

# AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe November 2014

<b>Berechnung von Druckbehältern</b>	<b>Berechnung von Druckbehältern</b>	<b>AD 2000-Merkblatt B 0</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 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. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

**Verband der TÜV e. V., Friedrichstraße 136, 10117 Berlin.**

## Inhalt

	Seite
0 Präambel .....	2
1 Geltungsbereich.....	2
2 Allgemeines .....	2
3 Formelzeichen und Einheiten .....	2
4 Berechnungsdruck.....	3
5 Berechnungstemperatur .....	4
6 Festigkeitskennwert .....	4
7 Sicherheitsbeiwert .....	4
8 Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung in Fügeverbindungen .....	4
9 Zuschläge .....	5
10 Kleinste Wanddicke .....	6

Ersatz für Ausgabe November 2008; | = 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 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** Die AD 2000-Merkblätter der Reihen B und S behandeln Berechnungsregeln für drucktragende Teile von Druckbehältern. Ihre Anwendung setzt voraus, dass bei der Wahl der Werkstoffe und deren Verarbeitung die AD 2000-Merkblätter der Reihen W und HP sowie die allgemein anerkannten Regeln der Technik beachtet werden. Auf AD 2000-Merkblatt G 1 wird verwiesen.

**1.2** Die AD 2000-Merkblätter der Reihen B und S 3 gelten für überwiegend statische Beanspruchung. Bei wechselnder Beanspruchung gelten zusätzlich die AD 2000-Merkblätter S 1 und S 2.

## 2 Allgemeines

**2.1** Dieses AD-Merkblatt enthält gemeinsame Grundregeln der AD 2000-Merkblätter der Reihen B und S. Die übrigen AD 2000-Merkblätter der Reihen B und S können daher nur in Verbindung mit diesem AD 2000-Merkblatt benutzt werden.

**2.2** Sofern in den AD 2000-Merkblättern für die Bemessung drucktragender Teile nichts festgelegt ist, muss im Einzelfall durch Anwendung anderer anerkannter Regeln der Technik oder durch andere Berechnungsverfahren, durch Dehnungsmessungen, durch einschlägige Betriebserfahrungen oder dergleichen belegt werden, dass die Bauteile je nach Werkstoff und Verwendungszweck nicht unzulässig beansprucht werden.

**2.3** 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.

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

## 3 Formelzeichen und Einheiten

$a$	Hebelarm	mm
$b$	Breite	mm
$c_1$	Zuschlag zur Berücksichtigung der Wanddickenunterschreitung	mm
$c_2$	Abnutzungszuschlag	mm
$d$	Durchmesser eines Ausschnitts, eines Flansches, einer Schraube usw.	mm
$d_a$	Außendurchmesser eines Rohres, Stutzens, Flansches	mm
$d_i$	Innendurchmesser eines Rohres, Stutzens, Flansches	mm
$d_t$	Teilkreisdurchmesser	mm
$d_D$	mittlerer Dichtungsdurchmesser	mm
$e$	breite Seite einer rechteckigen oder elliptischen Platte	mm
$f$	schmale Seite einer rechteckigen oder elliptischen Platte	mm
$g$	Schweißnahtdicke	mm
$h$	Höhe	mm
$k_0$	Dichtungskennwert für die Vorverformung	mm
$k_1$	Dichtungskennwert für den Betriebszustand	mm
$l$	Länge	mm
$n$	Anzahl	—
$p$	Berechnungsdruck	bar
$PS$	maximal zulässiger Druck	bar
$PT$	Prüfdruck	bar
$r$	Radius allgemein, z. B. Übergangsradius	mm
$s$	erforderliche Wanddicke einschl. Zuschlägen	mm

$s_e$	ausgeführte Wanddicke	mm
$\nu$	Faktor zur Berücksichtigung der Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung in Fügeverbindungen oder Faktor zur Berücksichtigung von Verschwächungen	–
$x$	Abklinglänge	mm
$A$	Fläche	mm <sup>2</sup>
$C, \beta$	Berechnungsbeiwerte	–
$D$	Durchmesser des Grundkörpers	mm
$D_a$	Außendurchmesser, z. B. einer Zylinderschale	mm
$D_i$	Innendurchmesser, z. B. einer Zylinderschale	mm
$E$	Elastizitätsmodul bei Berechnungstemperatur	N/mm <sup>2</sup>
$F$	Kraft	N
$I$	Flächenträgheitsmoment	mm <sup>4</sup>
$K$	Festigkeitskennwert bei Berechnungstemperatur	N/mm <sup>2</sup>
$K_D$	Formänderungswiderstand des Dichtungswerkstoffes bei Raumtemperatur	N/mm <sup>2</sup>
$K_{20}$	Festigkeitskennwert bei 20 °C	N/mm <sup>2</sup>
$M$	Moment	N mm
$R$	Radius einer Wölbung	mm
$S$	Sicherheitsbeiwert beim Berechnungsdruck	–
$S'$	Sicherheitsbeiwert beim Prüfdruck	–
$S_D$	Sicherheitsbeiwert gegen Undichtheit	–
$S_K$	Sicherheitsbeiwert gegen elastisches Einbeulen beim Berechnungsdruck	–
$S'_K$	Sicherheitsbeiwert gegen elastisches Einbeulen beim Prüfdruck	–
$S_L$	Lastspielsicherheit	–
$W$	Widerstandsmoment	mm <sup>3</sup>
$Z$	Hilfswert	–
$\nu$	Querkontraktionszahl	–
$\sigma$	Spannung	N/mm <sup>2</sup>
$\vartheta, T$	Temperatur	°C

## 4 Berechnungsdruck

**4.1** Die Berechnung ist im Allgemeinen mit dem maximal zulässigen Druck ( $PS$ ) und dem Prüfdruck ( $PT$ ) durchzuführen. Der in den nachfolgenden AD 2000-Merkblättern verwendete Berechnungsdruck  $p$  muss  $\geq$  dem maximal zulässigen Druck ( $PS$ ) sein. Die durch die Füllung sowohl während des Betriebes als auch während der Prüfung hervorgerufenen statischen Drücke brauchen nur berücksichtigt zu werden, soweit sie die Beanspruchung der Wandung um mehr als 5 % erhöhen<sup>1)</sup>.

**4.2** Wird eine drucktragende Wand von beiden Seiten gleichzeitig durch Druck beansprucht, darf in der Regel nicht mit der Druckdifferenz gerechnet werden. Die Berechnung ist für jeden der beiden Überdrücke einzeln durchzuführen. Ausnahmen sind zulässig, wenn nachgewiesen wird, dass eine höhere Beanspruchung als durch die Druckdifferenz nicht auftreten kann.

**4.3** Bei gleichzeitigem Auftreten von Überdruck und Unterdruck an einer drucktragenden Wand wird als Berechnungsdruck die Druckdifferenz eingesetzt. Dies gilt auch für die Festlegung des Prüfdruckes. Ist der Unterdruck nicht zuverlässig begrenzt, ist die Berechnung mit dem um 1 bar erhöhten Überdruck durchzuführen.

**4.4** Beim Prüfdruck dürfen die zulässigen Spannungen, gebildet aus dem Festigkeitskennwert bei Prüftemperatur und dem Sicherheitsbeiwert  $S'$  und den Tafeln 2 und 3, nicht überschritten werden.

**4.5** Statische Zusatzkräfte sind in der Zeichnung anzugeben, wenn dadurch die Beanspruchung der Behälterwand um mehr als 5 % erhöht wird (z. B. Auflagerkräfte, Wind- und Schneelast, Ausmauerung<sup>2)</sup>). Eine statische Berechnung ist vorzulegen, wenn die Zusatzkräfte die Auslegung des Druckbehälters wesentlich beeinflussen. Spannungserhöhungen durch Zusatzkräfte sind erfahrungsgemäß zu erwarten, wenn die Kriterien in den AD 2000-Merkblättern der Reihe S 3 zutreffen.

- 
- 1) Beispiel: maximal zulässiger Druck  $PS = 2$  bar  
Bauhöhe = 5 m  
Beschildung: Wasser  
 $p = 2 + 0,5 - 0,05 \cdot 2 = 2,4$  bar
  - 2) Vergleiche DIN 28060.

## 5 Berechnungstemperatur

**5.1** Für die Auswahl des Werkstoffes und für die Festlegung des Festigkeitskennwertes ist die höchste bei dem jeweiligen maximal zulässigen Druck ( $P_S$ ) zu erwartende Wandtemperatur maßgebend. Diese ergibt sich aus der zulässigen Betriebstemperatur (entsprechend der zulässigen maximalen Temperatur ( $T_S$ ) nach DGR) sowie einem Zuschlag für die Beheizungsart und wird als Berechnungstemperatur bezeichnet. Bei unbeheizten Wandungen kann hierfür die höchste Betriebstemperatur eingesetzt werden. Bei beheizten Wandungen kann sie in der Regel nach Tafel 1 bestimmt werden; andernfalls, z. B. bei Ausmauerungen, ist sie rechnerisch oder durch Messung nachzuweisen.

Für den Wasser-/Dampf- und Heißdampfbereich ist AD 2000-Merkblatt S 6, Abschnitt 4.2, Tafel 1 zu beachten.

**5.2** Wird mit der Berechnungstemperatur die Grenztemperatur des Zeitstandsbereiches für den jeweiligen Werkstoff erreicht oder überschritten, so ist das AD 2000-Merkblatt S 6 anzuwenden. Die Grenztemperaturen sind den zugehörigen Werkstoffnormen bzw. Werkstoffspezifikationen zu entnehmen.

**5.3** Liegt die höchste zu erwartende Wandtemperatur unter  $+20\text{ °C}$ , so beträgt die Berechnungstemperatur  $+20\text{ °C}$ . Für Betriebstemperaturen unter  $-10\text{ °C}$  wird zusätzlich auf AD 2000-Merkblatt W 10 verwiesen. Bei der Festlegung der Wandtemperatur sind die Umgebungstemperatur und die Betriebstemperatur zu berücksichtigen (Betriebsanleitung/Gefahrenanalyse).

**Tafel 1 — Berechnungstemperaturen**

Beheizungsart	Berechnungstemperatur
durch Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten	die höchste Temperatur des Heizmittels
Feuer-, Abgas- oder elektrische Beheizung <sup>1)</sup>	bei abgedeckter Wand die höchste Betriebstemperatur zuzüglich 20 K
	bei unmittelbar berührter Wand die höchste Betriebstemperatur zuzüglich 50 K
<sup>1)</sup> Gilt nicht bei mittelbarer elektrischer Beheizung (z. B. über Ölbad).	

## 6 Festigkeitskennwert

**6.1** Die Festigkeitskennwerte  $K$  sind gemäß den Festlegungen in den AD 2000-Merkblättern der Reihe W entsprechend der Berechnungstemperatur zu wählen.

**6.2** Festlegungen zu zeitabhängigen Festigkeitskennwerten enthält das AD 2000-Merkblatt S 6, Abschnitt 4.3.

**6.3** Bei Werkstoffen ohne gewährleistete Streckgrenze oder Dehngrenze ist als Festigkeitskennwert die gewährleistete Mindestzugfestigkeit entsprechend der Berechnungstemperatur einzusetzen. In diesem Fall sind die Sicherheitsbeiwerte der Tafel 3 anzuwenden.

**6.4** Bei nicht artgleich geschweißten Verbindungen sind die Festigkeitskennwerte des Schweißgutes dann der Berechnung zugrunde zu legen, wenn sie niedriger sind als die des Grundwerkstoffes.

**6.5** Durch Kaltverfestigung erzielte höhere Festigkeitskennwerte können nur dann in die Berechnung eingesetzt werden, wenn sie nachgewiesen und am fertigen Bauteil vorhanden sind.

## 7 Sicherheitsbeiwert

Die Sicherheitsbeiwerte sind den Tafeln 2 und 3 zu entnehmen, sofern in den einzelnen AD 2000-Merkblättern keine abweichenden oder zusätzlichen Angaben gemacht werden.

## 8 Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung in Fügeverbindungen

**8.1** Die Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung in der Schweißnaht wird in der Berechnung durch den Faktor  $v$  berücksichtigt. Dieser ergibt sich durch Division der in der Übersichtstafel 1 des AD 2000-Merkblattes HP 0 genannten Werte für die Ausnutzung der zulässigen Berechnungsspannung mit 100. Sofern für die nicht genannten Werkstoffe in der nach AD 2000-Merkblatt HP 0, Abschnitt 1.2 erforderlichen Vereinbarung keine anderen Werte festgelegt sind, ist  $v = 1,0$  einzusetzen.

**8.2** Für hartgelötete Verbindungen kann mit  $v = 0,8$  gerechnet werden, falls nicht in der Verfahrensprüfung ein niedrigerer Wert festgelegt wird.

**8.3** Weichgelötete Längsnähte sind nicht zulässig. Überlappt weichgelötete Rundnähte an Kupfer sind bei einer Überlappungsbreite von mindestens  $10 s_e$  bis zu einer Wanddicke von 6 mm und bis zu  $D_a \cdot p \leq 2500\text{ mm bar}$  zulässig. In diesem Fall ist für die Rundnaht  $v = 0,8$  einzusetzen.

**8.4** Bei weichgelöteten Verbindungen an Kupferblechen mit durchlaufender Lasche bei einer Laschenbreite  $\geq 12 s_e$  auf beiden Seiten des Stoßes, einer Wanddicke  $s_e \leq 4$  mm und einem zulässigen Betriebsüberdruck  $\leq 2$  bar kann ebenfalls  $v = 0,8$  eingesetzt werden.

## 9 Zuschläge

### 9.1 Zuschlag zur Berücksichtigung der Wanddickenunterschreitung

**9.1.1** Bei Stählen und Nichteisenmetallen ist als Betrag des Zuschlages  $c_1$  die nach den einschlägigen Maßnormen zulässige Minustoleranz (z. B. bei austenitischen Blechen nach DIN EN ISO 9445-2, bei ferritischen Blechen nach DIN EN 10029 Klasse A) in die Berechnung einzusetzen, sofern diese am fertigen Bauteil auftreten kann.

**Tafel 2 — Sicherheitsbeiwerte gegen Streck- bzw. Dehngrenze**

Werkstoff und Ausführung	Sicherheitsbeiwert $S$ für den Werkstoff bei Berechnungstemperatur	Sicherheitsbeiwert $S'$ beim Prüfdruck
1. Walz- und Schmiedestähle	1,5	1,05
2. Stahlguss	2,0	1,4
3. Gusseisen mit Kugelgraphit nach DIN EN 1563		
3.1 EN-GJS-700-2/2U EN-GJS-600-3/3U	5,0	2,5
3.2 EN-GJS-500-7/7U	4,0	2,0
3.3 EN-GJS-400-15/15U	3,5	1,7
3.4 EN-GJS-400-18/18U-LT EN-GJS-350-22/22U-LT	2,4	1,2
4. Aluminium und Aluminiumlegierungen – Knetwerkstoffe	1,5	1,05

**Tafel 3 — Sicherheitsbeiwerte gegen Zugfestigkeit**

Werkstoff und Ausführung	Sicherheitsbeiwert $S$ für den Werkstoff bei Berechnungstemperatur	Sicherheitsbeiwert $S'$ beim Prüfdruck
1. Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) nach DIN EN 1561		3,5
1.1 ungeglüht	9,0	
1.2 geölt oder emailliert	7,0	
2. Kupfer und Kupferlegierungen einschließlich Walz- und Gussbronze		2,5
2.1 bei nahtlosen und geschweißten Behältern	3,5	
2.2 bei gelöteten Behältern	4,0	

**9.1.2** Bedingt der Herstellungsgang Wanddickenminderungen (z. B. bei gegossenen oder tiefgezogenen Bauteilen), so ist die mit  $c_1 = 0$  errechnete erforderliche Wanddicke in der Zeichnung zu vermerken und als solche zu kennzeichnen.

### 9.2 Abnutzungszuschlag

**9.2.1** Bei ferritischen Stählen beträgt der Abnutzungszuschlag  $c_2 = 1$  mm. Er entfällt, wenn  $s_e \geq 30$  mm beträgt. Er entfällt außerdem, wenn die Stähle ausreichend gegen Einflüsse der Beschickungsmittel geschützt sind, z. B. durch Verbleiung, Plattierung, Gummierung, Kunststoffbeschichtungen, nicht jedoch durch galvanische Überzüge. Bei Kunststoffbeschichtungen muss in jedem Fall die Eignung des Kunststoffes nachgewiesen sein.

**9.2.2** Abweichend von Abschnitt 9.2.1 ist zwischen Hersteller und Betreiber ein höherer Zuschlag  $c_2$  zu vereinbaren, wenn die Beschickungsmittel stark korrodierend wirken oder die Behälter im späteren Betrieb im Innern nicht besichtigt werden können. Die Höhe des Zuschlages  $c_2$  ist in diesen Fällen in der Zeichnung zu vermerken.

Bei bestimmten Korrosionseinflüssen kann es notwendig sein, neben der Verwendung geeigneter Werkstoffe und zweckentsprechender Konstruktionen die Höhe der Beanspruchung der mit den Medien in Berührung stehenden, auf Zug beanspruchten Druckbehälterwandungen zu verringern, um dadurch z. B. ein Aufreißen von Schutzschichten oder eine Spannungsrisskorrosion zu vermeiden.

**9.2.3** Bei austenitischen Stählen und bei Nichteisenmetallen beträgt der Abnutzungszuschlag im Allgemeinen  $c_2 = 0$ , es sei denn, dass zwischen dem Hersteller und dem Betreiber ein höherer Abnutzungszuschlag vereinbart wird. In diesem Falle muss er in der Zeichnung vermerkt sein.

## 10 Kleinste Wanddicke

**10.1** Die in den AD 2000-Merkblättern der Reihe B festgelegten kleinsten Wanddicken sind Nennwanddicken und müssen am fertigen Bauteil als Nennmaß vorhanden sein.

**10.2** Abweichend von Abschnitt 10.1 dürfen die kleinsten Wanddicken unterschritten werden, wenn

- a) verfahrenstechnische Gründe es erfordern oder die Verwendung des Druckbehälters es zweckdienlich erscheinen lässt sowie
- b) die Formbeständigkeit nicht gefährdet ist und
- c) die Fertigung es ermöglicht.



Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

E-Mail: [berlin@vdtuev.de](mailto: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](mailto:kundenservice@beuth.de)  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)