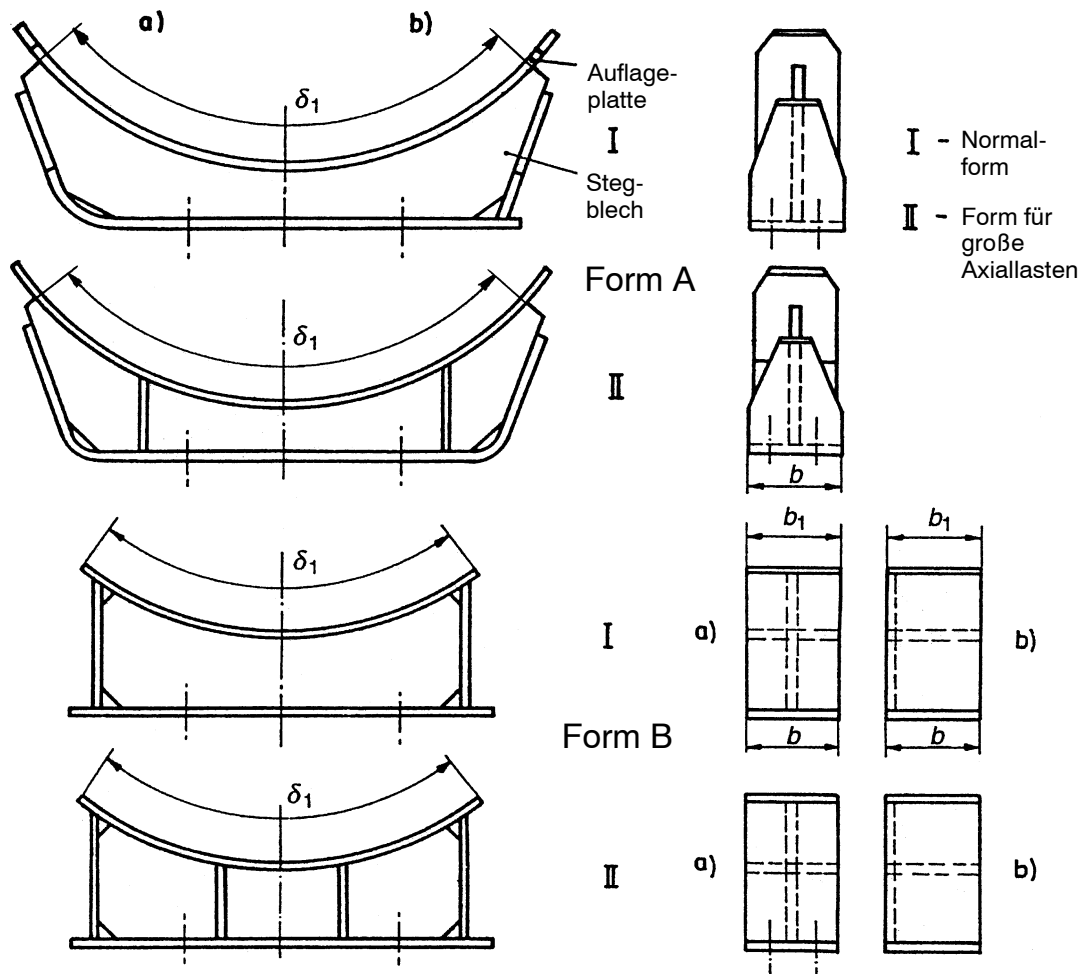
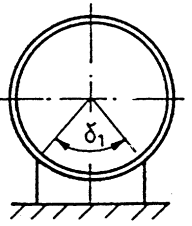
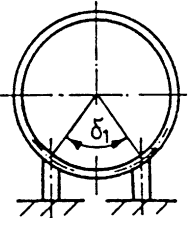


Bild 5. Sattellagerformen

Tafel 2. Beiwert K_{12}

δ_1		
	K_{12}	
60°	14	-
90°	21	20
120°	33	28
150°	56	50
180°	103	-

6 Nachweis des Sattels

Im Allgemeinen werden die zulässigen Kräfte von der Tragfähigkeit der Behälterwand bestimmt (s. Abschnitt 5). Die Formeln in Abschnitt 6 sind Näherungsformeln, die zu Ergebnissen führen, die auf der sicheren Seite liegen. Sie beziehen sich auf die Sattellagerformen A I; auf Besonderheiten der anderen Formen wird in den entsprechenden Abschnitten verwiesen.

6.1 Zulässige Sattelkräfte

Der Nachweis wird nach Formel (14) geführt.

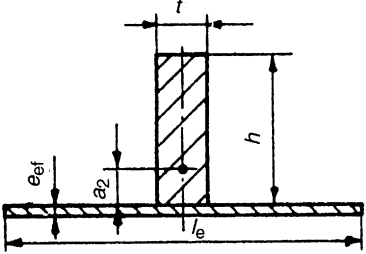
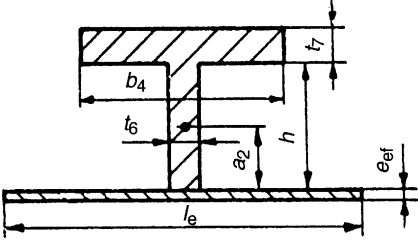
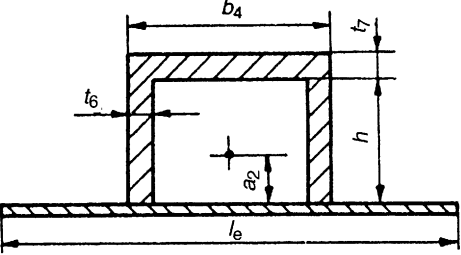
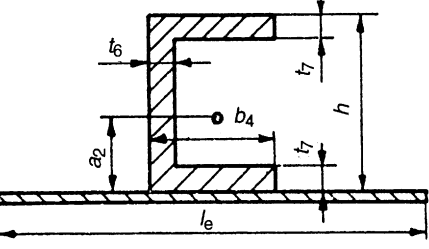
$$F_i \leq \min \{ \text{zul } F_4; \text{ zul } F_5; \text{ zul } F_6 \} \quad (14)$$

zul F_4 Stabilität des Stegblechs nach Formel (15)

zul F_5 Biegung des Sattels nach Formel (16)

zul F_6 Biegung des Sattelblechs nach Formel (17)

Tafel 3. Querschnittswerte von Verstärkungsringen

Querschnitt des Ringes	$a_2 \geq 0$	M_p
	$\frac{t \cdot h - l_e \cdot e_{ef}}{2t}$	$0,5 \cdot \left[t \cdot (h - a_2)^2 + t \cdot a_2^2 + (2a_2 + e_{ef}) \cdot l_e \cdot e_{ef} \right] \cdot f_r$
	$\frac{b_4 \cdot t_7 + h \cdot t_6 - l_e \cdot e_{ef}}{2t_6}$	$0,5 \cdot \left[t_6 (h - a_2)^2 + t_6 a_2^2 + (2h - 2a_2 + t_7) b_4 \cdot t_7 + (2a_2 + e_{ef}) l_e \cdot e_{ef} \right] \cdot f_r$
	$\frac{2t_6 \cdot h + b_4 \cdot t_7 - l_e \cdot e_{ef}}{4 \cdot t_6}$	$0,5 \cdot \left[2t_6 (h - a_2)^2 + 2t_6 a_2^2 + (2h - 2a_2 + t_7) b_4 \cdot t_7 + (2a_2 + e_{ef}) l_e \cdot e_{ef} \right] \cdot f_r$
	$\frac{h \cdot t_6 - l_e \cdot e_{ef}}{2t_6}$	$0,5 \cdot \left[t_6 \cdot (h - a_2)^2 + 2 \cdot t_7 (b_4 - t_6) \cdot (h - t_7) + a_2^2 \cdot t_6 + (2a_2 + e_{ef}) \cdot l_e \cdot e_{ef} \right] \cdot f_r$

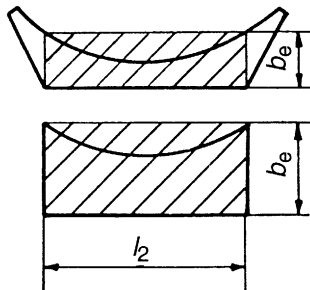


Bild 6.

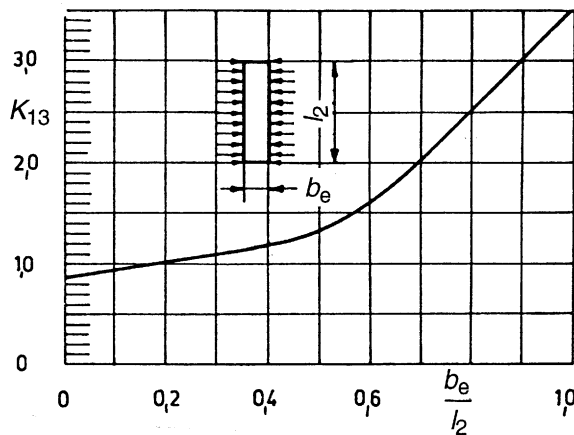


Bild 7. Beiwert K_{13}

6.1.1 Stabilität des Stegblechs

Für die Lagerformen A II und B II kann der Nachweis entfallen.

$$\text{zul } F_4 = l_2 \cdot e_s \cdot f_s \cdot \varphi \quad (15)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{0,15 \varepsilon_s}{K_{13}} \left(\frac{b_e}{10 e_s} \right)^2 \right]^2}}$$

$$\varepsilon_s = \frac{f_s \cdot 10^3}{E_s}$$

6.1.2 Biegung des Sattellagers

Für Lagerform B kann der Nachweis entfallen.

$$\text{zul } F_5 = 4 f_s \cdot |W_A| \cdot \frac{\sin(0,5 \delta_1)}{D \cdot (1 - \cos \psi)} \quad (16)$$

W_A = minimales Widerstandsmoment in Schnitt A-A

6.1.3 Biegung im Sattelblech

$$\text{zul } F_6 = \max \left\{ \frac{1,4 f_s \cdot D \cdot e_2^2 \cdot \sin(0,5 \delta_2)}{b_1}, 2 f_s \cdot b_1 \cdot e_2 \cdot \sin(0,5 \delta_2) \right\} \quad (17)$$

1. Ausdruck: Biegung eines Plattenstreifens

2. Ausdruck: Zugspannung der Schale

Ist $F_i > \text{zul } F_6$, muss die Tragfähigkeit des Sattellagers noch nicht erreicht sein, da in diesem Fall durch Fließen des Sattelbleches eine Umlagerung der Kräfte direkt auf das Stegblech erfolgt. In Abschnitt 5 wird jedoch vorausgesetzt, dass $F_i \leq \text{zul } F_6$.

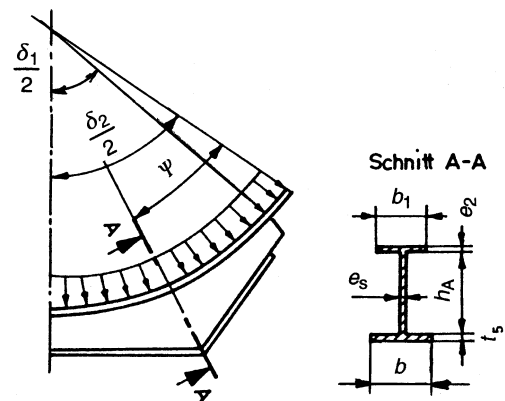
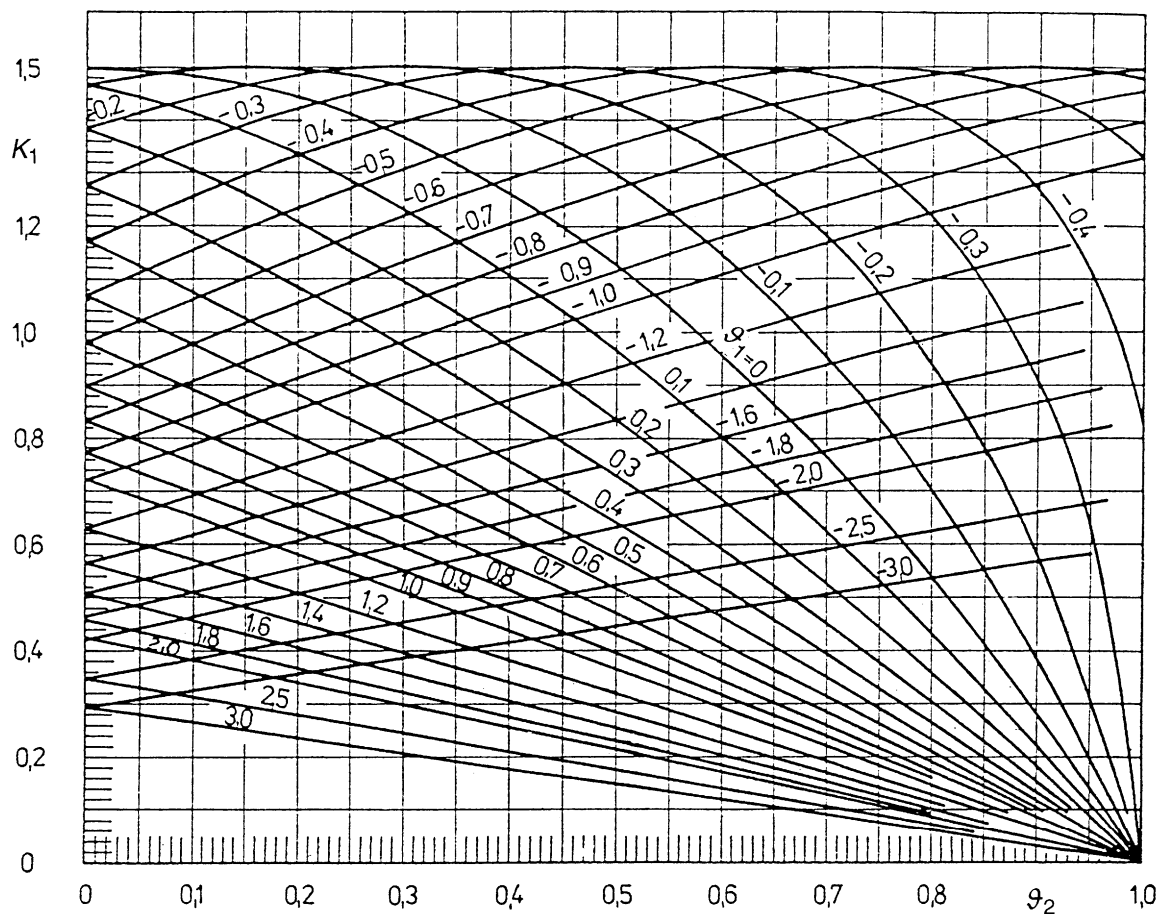


Bild 8. Biegung des Sattellagers

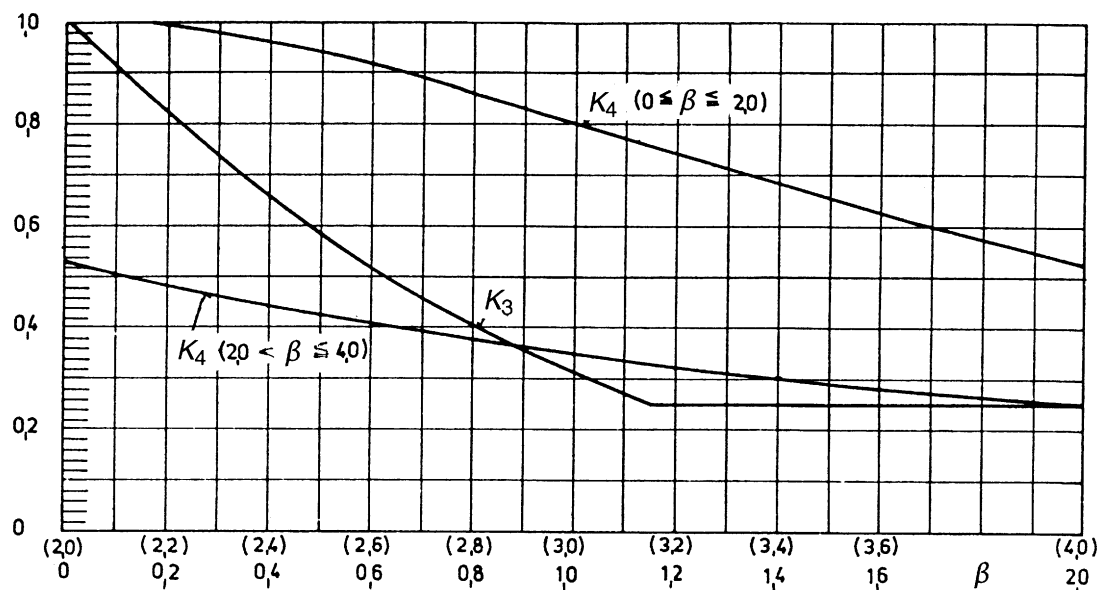
7 Schrifttum

- [1] British Standard 5500: „Specification for unfired fusion welded pressure vessels – Appendix A and G“. British Standards Institution.
- [2] Richtlinienkatalog Festigkeit RKF, Teil 3, BR B2: „Behälter auf Sattellagern“, 3. Auflage 1981. Linde-KCA-Dresden GmbH.
- [3] TGL 32903/17, Ausgabe Juni 1982: „Behälter und Apparate, Festigkeitsberechnung, Schalen bei Belastung durch Tragelemente“.
- [4] DIN 28080, Ausgabe Januar 1986: „Sättel für liegende Apparate“.
- [5] DIN 18800 Teil 1–4, November 1990: „Stahlbauten“.
- [6] DAST-Richtlinie 013, Ausgabe Juli 1980: „Beulsicherheitsnachweise für Schalen“.

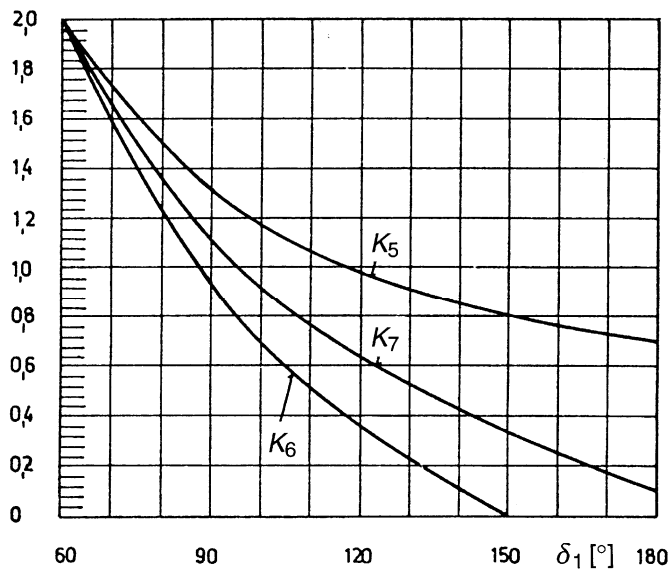
8 Diagramme



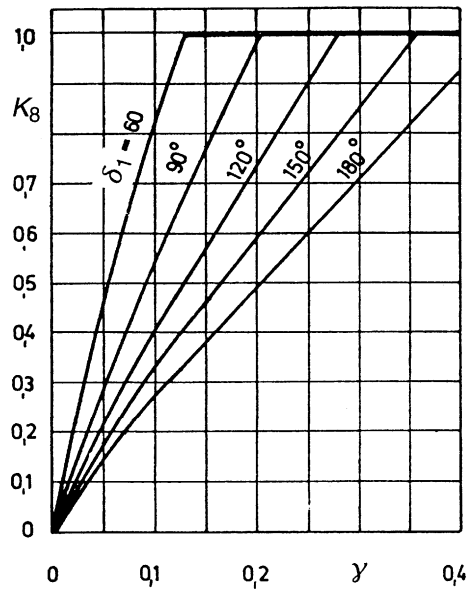
Beiwert K_1



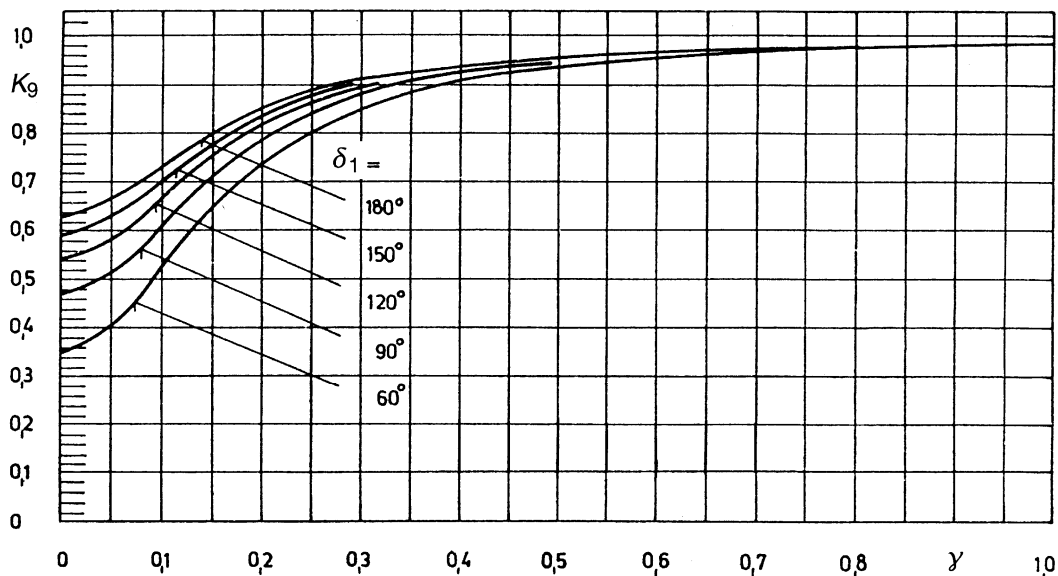
Beiwerte K_3, K_4



Beiwerte K_5, K_6, K_7



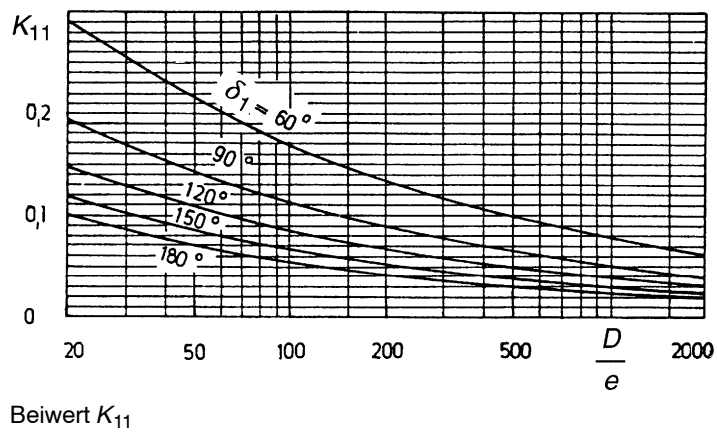
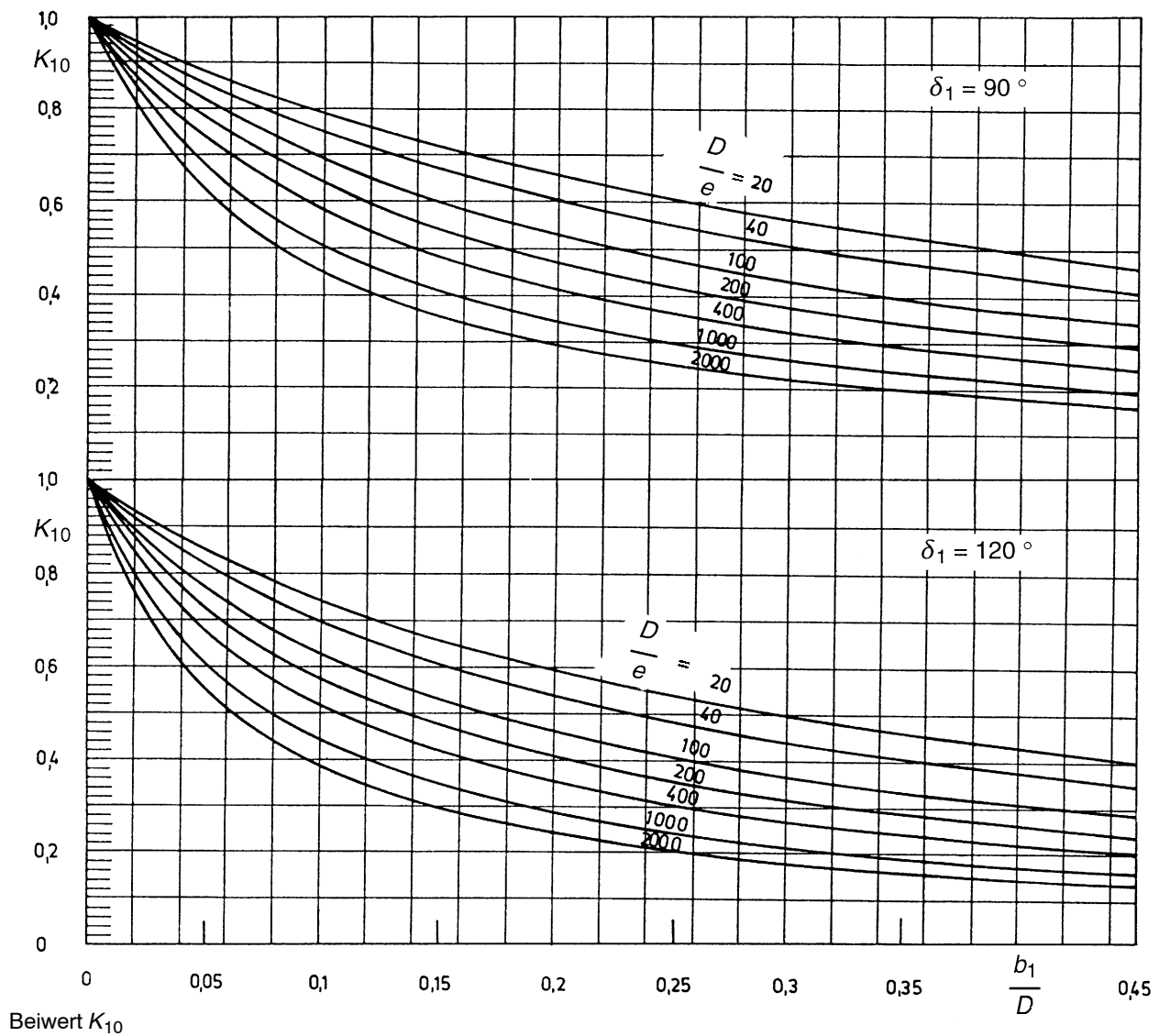
Beiwert K_8

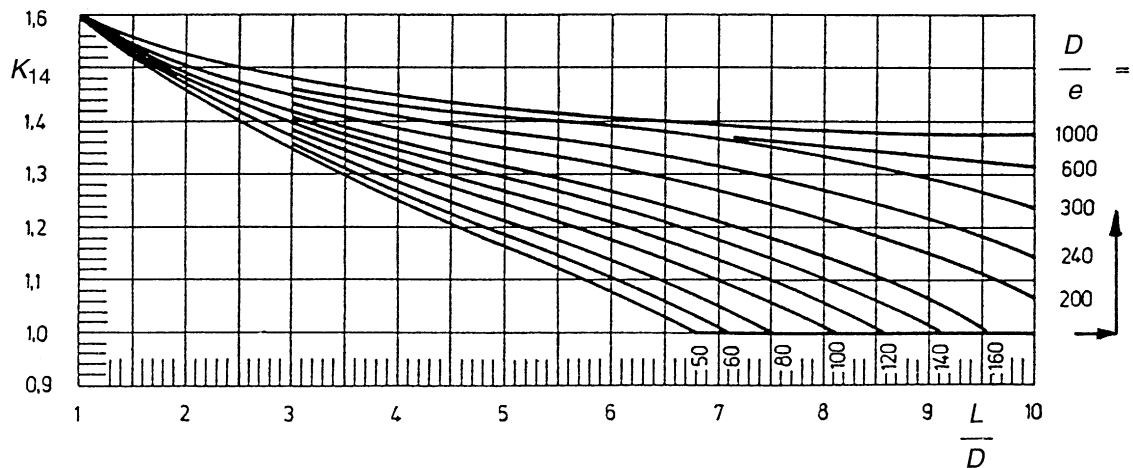


Beiwert K_9

AD 2000-Merkblatt

Seite 12 AD 2000-Merkblatt S 3/2, Ausg. 02.2004





Beiwert K_{14}

$$z = 1,6 - 0,20924 (x - 1) + 0,028702 x (x - 1) + 0,4795 \cdot 10^{-3} y (x - 1) - 0,2391 \cdot 10^{-6} xy (x - 1) - 0,29936 \cdot 10^{-2} \cdot (x - 1) x^2 - 0,85692 \cdot 10^{-6} (x - 1) y^2 + 0,88174 \cdot 10^{-6} x^2 (x - 1) y - 0,75955 \cdot 10^{-8} y^2 (x - 1) x + 0,82748 \cdot 10^{-4} \cdot (x - 1) x^3 + 0,48168 \cdot 10^{-9} (x - 1) y^3$$

$$y = \frac{D}{e} \quad x = \frac{L}{D} \quad K_{14} = \max \{z; 1,0\}$$

Gleichungen zur Bestimmung von K_{14}

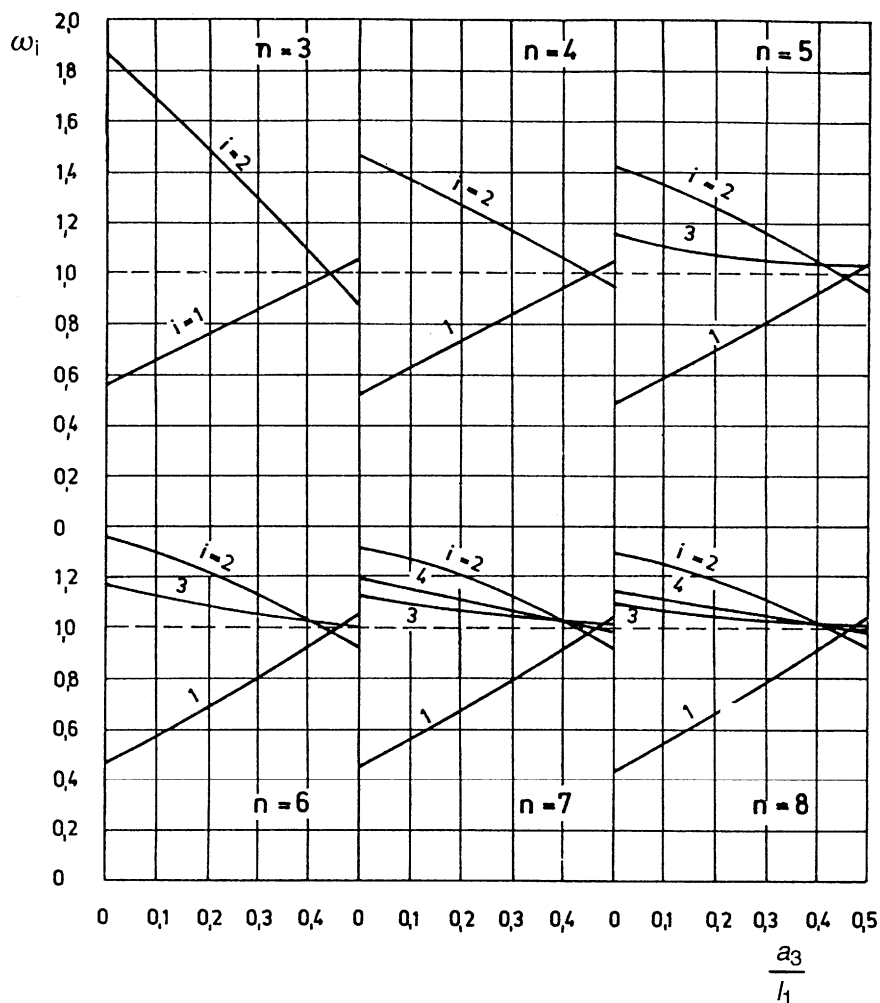


Bild 9. Beiwert ω_i

Herausgeber:



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
info@beuth.de
www.beuth.de