

# AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Februar 2004

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

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 Sattelnbereich
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  $120^\circ$  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.

# AD 2000-Merkblatt

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

**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  $\sigma_{gr}$  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 abzumildern. 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 Stützennaht 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:

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

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

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

**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

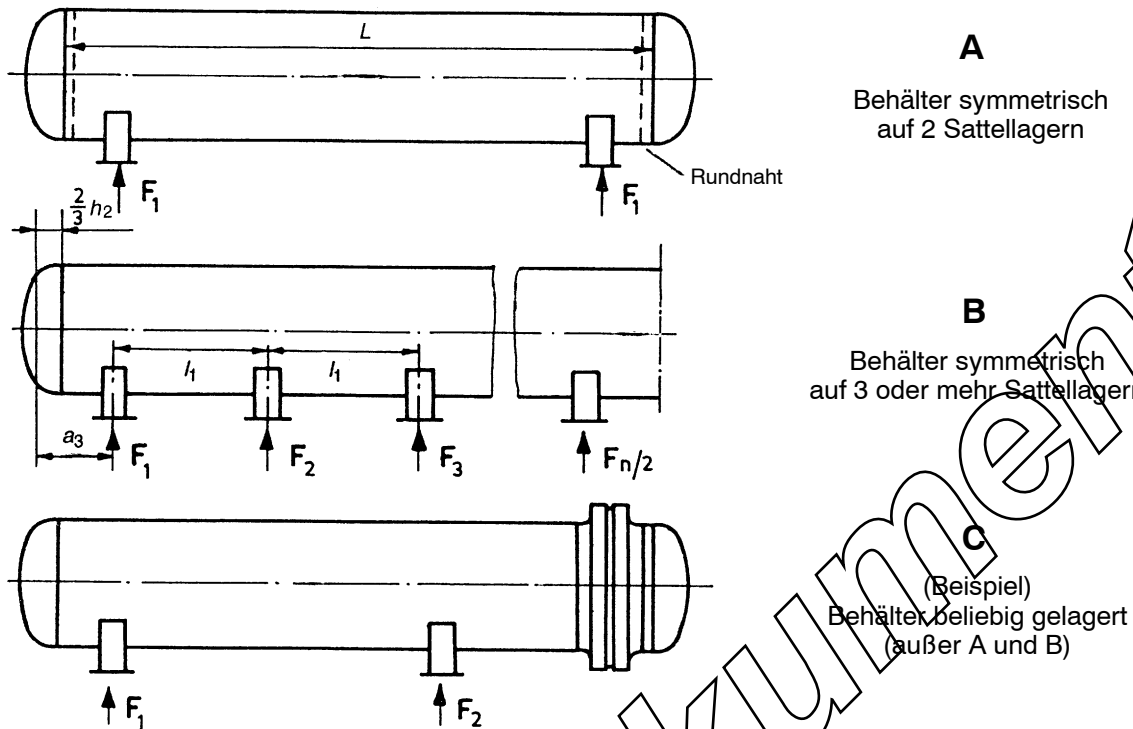
### 3.1 Bezeichnungen

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 <sup>2</sup>
$l_e$	mitttragende 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 Versteifungsringes	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 <sup>3</sup>
$\beta$	Beiwert für die Lagerbreite	in rad
$\delta_1$	Umschlingungswinkel des Sattellagers	in °
$\delta_2$	Umschlingungswinkel des Sattelblechs	in °
$\varphi$	Stabilitätsbeiwert für Plattenbeulung nach Formel (19)	-
$\omega$	Beiwert zur Bestimmung von $F_i$ nach Bild 9	-
$\vartheta_1$	Verhältnis der lokalen Membranspannungen zu den lokalen Biegespannungen	-
$\vartheta_{2,i}$	Auslastungsgrad der Schale durch globale Membranspannungen an Stelle $i$	-
$\varepsilon$	Dehnungskennzahl	-
$\gamma$	Beiwert für den Bodenabstand	-
$\sigma_{mx}$	globale Membranspannung aus Biegung in Längsrichtung	in N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{gr}$	Biegegrenzspannung	in N/mm <sup>2</sup>
$\psi$	Teilumschließungswinkel nach Bild 8	in °

### Indizes

- b Behälterboden
- p plastisch
- r Versteifungsring



**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 Überschlüssiger 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:

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

$$p \geq 0$$

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

$$a_1 \leq 0,5D$$

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

$$v \geq 0,8$$

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

$$e_v \geq e$$

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

$K_{11}$  siehe Abschnitt 5.2.2.1

### 4.2 Vorhandene Schnittgrößen

Die vorhandenen Auflagerkräfte  $F_i$ , Stützmomente  $M_i$  und Querkräfte  $Q_i$  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

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