

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe September 2001

Sonderfälle	Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter Behälter mit Stutzen unter Zusatzbelastung	AD 2000-Merkblatt S 3/6
--------------------	--	------------------------------------

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

Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Düsseldorf

VGB PowerTech e.V., Essen

Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdTÜV), Essen

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	4	Einzelspannungen
1	Geltungsbereich	5	Festigkeitsbedingung
2	Allgemeines	6	Schrifttum
3	Formelzeichen und Einheiten	Anhang 1: Erläuterungen zum AD 2000-Merkblatt S 3/6	

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 Prüfzuständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

1 Geltungsbereich

Dieses AD 2000-Merkblatt dient der Berechnung von örtlichen statischen oder quasistatischen Beanspruchungen der Druckbehälterwandung im Bereich der Verbindung von Grundschaale und Stutzen infolge Druckbelastung und zusätzlich angreifenden äußeren Kräften und Momenten. Die Stutzenlage wird im Allgemeinen senkrecht zur Grundschaale (radial) vorausgesetzt; bei Stutzen im Kalotten- und

Krempenbereich von gewölbten Böden kann die Stutzenachse parallel zur Behälterachse angeordnet sein. Haben Stutzen an Behältern Tragfunktion für den Behälter, so sind ggf. weitergehende Betrachtungen erforderlich.

Ein Nachweis ist nicht erforderlich, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig eingehalten werden:

- Das Stutzenrohr muss volltragend mit der Grundschaale verbunden sein.
- Die Mindestwanddicke des Stutzenrohres muss bei ferritischen Werkstoffen DIN 28 115, bei austenitischen Werkstoffen DIN 28 025 Teil 1 oder Teil 2 entsprechen.
- Stützweiten und Flexibilitätsverhalten der anschließenden Rohrleitung müssen der Stützweitentabelle bzw. dem Flexibilitätsnomogramm der AD 2000-Merkblätter der Reihe HP 100 R genügen.
- Der Durchmesser des Stutzens d_i darf nicht größer als $0,3 \cdot D_i$ sein.
- Die Auslegung gegen Innendruck nach den AD 2000-Merkblättern B 3 bzw. B 9 und B 1 muss mit einem um 10 % erhöhten Innendruck erfolgen, wobei eine evtl. notwendige Verstärkung in der Grundschaale und/oder im Stutzen vorgenommen werden muss.

Ersatz für Ausgabe Oktober 2000; | = 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.

- Die Auslegung erfolgt nicht gegen Versagen durch Überschreiten der Zeitstandfestigkeit.

2 Allgemeines

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

Äußere Lasten an Stützen sind häufig durch Rohrleitungsreaktionen bedingt. Um zu realistischen Rohrleitungsreaktionen zu gelangen, sollten die wesentlichen Nachgiebigkeiten des Behälters, insbesondere die im Bereich des betroffenen Stützens, als Federsteifigkeit des Rohrsystems in der Rohrleitungsberechnung berücksichtigt werden.

Die Nachgiebigkeiten von Stützen können bei Kugeln nach [1], bei Zylindern nach [1] oder [3] abgeschätzt werden.

Ungeachtet der Wahl des Verfahrens zur Berücksichtigung von Zusatzspannungen muss eine Auslegung gegen Beanspruchungen aus Innen- bzw. Außendruck, abhängig von der Lage des jeweiligen Stützens, nach den AD 2000-Merkblättern B 9 und B 1 bzw. B 3 erfolgen.

Unabhängig von der Wahl der Quelle zur Bestimmung von Einzelspannungen sind die in den jeweiligen Quellen angegebenen Anwendungsgrenzen zu beachten.

3 Formelzeichen und Einheiten

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

$a (e_S/e_A)$	Formelabkürzung	–
$b (e_S/e_A)$	Formelabkürzung	–
c_i	($i = 1, 2$) Zuschläge zur Wanddicke gem. AD 2000-Merkblatt B 0	in mm
d_i	Innendurchmesser des Stützenrohres	in mm
e_A	Wanddicke am Ausschnitttrand der Grundschale ohne Zuschläge	in mm
e_S	Wanddicke am Stützen ohne Zuschläge	in mm
\bar{K}	fiktive Festigkeitsreserve für Stützenszusatzlasten	in N/mm ²
D_i	Innendurchmesser des Grundrohres	in mm
α	Spannungserhöhungsfaktor	–
ϱ	Ausnutzung der Festigkeit durch Druck	–
ψ	Geometriefaktor	–

4 Einzelspannungen

4.1 Stützen in Kugeln

Die resultierende maximale Spannungskomponente kann als Vergleichsspannung nach [1], Abschnitt G.2.5, unter Berücksichtigung von Spannungen aus Druck- und Zusatzbelastungen bestimmt werden.

4.1.1 Spannungen infolge Druckbelastung

Einzelspannungen aus Innen- bzw. Außendruckbelastung können nach Verfahren der Literatur ermittelt werden. Der Anhang enthält konkrete Literaturhinweise.

Abschnitt 5.3 erlaubt eine Formulierung ohne explizite Ermittlung dieser Spannungen.

4.1.2 Spannungen infolge Zusatzlasten

Die Spannungen können, abhängig vom Ort, nach Abschnitt 3 von [2] bestimmt werden. Die Ermittlung der Vergleichsspannungen nach *von Mises* oder nach *Tresca* muss sowohl für die Membran- als auch für die Gesamtspannungen vorzeichengerecht an jedem der acht Orte erfolgen.

4.2 Stützen in Zylindern

Die resultierende maximale Vergleichsspannung, die sich aus Beanspruchungen aus Innendruck und Zusatzlasten zusammensetzt, kann nach [1], Abschnitt G.2.3, bestimmt werden.

4.2.1 Spannungen infolge Druckbelastung

Einzelspannungen aus Innen- bzw. Außendruckbelastungen können z. B. [4] oder [5] entnommen werden. Sofern dies die Anwendungsgrenzen zulassen, sollte [4] bevorzugt werden. Die in [5] angegebenen Kurven für die Spannungserhöhung durch Druckbelastung können nach [6] durch folgende Gleichungen angenähert werden:

$$\alpha = 2,2 + e^{a(e_S/e_A)} \cdot \psi^{b(e_S/e_A)}$$

$$\text{mit } a (e_S/e_A) = -1,14 \cdot (e_S/e_A)^2 - 0,89 (e_S/e_A) + 1,43$$

$$b (e_S/e_A) = 0,326 \cdot (e_S/e_A)^2 - 0,59 (e_S/e_A) + 1,08$$

$$\text{und } \psi = [(d_i + e_S)/(D_i + e_A)] \cdot [(D_i + e_A)/2 \cdot e_A]^{0,5}$$

Die mit dem Faktor α erweiterte Spannung aus der globalen Beanspruchung durch Innendruck (Kesselformel) ergibt die Gesamtspannung im Verschneidungsbereich. Sie enthält die globalen und auch alle lokalen Anteile.

4.2.2 Spannungen infolge Zusatzlasten

Die Spannungen können nach Abschnitt 4 von [2] oder nach [3] bestimmt werden, sofern folgende Bedingungen erfüllt sind:

$$\frac{e_A - c_1 - c_2}{D_a} \geq 0,0017$$

$$\frac{e_S}{e_A} \geq 0,5$$

Außerhalb dieses Bereiches müssen die Spannungen nach [3] ermittelt werden.

Die Ermittlung der Vergleichsspannungen in Form von Membran- und Gesamtspannungen muss wiederum an jedem der in beiden Quellen betrachteten acht Orte erfolgen und kann wahlweise mit der Vergleichsspannungshypothese nach *Tresca* oder nach *von Mises* erfolgen.

5 Festigkeitsbedingung

Neben den Nachweisen des Rohrquerschnittes aufgrund globaler Beanspruchungen aus Innendruck (Kesselformel) und äußeren Kräften und Momenten (als balkenförmiges Bauteil) bedarf es eines Nachweises der lokalen Beanspruchungen im Bereich der Verbindung von Stützen und Grundschale.

5.1 Vollständiger Nachweis nach [1]

Erfolgt der vollständige Nachweis nach den Abschnitten 4.1 bzw. 4.2 nach [1], kann auch die Spannungsbewertung nach den entsprechenden Abschnitten G.2.6 bzw. G.2.3.5 von [1] mit f nach AD 2000-Merkblatt S 3/0 erfolgen.

5.2 Überlagerung aller Einzelspannungen

Die unterschiedlichen Spannungskomponenten aus Druck- und Zusatzlasten sind getrennt nach Membran- und Ge-

samtspannungen örtlich zu überlagern. Die Bewertung dieser Spannungen kann nach AD 2000-Merkblatt S 4 erfolgen. Der Sicherheitsbeiwert ist lastfallabhängig entsprechend Abschnitt 4.3.4 von AD 2000-Merkblatt S 3/0 einzusetzen.

5.3 Interaktionsbeziehung zwischen Beanspruchungen aus Druck- und Zusatzlasten

Vereinfachend und in sicherer Abschätzung kann im Falle vorwiegend ruhender Belastungen auf die Ermittlung von Spannungen aus der Druckbelastung nach den Abschnitten 4.1.1 und 4.2.1 verzichtet werden. Auf der Basis von Nachweisen für Beanspruchungen aus Innen- oder Außendruck nach den AD 2000-Merkblättern B 9 und B 1 wird durch Bezug von vorhandenem Druck p bzw. p' auf den zulässigen Druck p_{zul} ein Ausnutzungsgrad

$$\varrho = \frac{p}{p_{zul}}$$

festgestellt. Die daraus ableitbare fiktive Festigkeitsreserve

$$\bar{K} = K \cdot (1 - \varrho)$$

kann zur Übernahme der Beanspruchungen aus Zusatzbelastungen nach Abschnitt 4.1.2 bzw. 4.2.2 genutzt werden. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Steifigkeitsgrenzen nach [1] eingehalten sind und die Ausschnittverstärkung nicht ausschließlich im Stutzen erfolgt. Die Bewertung der Span-

nungen kann auch hier wie in Abschnitt 5.2 unter Verwendung von K als Festigkeitskennwert durchgeführt werden.

6 Schrifttum

- [1] British Standard 5500: Unfired Fusion Welded Pressure Vessels.
British Standards Institution
- [2] *Wichman, K. R., A.G. Hopper and J. L. Mershon*: Local stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings.
WRC Bulletin 107, Rev. 3.79
- [3] *Mershon, J.L., K. Mokhtarian, G.V. Ranjan and E.C. Rodabaugh*: Local Stresses in Cylindrical Shells due to External Loadings on Nozzles.
WRC Bulletin 297, Rev. I, 9.87 (Supplement to WRC Bulletin 107)
- [4] Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses: KTA 3211.2.
Carl Heymanns Verlag KG, Köln, Berlin, 1993
- [5] *Bickell, M.B., and C. Ruiz*: Pressure Vessel Design and Analysis.
Macmillan and Co., London 1967
- [6] *Becker, M.*: Berücksichtigung von Kräften und Momenten auf Behälterstutzen nach WRC 107 und WRC 297 und die Überlagerung mit Innendruck.
RWTÜV e.V., Essen

Anhang 1 zum AD 2000-Merkblatt S 3/6

Erläuterungen zum AD 2000-Merkblatt S 3/6

Zu Abschnitt 1

Die angegebenen Ausschlusskriterien spiegeln die bisherige positive Betriebserfahrung mit dem Bauteil Stutzen an Behältern wider, wenn Stutzen und Rohrleitung dem Stand der Technik entsprechend konstruiert und gebaut sind. Sie sollen zukünftig ein praktikables Verfahren bei Auslegung und Vorprüfung ermöglichen.

In extremen Fällen, beispielsweise wenn Stutzen bei Einbau von Kompensatoren besondere Schnittkräfte zu übernehmen haben, ist ein Nachweis der Stutzen und evtl. des gesamten Behälters einschließlich seiner Tragelemente angebracht, obwohl evtl. keines der Ausschlusskriterien verletzt ist.

Zu Abschnitt 4

Abschnitt 4 gibt nur Hinweise auf Quellen zu Behandlung von Stutzen in Kalotten und Zylindern. Für die Ermittlung von Spannungskomponenten an Stutzen in Krempen von gewölbten Böden sind keine Quellen bekannt. Wenn dort ein Nachweis erforderlich ist, weil z. B. die Ausschlusskriterien nach Abschnitt 1 verletzt sind, muss dieser mit numerischen Methoden geführt werden.

Zu Abschnitt 4.1.1

Spannungen aus Innendruck-Belastung an Stutzen in Kugelschalen können z. B. [A 1] entnommen werden.

Zu Abschnitt 4.1.2

Greifen an einem Stutzen verschiedene Momente an, können diese vereinfachend zu jeweils einem resultierenden Biege- und einem Torsionsmoment, bezogen auf den Schnitt des Stutzenrohres, vektoriell zusammengefasst werden.

Zu Abschnitt 4.2.1

Wegen der fehlenden Separierbarkeit der Spannungsanteile in [5] schlägt [6] vor, für die Membranvergleichsspannungen auf Erhöhungsanteile zu verzichten, also nur die globalen Membranspannungen aus Innendruck anzusetzen. Die lokalen Membranspannungsanteile werden dann in der Gesamtspannung erfasst und nur beim Nachweis der Membran- und Biegespannungen bewertet. Diese Vorgehensweise wird mit den konservativen Gesamtspannungswerten, die sogar als sekundär einstuftbare Anteile enthalten, begründet.

Zu Abschnitt 4.2.2

Erfahrungsgemäß muss beim Übergang von [2] auf [3] mit einer Erhöhung der angezeigten Spannungen gerechnet werden. [A 2] bietet ein vollständiges Verfahren zur Bestimmung von Spannungen aus Druckbelastung und Zusatzlasten für den Fall, dass Grundschaale und Stutzenrohr gleiche Wanddicke haben.

Zu Abschnitt 5.3

Die Abschätzung nach Abschnitt 5.3 ist sicher, weil die Formulierung so interpretiert werden kann, dass alle Spannungskomponenten aus Zusatzlasten an jedem betrachteten Ort dem einen, kritischsten Spannungszustand infolge Druckbelastung überlagert wird, ungeachtet wo dieser auftritt und wie der Spannungstensor ausgebildet ist.

Schrifttum

- [A 1] *Varga, L.*: Bestimmung der in der Umgebung der Ausschnitte von innendruckbeanspruchten Druckbehältern auftretenden Spannungen. *Forschung im Ingenieurwesen*, **29** (1963), S. 115–122
- [A 2] *Decock, J.*: Stresses in Cylindrical Shells with Nozzles Submitted to External Loading and Internal Pressure. Bericht MT 156, **8** (1983), Univ. Gent

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
info@beuth.de
www.beuth.de