

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe September 2016

Sonderfälle	Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter Grundsätze	AD 2000-Merkblatt S 3/0
--------------------	--	------------------------------------

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	3
4 Festlegungen für einen Festigkeitsnachweis unter Einschluss der Standsicherheit	3
5 Schrifttum.....	12
Anhang 1 zu AD 2000-Merkblatt S 3/0.....	13
Anhang 2 zu AD 2000-Merkblatt S 3/0.....	14
Anhang 3 zu AD 2000-Merkblatt S 3/0.....	20

Ersatz für Ausgabe Februar 2013; | = 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 Druckgeräterichtlinie 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 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

Die AD 2000-Merkblätter der Reihe S 3 geben Hinweise für die Berücksichtigung von Zusatzkräften in Druckbehälterwandungen; siehe auch AD 2000-Merkblatt B 0, Abschnitt 4.5. Darüber hinaus enthalten sie Angaben für solche Fälle, bei denen für den Nachweis der Standsicherheit neben den Einwirkungen auf die druckbelasteten Bauteile des Druckbehälters selbst auch die auf die Halterungs- oder Auflagerungskonstruktionen einzuschließen sind. Hierzu wird die Vorgehensweise in diesem AD 2000-Merkblatt geregelt. Darüber hinaus werden Lösungsmöglichkeiten für einige häufig vorkommende Konstruktionsformen angegeben.

2 Allgemeines

2.1 Die AD 2000-Merkblätter der Reihe S 3 sind nur im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt B 0 anzuwenden.

2.2 Die AD 2000-Merkblätter der Reihe S 3 umfassen folgende Blätter:

- S 3/.. – Allgemeiner Standsicherheitsnachweis für Druckbehälter
- S 3/0 –, Grundsätze
- S 3/1 –, Behälter auf Standzargen
- S 3/2 –, Liegende Behälter auf Sätteln
- S 3/3 –, Behälter mit gewölbten Böden auf Füßen
- S 3/4 –, Behälter mit Tragpratzen
- S 3/5 –, Behälter mit Ringlagerung
- S 3/6 –, Behälter mit Stützen unter Zusatzbelastung
- S 3/7 –, Berücksichtigung von Wärmespannungen bei Wärmeaustauschern mit festen Rohrplatten

2.3 Sind für einen Behälter über die Nachweise nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe B hinaus zusätzliche Anforderungen an Festigkeitsnachweise und Standsicherheitsnachweise gestellt, so kann nach den nachfolgenden Festlegungen verfahren werden. Die in den AD 2000-Merkblättern S 3/1 bis S 3/7 enthaltenen Lösungsmöglichkeiten berücksichtigen diese Festlegungen.

2.4 Im Abschnitt 4.1 dieses AD 2000-Merkblattes sind die für einen Standsicherheitsnachweis wesentlichen Belastungen zusammen mit Hinweisen zur Ermittlung der Belastungsgrößen enthalten. Für den aktuellen Anwendungsfall können hiernach die zutreffenden Belastungen bestimmt werden. Die entsprechenden gemeinsam wirkenden Belastungen werden gemäß den Vorgaben im Abschnitt 4.2 unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung für den Druckbehälter zu Lastfällen zusammengefasst. Nach der Lastfallart richtet sich dann beim Festigkeitsnachweis die Höhe der zulässigen Beanspruchung. Abschnitt 4.3 enthält Hinweise zu den Festigkeitsnachweisen einschließlich der für die zulässigen Beanspruchungen erforderlichen Festlegungen, soweit sie über die im AD 2000-Merkblatt B 0 hinausgehen.

2.5 Liegen für Druckbehälter oder Teile von Druckbehältern Normen mit definierten Abmessungen, Anschlussgeometrien und Angaben zu den zulässigen Belastungen vor (zum Beispiel Pratzen nach DIN 28083-1 und -2), so sind keine zusätzlichen Festigkeitsnachweise erforderlich. Es genügt dann ein Vergleich der auftretenden Lasten mit den zulässigen.

2.6 Die Anschlussteile der Tragelemente an Gerüste, Bühnen usw. sind so zu gestalten, dass eine Krafteinleitung möglich ist und dabei ein Verrutschen, Kippen oder Abheben ausgeschlossen wird. Werden Bühnen angebracht, die nicht DIN 28017 entsprechen, so ist deren Standsicherheit gesondert nachzuweisen.

2.7 Die Nachweise nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe S 3 umfassen nicht die der Lastableitung dienenden Stahl- oder Massivbaukonstruktionen. Zur Beschreibung der gemeinsamen Schnittstelle müssen je Lastfallart (vgl. Abschnitt 4.2.1) die maximalen Lasten, Ankerkräfte sowie Anzahl, Größe und Qualität der Ankerschrauben und die der Berechnung zugrunde gelegte maximale Betonpressung in einer gesonderten Bescheinigung dokumentiert werden, z. B. nach Anhang 1.

2.8 Bei der Verwendung von Werkstoffen nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe W zur Herstellung von Trag- und Halterungselementen kann abweichend von den dortigen Festlegungen der Werkstoffnachweis mit Werkszeugnis 2.2 gemäß DIN EN 10204 erfolgen, sofern nicht durch mitgeltende Regelwerke höherwertig gefordert.

Für Anschweißteile an die Druckbehälterwand sollen artgleiche Werkstoffe verwendet werden. Bei Verwendung von nicht artgleichen Werkstoffen ist die Zulässigkeit der Abweichungen zu belegen.

2.9 Mit Hilfe der AD 2000-Merkblätter der Reihen B und S kann der Nachweis der Standsicherheit nach den Anforderungen der Landesbauordnungen für den Behälter selbst sowie für seine Trag- und Halterungselemente erbracht werden.

3 Formelzeichen und Einheiten

Über die Festlegungen des AD 2000-Merkblattes B 0 hinaus bzw. abweichend von diesen gilt

a	Faktor zum Sicherheitsbeiwert nach Abschnitt 4.3.4.1 (3) bzw. (4)	–
c_f	Windkraftbeiwert	–
$c_{f \text{ korr}}$	korrigierter Windkraftbeiwert	–
d	Behälterdurchmesser einschließlich Isolierung	mm
d_F	Teilkreisdurchmesser der Auflagerelemente	mm
e	die der Berechnung zugrunde zu legende Wanddicke nach Abzug der Waddickenzuschläge c_1, c_2, \dots	mm
e_z	Wanddicke der Standzarge	mm
f	zulässige Berechnungsspannung nach Abschnitt 4.3.4	MPa
f_P	zulässige Berechnungsspannung für den Prüffall	MPa
f_M	zulässige Berechnungsspannung für Montagefälle	MPa
f_S	zulässige Berechnungsspannung für Sonderfälle	MPa
n	Anzahl der Auflagerelemente	–
w	Abstand zwischen den Behältern bzw. zwischen Behälter und Gebäude	mm
A_n	Projektionsfläche	mm ²
D	Behälterdurchmesser	mm
G_d	betriebl. mögliches maximales Gesamtgewicht des Behälters in der betrachteten Schnittebene	N
G_z	betriebl. mögliches minimales Gesamtgewicht des Behälters in der betrachteten Schnittebene	N
H	Behälterhöhe über Grund	mm
M	Gesamtmoment in der betrachteten Schnittebene der Auflagerelemente aus äußeren Lasten	Nmm
N_{Fd}	Druckkraft an Auflagerelementen	N
N_{Fz}	maximale Zugkraft an Auflagerelementen	N
S_M	Sicherheitsbeiwert bei Montagefällen	–
S_S	Sicherheitsbeiwert bei Sonderfällen	–

Formelzeichen und Einheiten zu Stutzenzusatzlasten werden im Anhang 2 festgelegt.

4 Festlegungen für einen Festigkeitsnachweis unter Einschluss der Standsicherheit

4.1 Belastungen

4.1.1 Unter Belastungen werden Einwirkungen auf den Druckbehälter und seine Halterungs- oder Auflagerkonstruktionen verstanden, die eine Beanspruchung in diesen hervorrufen.

4.1.2 Bei der Bestimmung der Belastungen sind Zwangskräfte und Zwangsmomente infolge Behinderungen von Verformungen (zum Beispiel durch Stützkonstruktionen, An- und Einbauten sowie Rohrleitungsanschlüsse) zu berücksichtigen.

4.1.3 Für Lastfälle, die in die Ermüdungsanalyse einzubeziehen sind, sind die spezifizierten Lastwechselzahlen zu berücksichtigen.

4.1.4 Es ist für jeden Lastfall zu prüfen, ob die nachfolgend aufgezählten Belastungen auftreten und ob noch andere Belastungen hinzukommen. Solche Belastungen sind zum Beispiel:

4.1.4.1 Eigenlast

Hierbei kommen in Frage die Eigenlast des Druckbehälters, die Eigenlast der mit ihm verbundenen Bauteile, die Füllung des Druckbehälters und sonstige ständig vorhandene Lasten.

4.1.4.2 Drücke

Hierbei kommen in Frage Drücke in örtlicher und zeitlicher Abhängigkeit einschließlich örtlicher Beaufschlagung (zum Beispiel bei Schließ- und Öffnungsvorgängen von Armaturen).

4.1.4.3 Temperaturen

Hierbei kommen in Frage der örtliche und zeitliche Temperaturverlauf einschließlich örtlich begrenzter Temperaturfelder (zum Beispiel bei Ein- und Ausspeisevorgängen) sowie von Temperaturgradienten im Bauteilquerschnitt. Der Einfluss von Wärmeisolierungen ist zu berücksichtigen.

4.1.4.4 Statische und dynamische Lasten aus An- und Einbauten und Füllungslasten.

4.1.4.5 Verkehrslasten/Nutzlasten

Verkehrslasten/Nutzlasten können auf Bühnen, An- und Einbauten wirksam werden. Die Ermittlung erfolgt für An- und Einbauten nach DIN EN 1991-1-1 [1]. Für Bühnen und Laufstege sind Verkehrslasten/Nutzlasten nach DIN EN 13084-1 [2] mit mindestens 2 kN/m² anzunehmen.

Der Einzelnachweis für die einzelnen Bühnen (Laufstege) sowie die lokale Lasteinleitung in die Druckbehälterwand erfolgen jeweils mit der gesamten der Bühne zugehörigen Verkehrslast.

4.1.4.6 Windlasten

Die Windlasten werden nach DIN EN 1991-1-4 [3] und DIN EN 1991-1-4/NA [4] bestimmt. Als Fläche wird die Projektionsfläche (senkrecht zur Windrichtung) der jeweils betrachteten Teile eingesetzt.

Bei benachbarten Behältern oder Behältern neben Gebäuden ist der Windkraftbeiwert c_f nach DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA in Abhängigkeit vom Abstand der Behälter zu wählen.

Steigleitern, Bühnen, anschließende Rohrleitungen usw. dürfen durch einen Zuschlag bei der Ermittlung der Windlasten pauschal berücksichtigt werden. Sofern nichts anderes vorgegeben ist und die zusätzliche Projektionsfläche < 15 % der Behälterprojektionsfläche beträgt, darf die Windkrafterhöhung durch eine pauschale Erhöhung des Staudruckes um 25 % abgeschätzt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die zusätzliche Projektionsfläche gleichmäßig über die Höhe des Behälters verteilt ist.

Alternativ zur vorstehenden Abschätzung dürfen die Windlasten von Steigleitern, Bühnen und anschließenden Rohrleitungen nach den folgenden Angaben bestimmt werden:

(1) Der Windkraftbeiwert c_f ist

$c_f = 0,7$ für zylindrische Behälter und deren parallel verlaufende Rohre, sofern der Mittenabstand Rohrleitung/Zylinder \geq dem 1,2-Fachen der Summe ihrer Durchmesser einschließlich Isolation ist

$c_f = 0,7$ für zylindrische Behälter und 1,5 für die benachbarten Rohre, sofern der Mittenabstand Rohrleitung/Zylinder < dem 1,2-Fachen der Summe ihrer Durchmesser einschließlich Isolation ist

$c_f = 1,2$ für Stahlkonstruktionen wie Leitern und Montagegerüste aus Rohren

$c_f = 1,4$ für Stahlkonstruktionen wie Bühnen und Laufstege

Der Windkraftbeiwert $c_f = 0,7$ gilt nur für freistehende zylindrische Behälter. Sind die örtlichen Gegebenheiten nicht bekannt oder bei nicht freistehenden Behältern kann pauschal mit einem Windkraftbeiwert $c_f = 1,1$ gerechnet werden.

(2) Als Projektionsfläche A_n sind anzusetzen für

— runde Vollbühnen (Umfangswinkel 360°): Bühnenaußendurchmesser $\times 0,5$ m. Bei Kolonnen beträgt der Bühnenaußendurchmesser bei einer effektiven Bühnenbreite von 1000 mm (Regelbreite nach DIN 28017-1): Durchmesser der Kolonne mit Isolierung + 2,4 m

— Bühnen, rund mit einem Umfangswinkel > 100°: Wie runde Vollbühnen

— Bühnen, rund mit Umfangswinkel $\leq 100^\circ$: (Behälterdurchmesser mit Isolierung + einfache Bühnenbreite) $\times 0,5$ m

— Bühnen, eckig: Diagonalmass $\times 0,5$ m

— Laufstege: Länge $\times 0,5$ m

— Leitern mit Sicherheitsanbauten: Senkrechte Höhe der Leitern $\times 0,33$ m

Anstelle der vereinfachten Ermittlung der Windlasten nach den vorstehenden pauschalen Vorgaben darf die detaillierte Ermittlung der Windlasten nach DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA erfolgen. Abschattungseffekte dürfen in der Lastermittlung nicht berücksichtigt werden.

4.1.4.7 Schwingungen infolge Windlast

Schwingungen in Windrichtung infolge der dynamischen Wirkung von Windböen sind bei schwingungsanfälligen Behältern (mit $T \geq 0,5$ s) nach DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA zu berücksichtigen. Dieses ist in der Regel bei sehr hohen und sehr schlanken Behältern der Fall. Ein Ermüdungsnachweis braucht für diese Beanspruchung nicht erbracht zu werden.

Schwingungen quer zur Windrichtung infolge Wirbelablösungen sind auch bei hohen schlanken Behältern, wie z. B. bei Kolonnen, nicht zu erwarten, wenn Bühnen, Leitern, parallel geführte Rohrleitungen, seitliche Mannlochstützen etc. über die gesamte Höhe verteilt angebracht sind. Auch wirken innere Einbauten wie Flüssigkeitsverteilerböden oder insbesondere Füllkörperpackungen, sofern sie auch im oberen Teil der Kolonne vorhanden sind, den Querschwingungen entgegen.

Sind bei sehr schlanken und hohen schornsteinähnlichen Behältern ohne nennenswerte An- und Einbauten Querschwingungen zu erwarten, ist für diese Beanspruchung ein Ermüdungsnachweis zu führen. Dieses kann auch je nach Montageart und Fertigungszustand für Kolonnen im Montagezustand gelten, wobei hier auch andere temporär oder ständig wirkende konstruktive Maßnahmen, die Querschwingungen verhindern, möglich sind. Letzteres kann auch erforderlich sein, wenn bei Betriebsstillständen (Kolonne ohne Flüssigkeitsfüllung, Füllkörper, Einbauten etc.) Querschwingungen beobachtet werden.

Bei der Möglichkeit des Auftretens von Querschwingungen kann nach DIN EN 1991-1-4, Kapitel 2 in Verbindung mit den Anhängen B, C und E die Beanspruchung ermittelt werden. Ein ggf. erforderlicher Ermüdungsnachweis kann für die Tragstruktur nach DIN EN 1993-1-9 [5] und DIN EN 1993-1-9/NA [6] durchgeführt werden. Für die drucktragenden Elemente kann ein Ermüdungsnachweis nach AD 2000-Merkblatt S 2 durchgeführt werden.

4.1.4.8 Schneelasten

Schneelasten werden nach DIN EN 1991-1-3 [7] und DIN EN 1991-1-3/NA [8] bestimmt. Als belastete Fläche wird in der Regel die Projektionsfläche senkrecht zur vertikalen Richtung zugrunde gelegt. Für Bühnen und Laufstege sind Schneelasten durch die im Abschnitt 4.1.4.5 genannten Verkehrslasten enthalten.

4.1.4.9 Sonstige dynamische Lasten (zum Beispiel Erdbeben, Prozesse mit schnellen Drucksteigerungen)

Angaben über die Fußpunktanregung bei Erdbeben und die Festlegung/Berechnung statischer Ersatzlasten können der DIN EN 1998-1 [9] und DIN EN 1998-1/NA [10], DIN EN 1998-6 [11], dem VCI-Leitfaden [12] und, falls zutreffend, der DIBT-Berechnungsempfehlung 40-B3 [13] entnommen werden.

Zu möglichen Prozessen mit schnellen Drucksteigerungen und damit verbundenen Belastungen sind Angaben des Betreibers erforderlich.

4.1.4.10 Stutzenzusatzlasten

Stutzenzusatzlasten sind über die Stutzen in die Behälterwandung eingeleitete äußere Kräfte und Momente. Der lokale Spannungsnachweis erfolgt gemäß den Festlegungen des AD 2000-Merkblattes S 3/6. Stutzenzusatzlasten sind vom Hersteller inklusive der Darstellung der zugehörigen Koordinatensysteme auf der Zeichnung anzugeben.

Stutzenzusatzlasten mit Einfluss auf die Standsicherheit sind vom Besteller separat anzugeben und im Standsicherheitsnachweis zu berücksichtigen.

Belastungen aus Stutzen mit Nennweiten \leq DN 50 können im Rahmen des Standsicherheitsnachweises vernachlässigt werden.

Hinsichtlich der Berücksichtigung von Stutzenzusatzlasten sind folgende Arten von Stutzen zu unterscheiden:

4.1.4.10.1 Stutzen ohne Stutzenzusatzlasten

Für Stutzen, die nicht zum Anschluss an Rohrleitungen vorgesehen sind und die keine Zusatzlasten von Anbauteilen (z. B. Armaturen, Rührwerk) aufzunehmen haben, sind keine zusätzlichen Nachweise erforderlich. Beispiele sind Besichtigungsöffnungen oder Messstutzen.

4.1.4.10.2 Stutzen mit Belastungen aus angeschlossenen Rohrleitungen mit Auslegung nach AD 2000-Merkblatt HP 100 R

Für alle Anschlussstutzen von Rohrleitungen, für die keine expliziten Zusatzlasten (z. B. in Form von Stutzenlasttabellen) angegeben sind, ist davon auszugehen, dass bei der Planung der angeschlossenen Rohrleitungen die Kriterien nach AD 2000-Merkblatt S 3/6, Abschnitt 1 erfüllt sind. Die Verlegung der Rohrleitungen erfolgt auf Basis der Stützweiten tabellen und der Flexibilität nomogramme nach AD 2000-Merkblatt HP 100 R bzw. nach DIN EN 13480-3, Anhang Q.

Zur Berücksichtigung der Stutzenzusatzlasten erfolgt die Auslegung im Bereich der Stutzenverschneidung einschließlich Stutzenrohr mit einem um 10 % erhöhten Berechnungsdruck ($P_{\text{Ber}} = 1,1 \cdot PS$). Flansche mit Nennweiten ab DN 600 sind ebenfalls mit einem um 10 % erhöhten Berechnungsdruck ($P_{\text{Ber}} = 1,1 \cdot PS$) nachzuweisen. Die geringe Zusatzbeanspruchung darf bei der Dimensionierung der übrigen Apparateile inkl. der Tragelemente vernachlässigt werden.

4.1.4.10.3 Stutzen mit Belastungen nach Stutzenlasttabellen (Planzahlenverfahren)

Die Herstellung von Druckbehältern erfolgt in der Regel zeitlich vor der Erstellung der Rohrstatik. Daher sind zum Zeitpunkt der Behälterauslegung noch keine berechneten Stutzenzusatzlasten bekannt. Für die benötigten Festigkeitsreserven werden dem Hersteller Lasten in Form von Stutzenlasttabellen (Planzahlen) vorgegeben, die er bei der Dimensionierung von Stutzen und Flanschverbindungen sowie von Druckgeräten ggf. inkl. der Tragelemente zu berücksichtigen hat. Dabei handelt es sich pro Stutzen um drei Kräfte und drei Momente (ohne Angabe des Vorzeichens), die in einem lokalen Koordinatensystem z. B. am Verschneidungspunkt Stutzen – Zylinder angreifen (siehe Anhang 2, Bild 1).

Für die lokale Dimensionierung ist die ungünstigste Wirkrichtung der Kräfte und Momente für die Stutzensauslegung anzunehmen. Bei der globalen Betrachtung mehrerer Stützen wird durch die quadratische Überlagerung und den Abminderungsfaktor α berücksichtigt, dass nicht alle Stützenlasten gleichzeitig die ungünstigste Wirkung aufweisen (siehe Anhang 2, Abschnitt 5.3). Stützenzusatzlasten und die Lastangriffspunkte der betroffenen Stützen sind vom Hersteller auf der Zeichnung anzugeben.

4.1.4.10.4 Stützen mit realen Lasten

Aus rohrstatischen Berechnungen bzw. aus den Angaben der Lasten von Anbauteilen (z. B. Armaturen, Rührwerk) sind die realen Beanspruchungen der Stützen bekannt (inkl. der Wirkrichtungen von Kräften und Momenten). Diese Beanspruchungen sind durch den Druckgerätehersteller bei der Dimensionierung von Stützen und Flanschverbindungen sowie der betroffenen Druckgeräteile inkl. der Tragelemente zu berücksichtigen. Die Zusatzlasten sind inkl. der Darstellung der zugehörigen Koordinatensysteme auf der Zeichnung anzugeben.

4.2 Lastfälle

Die zu berücksichtigenden Lastfälle sind die Zustände im Druckbehälter bzw. in der den Druckbehälter einschließenden Anlage. Sie sind unabhängig vom Aufstellungsort, den verfahrenstechnischen Bedingungen sowie gegebenenfalls von den Anforderungen zutreffender Rechts- und Vorschriftengrundlagen anzugeben und entsprechend den Vorgaben in diesem Abschnitt zu klassifizieren.

Die Lastfälle stellen dabei eine Kombination gleichzeitig wirkender Belastungen oder entsprechender Belastungsabläufe dar. Die einzelnen Belastungen sind dabei entsprechend den Angaben im Abschnitt 4.1 zu ermitteln und entsprechend dem Beispiel in Tafel 1 zu Lastfällen zu kombinieren. Dabei brauchen stets nur die Belastungen miteinander kombiniert zu werden, die zeitlich gemeinsam auftreten können. Bei den Sonderfällen sind jeweils die gemeinsamen Betriebsbelastungen mit nur einer Sonderlast zu kombinieren.

Für alle Lastkombinationen gilt, dass die Überlagerung stets so zu wählen ist, dass die größtmögliche Schnittkraft in dieser Kombination bestimmt wird.

Alle zu berücksichtigenden Belastungen und Lastfälle sind anzugeben.

4.2.1 Benennung der Lastfälle

Lastfälle können sein:

- Betriebsfälle (BF)
- Prüffälle (PF)
- Montagefälle (MF)
- Sonderfälle (SF)

4.2.1.1 Betriebsfälle (BF)

Betriebsfälle sind solche Lastfälle, für die die Anlage bei funktionsfähigem Zustand der Systeme (ungestörter Zustand) bestimmt und geeignet ist. Weitere Betriebsfälle sind Lastfälle, die bei Fehlfunktion von Anlagenteilen oder Systemen (gestörter Zustand) auftreten, soweit hierbei einer Fortführung des Betriebes sicherheitstechnische Gründe nicht entgegenstehen.

4.2.1.2 Prüffälle (PF)

Prüffälle sind die Druckprüfung und die Dichtheitsprüfung. Hierunter fallen die Prüfungen im Herstellerwerk oder nach Montage beim Betreiber sowie die wiederkehrenden Prüfungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Auflagerung und des örtlich auftretenden Druckes.

4.2.1.3 Montagefälle (MF)

Die während der Montage, des Transports und der Errichtung bedingten Belastungen (zum Beispiel Massenkkräfte, Windlasten) sind als Montagefälle für den jeweiligen Montagezustand zu berücksichtigen.

4.2.1.4 Sonderfälle (SF)

Sonderfälle sind Ereignisabläufe, bei deren Eintreten der Betrieb der Anlage aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann, die aber im Falle des Eintretens beherrscht werden müssen.

4.3 Festigkeitsnachweise und Standsicherheitsnachweis

4.3.1 Allgemeines

Die Art und der Umfang der erforderlichen Festigkeitsnachweise richten sich nach der Bauteilart, für die der Nachweis zu führen ist, und nach den zu berücksichtigenden Belastungen (vgl. Abschnitt 4.1) bzw. den durch diese hervorgerufenen Beanspruchungen.

Für die im Abschnitt 4.2 genannten Lastfälle sind in der Regel die in den AD 2000-Merkblättern der Reihen B und S enthaltenen Festigkeitsnachweise unter Berücksichtigung der im Abschnitt 4.3.4 enthaltenen zulässigen Berechnungsspannungen durchzuführen. Bei darüber hinausgehenden erforderlichen Nachweisen ist gemäß AD 2000-Merkblatt G 1, Abschnitt 4.2 und 4.3 zu verfahren.

Die Bewertung von in Spannungsanalysen ermittelten Beanspruchungen erfolgt nach AD 2000-Merkblatt S 4.

4.3.2 Bauteilart

4.3.2.1 Druckbelastete Teile

Für alle drucktragenden Teile sowie alle fest mit dem Druckbehälter verbundenen Teile gelten (soweit zutreffend) die AD 2000-Merkblätter der Reihen B und S. Bei angeschweißten Halterungskonstruktionen ist der integral mit dem Druckbehälter verbundene Teil nach den AD 2000-Merkblättern der Reihen B und S (soweit zutreffend) zu berechnen. Die Abgrenzung zwischen integralem Halterungsteil und der Halterungskonstruktion erfolgt mit Hilfe der Bedingung über die Abklinglänge, zum Beispiel bei Standzargen (Bild 1) mit

$$x \geq \sqrt{D_a \cdot e_z} \quad (1)$$

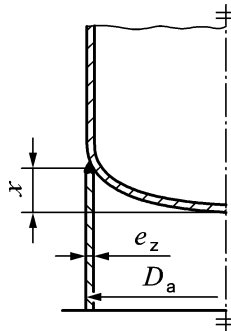


Bild 1

4.3.2.2 Tragelemente

Tragelemente wie Halterungen, Unterstützungen können nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe S 3 nachgewiesen werden.

4.3.2.3 Ankerschrauben

Maßgebend für die Bemessung ist der Kernquerschnitt der Schraube (A_{d3} nach DIN 13-28).

4.3.3 Belastungsart

4.3.3.1 Druckbelastete Bauteile

Für druckbelastete Bauteile sind ergänzend zur Bemessung nach den AD 2000-Merkblättern der Reihe B insbesondere für Krafteinleitungsbereiche sowie für die wesentlichen tragenden Querschnitte die bei den einzelnen Belastungen (siehe Abschnitt 4.1) auftretenden Spannungen, getrennt nach Membran- und Biegespannungen, zu bestimmen. Die für die einzelnen Belastungen ermittelten Spannungen werden dann, getrennt nach Membran- und Biegespannungen, gemäß den vorgegebenen Lastfällen (siehe Abschnitt 4.2) für jeden betrachteten Ort vorzeichengerecht aufaddiert und mit den zulässigen Berechnungsspannungen nach Abschnitt 4.3.4 verglichen. Dabei dürfen die globalen Membranspannungen aus mechanischen Lasten die in Abschnitt 4.3.4 angegebenen Beanspruchungsgrenzen nicht überschreiten. Für überlagerte Spannungen aus mechanischen und thermischen Lasten dürfen höhere Beanspruchungsgrenzen in Anspruch genommen werden. Für die Membranspannungen in örtlich eng begrenzten Bereichen wie zum Beispiel Lasteinleitstellen sowie für die Gesamtspannungen aus Membran- und Biegespannungen können die zulässigen Berechnungsspannungen erhöht werden entsprechend den Angaben im AD 2000-Merkblatt S 4.

Treten bei den ermittelten Spannungen außerhalb von lokalen Stellen Druckmembranspannungen auf, so sind zusätzlich Stabilitätsnachweise für diesen Lastfall durchzuführen. Hierbei kommt neben den AD 2000-Merkblättern der Reihe B ein Stabilitätsnachweis nach DIN EN 1993-1-6 [14] in Betracht.

4.3.3.2 Tragelemente

Für Tragelemente aus schalenförmigen Bauteilen gelten die Ausführungen für druckbelastete Bauteile in Abschnitt 4.3.3.1 sinngemäß.

Für Tragelemente aus stabförmigen Bauteilen sind ausgehend von den Lastkombinationen für die einzelnen Lastfälle die Spannungen (Zug, Druck, Biegung und deren Kombinationen) zu ermitteln und abhängig vom Lastfall und der Lastkombination mit den zulässigen Berechnungsspannungen nach Abschnitt 4.3.4 zu begrenzen. Treten in diesen Bauteilen bei den einzelnen Lastkombinationen Druck- oder Biegedruckspannungen auf, so sind diese nach DIN EN 1993-1-1 [15] und DIN EN 1993-1-1/NA [16] zu begrenzen.

4.3.3.3 Lastfallkombinationen

Die zu berücksichtigenden Lastfälle sind je nach Bemessungskonzept gemäß Tafel 1 oder Tafel 2 nach Abschnitt 4.3.4 zu kombinieren.

4.3.4 Zulässige Berechnungsspannung

Die zulässigen Berechnungsspannungen richten sich nach dem Lastfall, der Bauteilart und dem Bemessungskonzept.

Bemessungskonzept 1: Nachweisverfahren für Tragelemente, deren Einwirkung auf die lokale Behälterschale und den Festigkeitsnachweis der Gesamtstruktur nach den AD 2000-Merkblättern S 3/1 bis S 3/6.

Das Bemessungskonzept 1 liefert keinen globalen Stabilitätsnachweis für die Behälterschale bei kombinierten Belastungen.

Bemessungskonzept 2: Nachweisverfahren für Tragelemente und globale Standsicherheit nach den Festlegungen des Eurocodes.

4.3.4.1 Zulässige Spannungen für das Bemessungskonzept 1

Die zulässigen Spannungen für das Bemessungskonzept 1 sind beispielhaft in Tafel 1 aufgenommen.

Zugrunde liegt dafür:

4.3.4.1.1 Druckbehälter

- (1) Die zulässige Berechnungsspannung f wird bestimmt aus dem Werkstoffkennwert K und dem Sicherheitsbeiwert S nach AD 2000-Merkblatt B 0 bzw. nach den entsprechenden Berechnungsblättern zu

$$f = K/S.$$

- (2) Für die Prüffälle wird abweichend zu (1) der Sicherheitsbeiwert S' verwendet zur Festlegung der zulässigen Berechnungsspannung

$$f_P = K/S'.$$

- (3) Bei den Montagefällen wird zwischen kurzzeitig wirkenden (zum Beispiel Absetzvorgang beim Transport) und länger wirkenden Montagebelastungen unterschieden.

Die zulässigen Berechnungsspannungen

$$f_M = K/S_M$$

werden dabei durch Anpassen der Sicherheitsbeiwerte gemäß AD 2000-Merkblatt B 0 aus den Sicherheitsbeiwerten für den Betriebs- und den Prüffall abgeleitet zu

$$S_M = S - a \cdot (S - S'), \quad (2)$$

wobei

$a = 1,0$ bei kurzfristiger,

$a = 0,5$ bei länger andauernder Beanspruchung zu wählen ist.

- (4) Bei Sonderfällen wird die zulässige Berechnungsspannung

$$f_S = K/S_S$$

wie beim Montagefall festgelegt unter Berücksichtigung von $a = 1,25$. Dabei darf S_S jedoch nicht kleiner als 1,0 sein.

4.3.4.1.2 Tragelemente

- (1) Die zulässige Berechnungsspannung für Betriebsfälle

$$f = K/S$$

kann für Werkstoffe der Reihe W in den AD 2000-Merkblättern der Festigkeitskennwert K mit dem Sicherheitsbeiwert für den Auslegungsfall nach AD 2000-Merkblatt B 0 zugrunde gelegt werden.

- (2) Für die Montage- und Prüffälle darf der Sicherheitsbeiwert um den Faktor 1,1 reduziert werden.

- (3) Für die Sonderfälle darf der Sicherheitsbeiwert um den Faktor 1,5 reduziert werden.

- (4) Stabilitätsnachweise, die nicht in den AD 2000-Merkblättern S 3/1 bis S 3/5 geregelt sind, sind nach DIN EN 1993-1-5 [17] und DIN EN 1993-1-5/NA [18] durchzuführen. Dabei sind die in DIN EN 1990 [19] und DIN EN 1990/NA [20] festgelegten Teilsicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen, siehe auch Tafel 2. Dabei ist zu beachten, dass für austenitische Werkstoffe die abgeminderten Werkstoffkennwerte nach Tabelle 1 und Tabelle 2 aus Anhang 3 zu verwenden sind.

- (5) Abweichend von AD 2000-Merkblatt B 0 kann für die Teile des Tragelementes die Umgebungstemperatur zugrunde gelegt werden, wenn diese sich außerhalb der Wärmeisolierung des Behälters befinden.

Tafel 1 — Beispielhafte Zuordnung der Belastungen und Lastfälle zu den Beanspruchungsstufen und zulässigen Berechnungsspannungen

Lastfall ¹⁾ nach Abschnitt 4.2	Belastungen nach Abschnitt											zulässige Berechnungs- spannung nach Abschnitt 4.3	
	4.1.4.1	4.1.4.2			4.1.4.3	4.1.4.4	4.1.4.5	4.1.4.6	4.1.4.8	4.1.4.9	4.1.4.10	Druckbehälter	Tragelemente ⁵⁾
	Eigenlast	Innendruck	Unterdruck oder äußerer Überdruck	örtlicher Druckaufbau	Temperatur ²⁾	äußere Lasten und Lastmomente (statisch, dynam.)	Verkehrslasten	Windlasten ³⁾	Schneelasten	dynam. Lasten/ Erdbeben	äußere Lasten aus Stutzenzusatzlasten		
BF1	x	x			x	x	x	x	x		x	f	f
BF2	x		x	x	x	x	x	x	x		x		
...													
PF1	x	x				x		x			x ⁴⁾	f _P	1,1 · f
PF2	x		x			x		x			x ⁴⁾		
...													
MF1	x					x		x			x ⁴⁾	f _M	1,1 · f
MF2	x					x		x			x ⁴⁾		
...													
SF1	x	x				x				x	x ⁶⁾	f _S	1,5 · f
SF 2	x		x			x				x	x ⁶⁾		
...													

1)

Die hier aufgeführten Lastfälle zeigen beispielhaft die Zuordnung und sind für den jeweiligen Anwendungsfall entsprechend vorzugeben.

2)

Die zugehörige Temperatur ist generell für die Bestimmung der zulässigen Spannungen maßgebend. Bei den hier in dieser Spalte angekreuzten Lastfällen sind zusätzlich Wärmespannungen anteilig zu berücksichtigen.

3)

Windlasten können in den Lastfällen PF1, PF2, MF1 und MF2 bei Belastungszeiträumen < 12 Monate um den Faktor 0,7 reduziert werden.

4)

Für die Lastfälle PF1, PF2, MF1 und MF2 sind Stutzenzusatzlasten zu berücksichtigen, falls relevant.

5)

Gilt nur für das Nachweiskonzept nach AD 2000-Regelwerk.

6)

Einwirkungen, die aus Massenkraften resultieren, sind zu berücksichtigen.

4.3.4.2 Zulässige Spannungen für das Bemessungskonzept 2

Bei der Anwendung des Bemessungskonzeptes 2 nach Eurocode ist das dort geforderte Teilsicherheitskonzept vollständig anzuwenden, siehe Tafel 2.

4.3.4.2.1 Festigkeitsnachweis

Der Festigkeitsnachweis nach dem Bemessungskonzept 2 ist nach DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 5.4.1 (1) „Elastische Tragwerksberechnung“ zu führen.

4.3.4.2.2 Stabilitätsnachweis

Stabilitätsberechnungen von Schalen mit kombinierten Belastungen sind nach DIN EN 1993-1-6 zu führen. Dabei ist zu beachten, dass für austenitische Werkstoffe die abgeminderten Werkstoffkennwerte nach Tabelle 1 und Tabelle 2 im Anhang 3 zu verwenden sind.

Tafel 2 — Beispielhafte Zuordnung der Teilsicherheitsbeiwerte und Lastfälle für den Nachweis nach DIN EN 1990/NA

	4.1.4.1	4.1.4.2		4.1.4.3	4.1.4.4	4.1.4.5	4.1.4.6 + 7	4.1.4.8	4.1.4.9	4.1.4.10		
Lastfälle ¹⁾	Eigenlast	Innendruck	Unterdruck oder äußerer Überdruck	Temperatur ²⁾	äußere Lasten und Lastmomente ³⁾	Verkehrslasten	Windlasten ⁴⁾	Schneelasten ⁴⁾	dynam. Lasten/ Erdbeben	äußere Lasten aus Stützensatzlasten ⁵⁾	Druckbehälter	Tragelemente
BF1	1,35	1,35		1,00	1,50	1,50	1,50	1,50		1,35	K/1,1	K/1,1
BF2	1,35		1,50	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50		1,35		
...												
PF1	1,00	1,00			1,00		1,50			1,35	K/1,05	K
PF2	1,00		1,10		1,00		1,50			1,35		
...												
MF1	1,00				1,00		1,50			1,35	K/1,05	K
MF2	1,00				1,00		1,50			1,35		
...												
SF1	1,00	1,00			1,00				1,00	1,00 ⁶⁾	K	K
SF2	1,00		1,00		1,00				1,00	1,00 ⁶⁾		
...												

1) Die hier aufgeführten Lastfälle zeigen beispielhaft die Zuordnung und sind für den jeweiligen Anwendungsfall entsprechend vorzugeben.

2) Die zugehörige Auslegungstemperatur ist generell für die Bestimmung der zulässigen Spannungen maßgebend. Bei den hier in dieser Spalte angekreuzten Lastfällen sind zusätzlich Wärmespannungen zu berücksichtigen.

3) Bei detaillierter Berechnung der Zusatzlasten kann bei BF1 und BF2 der Wert 1,35 anstelle von 1,5 verwendet werden (siehe VGB R602).

4) Für Wind- und/oder Schneelasten wird in Kombination mit allen Belastungen, außer Belastungen unter Abschnitt 4.1.4.1 bis 4.1.4.3, ein Kombinationsbeiwert von 0,9 zugelassen. Windlasten können in den Lastfällen PF1, PF2, MF1 und MF2 bei Belastungszeiträumen < 12 Monate um den Faktor 0,7 abgemindert werden.

5) Für die Lastfälle PF1, PF2, MF1 und MF2 sind Stützensatzlasten zu berücksichtigen, falls relevant.

6) Einwirkungen, die aus Massenkraft resultieren, sind zu berücksichtigen.

4.3.4.3 Ankerschrauben

Für Schraubenwerkstoffe der Festigkeitsklassen 4.6 und 5.6 sowie für Ankerschrauben aus den Werkstoffen 1.0038 und 1.0570 ist für die Lastfälle Betrieb bei Umgebungstemperatur der Festigkeitskennwert K die in der DIN 28082-2 angegebene Streckgrenze. Für höhere Temperaturen gelten die in dem AD 2000-Merkblatt W 13 für diese Werkstoffe festgelegten Kennwerte.

Die Lastermittlung für die Ankerschrauben erfolgt grundsätzlich über die Berechnung der Gebrauchslasten. Dies erfolgt direkt nach dem Bemessungskonzept 1 oder durch die Rückrechnung aus dem Bemessungskonzept 2.

In den Lastfällen Betrieb beträgt der Sicherheitsbeiwert $S = 2,2$ gegen die Streckgrenze. Darüber hinaus gelten die zutreffenden Regelungen in Abschnitt 4.3.4.1.2 (2), (3) und (5).

Für den Lastfall Erdbeben ist sicherzustellen, dass sich plastische Verformungen ausschließlich in der Komponente selbst oder ihrer Unterkonstruktion ausbilden, nicht aber in den Ankerschrauben bzw. Verankerungen. Wird die Beanspruchung für den Nachweis der Ankerschrauben durch Ansatz einer Ersatzkraft ermittelt (siehe auch [9], Absatz 4.4.2.6 (2)P; [12]), muss der Verhaltensbeiwert q auf 1,0 begrenzt werden.

4.3.5 Prüfung des Standsicherheitsnachweises

Die Prüfung des Standsicherheitsnachweises setzt die Prüfung der Bemessung der drucktragenden Behälterteile (vgl. Abschnitt 4.2.1 und 4.2.2 des AD 2000-Merkblattes HP 511) voraus.

Für die Prüfung des Standsicherheitsnachweises sind eine Darstellung des gesamten statischen Systems, die erforderlichen Konstruktionszeichnungen und die erforderlichen Berechnungen einschließlich der Berechnung gegen Innendruck vorzulegen.

Über die mit positivem Ergebnis abgeschlossene Prüfung ist ein Prüfbericht zu erstellen und die geprüften Nachweise sind mit einem Prüfvermerk zu versehen.

4.4 Überlagerung von Stutzensatzlasten für den Standsicherheitsnachweis

Ein Verfahren für die Berücksichtigung von Stutzensatzlasten ist im Anhang 2 geregelt.

4.5 Lastaufteilung bei mehreren Auflagerpunkten

Ist ein Behälter auf mehreren Füßen oder Prätzen mit gleichmäßiger Teilung aufgelagert, so darf bei gleicher Teilung die an jedem Einzelelement wirkende maximale Druckkraft errechnet werden zu

$$N_{Fd} = \frac{1}{n} \left(\frac{4 M}{d_F} + G_d \right) \quad (3)$$

Eine Verankerung gegen Abheben ist notwendig, falls

$$\frac{4 M}{d_F} > 0,7 G_z \text{ ist.} \quad (4)$$

Als maximale Zugkraft zur Bestimmung von Ankerschrauben ist

$$N_{Fz} = \frac{1}{n} \left(\frac{4 M}{d_F} - 0,9 \cdot G_z \right) \quad (5)$$

für $n \geq 4$ zugrunde zu legen.

Für $n = 3$ Einzelstützen ergibt sich die maximale Zugkraft aus

$$N_{Fz} = \frac{1}{3} \left(\frac{6 M}{d_F} - G_z \right) \quad (6)$$

Die Bestimmung der einzelnen Ankerschraubenkräfte hängt von den konstruktiven Verhältnissen im Fußpunkt ab (siehe AD 2000-Merkblatt S 3/3, Abschnitt 6.2).

Sofern keine gleichmäßige Lastverteilung durch Sicherstellung einer gleichmäßigen Auflagerung gewährleistet werden kann, darf höchstens mit $n = 3$ gerechnet werden. Bei zwei Auflagerpunkten ist in der Regel kein stabiler Auflagerzustand gewährleistet. Dem ist gegebenenfalls durch zusätzliche Abstützungen in horizontaler Richtung Rechnung zu tragen.

Bei der Bestimmung der Schraubenkraftanteile infolge der Momentenbelastung ist die Drehachse durch die Behältermitte zu legen.

Zur Berücksichtigung der Schraubenvorspannung sind die errechneten Schraubenkräfte um 10 % zu erhöhen.

4.6 Berücksichtigung von Längskräften

Im Rahmen des Standsicherheitsnachweises ist zu prüfen, ob die aus den äußeren und den Gewichtslasten resultierenden Längskräfte in der Druckbehälterwand zu einer Erhöhung der Gesamtbeanspruchung führen und damit ggf. eine Vergrößerung der Wanddicke erfordern. Treten hierbei Druckspannungen in Längsrichtung in der Behälterwand auf, ist zusätzlich ein Stabilitätsnachweis z. B. nach DIN EN 1993-1-6 erforderlich.

Dabei ist zu beachten, dass für austenitische Werkstoffe die abgeminderten Werkstoffkennwerte nach Tabelle 1 und Tabelle 2 im Anhang 3 zu verwenden sind.

4.7 Bewertung von Schweißnähten an Tragelementen

Die Gestaltung von Schweißnähten muss mit DIN EN 1708-1 vereinbar sein. Auf den rechnerischen Nachweis von Kehlnähten kann verzichtet werden, wenn die Schweißnahtdicke mindestens das 0,7-Fache der kleinsten Wanddicke der beteiligten Bleche aufweist und beidseitig geschweißt wird. Bei der Berechnung einseitig geschweißter Kehlnähte sind die Schweißnahtdicke g und ein Verschwächungsbeiwert $v = 0,6$ zugrunde zu legen. Einseitig geschweißte Stumpfnähte sind bei Vorliegen von Zugmembranspannungen mit $v = 0,7$ zu bewerten.

Beidseitig geschweißte Stumpfnähte sind bei Vorliegen von Zugmembranspannungen mit $v = 0,85$ zu bewerten.

Die Verschwächungsbeiwerte v sind nur beim Membranspannungsnachweis zu berücksichtigen.

5 Schrifttum

- [1] DIN EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [2] DIN EN 13084-1, Freistehende Schornsteine – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- [3] DIN EN 1991-1-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten
- [4] DIN EN 1991-1-4/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten
- [5] DIN EN 1993-1-9, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung
- [6] DIN EN 1993-1-9/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung
- [7] DIN EN 1991-1-3, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten
- [8] DIN EN 1991-1-3/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten
- [9] DIN EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [10] DIN EN 1998-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau
- [11] DIN EN 1998-6, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 6: Türme, Maste und Schornsteine
- [12] VCI-Leitfaden und Erläuterungen zum VCI-Leitfaden, Ausgabe 10/2012
- [13] DIBT-Berechnungsempfehlungen im Zusammenhang mit Zulassungsverfahren für zylindrische Behälter und Silos, Berücksichtigung des Lastfalls Erdbeben 40-B3
- [14] DIN EN 1993-1-6, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen
- [15] DIN EN 1993-1-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [16] DIN EN 1993-1-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [17] DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile
- [18] DIN EN 1993-1-5/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile
- [19] DIN EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [20] DIN EN 1990/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung

Anhang 1 zu AD 2000-Merkblatt S 3/0

Muster einer Bescheinigung nach Abschnitt 2.7

Anschlusslasten (Gebrauchslasten) des Behälters, bezogen auf Systemachse und						
[] Unterkante Standzarge/Tragring, Tragpratzenenebene						
[] Unterkante Profil-/Rohrstütze						
[] Unterkante Sattellager						
in kN und kNm:						
Betriebslasten	V	H		M		
	z	x	y	x	y	z
Leergewicht						
Betriebsgewicht						
Prüfgewicht						
Stutzenzusatzlasten						
äußere Lasten	V	H		M		
	z	x	y	x	y	z
Verkehr						
Wind						
Schnee						
Erdbeben						
Lasten je Stütze – max V	V	H		M		
	z	x	y	x	y	z
Betrieb						
Verkehr						
Wind						
Schnee						
Erdbeben						
– min V						
Betrieb						
Verkehr						
Wind						
Schnee						
Erdbeben						
maximale Verankerungskraft [kN]						
maximale Flächenpressung [MPa]						

Anhang 2 zu AD 2000-Merkblatt S 3/0

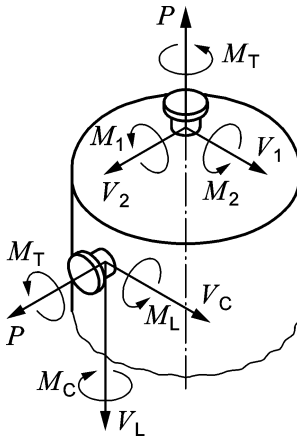
Überlagerung von Stutzenzusatzlasten nach Planzahlen für den Standsicherheitsnachweis

1. Definition der Lastrichtungen bei Stutzenzusatzlasten

Alle Lastangaben beziehen sich auf den Verschneidungspunkt zwischen Stutzen und Grundkörper (außen) und die in Tabelle 1 angegebenen Bezeichnungen. Das Koordinatensystem gilt immer lokal zum Stutzen.

Tabelle 1 — Lastrichtung der Stutzenzusatzlasten mit Beispielen von Stutzenzusatzlasten für Apparatestutzen (Planzahlen)

DN	N			Nm		
	P	V_L V_1	V_C V_2	M_L M_1	M_C M_2	M_T
50	2300	3100	2300	500	400	800
80	3500	4100	3000	1400	900	1800
100	4300	4800	3500	2100	1400	2600
150	6700	6800	4800	4000	2600	4800
200	9500	9300	6300	6400	4200	7300
250	12600	12200	8000	9100	6100	10200
300	16200	15500	9800	12200	8300	13400
350	20100	19300	11900	15700	10900	16900
400	24300	23400	14000	19600	13800	20900
450	29000	28000	16400	23900	17000	25200
500	34000	33000	18900	28500	20500	29800
600	45200	44300	24500	39000	28600	40100
700	57900	57200	30700	51000	38000	51800
800	72100	71800	37600	64600	48700	65000
900	87700	88100	45200	79700	60600	79600
1000	104900	106100	53500	96300	73900	95500



Der lokale Spannungsnachweis bezieht sich auf die Bauteile des Stutzens und dessen Anschluss zum Grundkörper. Für die Nachweise sind, sofern nicht anders angegeben, alle Stutzenzusatzlasten und der Druck zu berücksichtigen. Für Punkte außerhalb des Verschneidungspunktes (z. B. Flanschanschluss) kann eine Transformation der Lasten vorgenommen werden oder es können vereinfacht die gleichen Stutzenzusatzlasten angenommen werden (zulässige Stutzenlänge: Maximum aus 200 mm oder $1 \times DN$).

2. Lokaler Nachweis

Der lokale Spannungsnachweis ist für folgende Bauteile, soweit vorhanden, durchzuführen:

- Stutzenanschluss zum Grundkörper und Stutzenrohr (siehe auch AD 2000-Merkblatt S 3/6)
- Stutzenflansch, falls mindestens eine der folgenden Bedingungen zutrifft
 - Stutzenflanschausführung entspricht nicht der Ausführung Typ 11 der DIN EN 1092-1
 - Stutzenzusatzlasten sind höher als die in der DIN EN 1092-1 berücksichtigten
 - ab Nenndurchmesser DN 600

3. Globaler Nachweis

Der globale Nachweis berücksichtigt die Auswirkung der Stutzenzusatzlasten auf den gesamten Apparat und dessen Tragkonstruktionen und umfasst sowohl einen Spannungs- als auch Stabilitätsnachweis. Dabei sind z. B. folgende Einzelnachweise erforderlich:

- Nachweis der Behälterflansche
- Nachweis der Behälterschale
- Nachweis der Wärmetauscherrohre (z. B. bei Wärmeaustauscher mit Kompensator im Mantelraum)
- Nachweis der Tragkonstruktion

Falls zutreffend, muss die Überlagerung der Lasten aus mehreren Stützen berücksichtigt werden.

Sind bei einem Apparat für mehrere Stützen Zusatzlasten zu berücksichtigen, erfolgt für den globalen Nachweis die Überlagerung quadratisch.

Die so ermittelten Schnittgrößen aller Stützen sind zu summieren. Die Schnittgrößen aus quadratisch überlagerten Lasten sind sowohl mit positivem als auch negativem Vorzeichen den Schnittgrößen aus Lasten mit korrektem Vorzeichen zu überlagern. Die Schnittgrößen aus den Stützensatzlasten sind stets mit den Schnittgrößen aus gleichzeitig wirkenden anderen Lasten zu kombinieren (siehe Tafel 1 bzw. Tafel 2 nach Abschnitt 4.3).

Die Überlagerung von Stützensatzlasten nach Planzahlen mit realen Stützensatzlasten ist gesondert zu betrachten.

4. Erläuterungen zur quadratischen Überlagerung von Stützensatzlasten gemäß Planzahlen (z. B. aus Tabelle 1)

Stützensatzlasten beanspruchen einen Apparat nicht nur lokal an der Verschneidungsstelle und dem Stützenflansch, sondern sie haben auch Auswirkungen auf die Gesamtkonstruktion (z. B. Lagerung des Behälters).

Um die Höhe der Zusatzbeanspruchungen an den maßgebenden Stellen zu bestimmen, müssen die Stützensatzlasten (nach Tabelle 1 oder tatsächlich berechnete Lasten) an diese Stellen transformiert werden.

Das nachfolgend dargestellte Prinzip für die Transformation der Stützensatzlasten bezieht sich ausschließlich auf statisch bestimmte Systeme. Bei statischer Unbestimmtheit (z. B. Kolonne mit Führung) ist diese Vorgehensweise nicht ohne Weiteres anwendbar, hier müssen weitere Betrachtungen nach den Regeln der technischen Mechanik vorgenommen werden.

Vor der quadratischen Überlagerung müssen die Stützensatzlasten, bezogen auf das lokale Koordinatensystem nach Bild 1, den Achsen des globalen Koordinatensystems zugeordnet werden.

Liegen die Stützen nicht in den Hauptachsen des globalen Koordinatensystems, so sind die lokalen Stützensatzlasten zuerst über Transformationen der entsprechenden Drehachse und Drehwinkel in die Richtung der globalen Hauptachsen umzurechnen.

Die nachfolgenden Transformationsgleichungen beziehen sich auf die Stützenstellungen gemäß Bild 1.

Die Gleichungen sollen das Prinzip der Überlagerung verdeutlichen, bei dem Kräfte und Momente transformiert werden, wobei die Kräfte über ihre Hebelarme zusätzliche Biegemomente erzeugen.

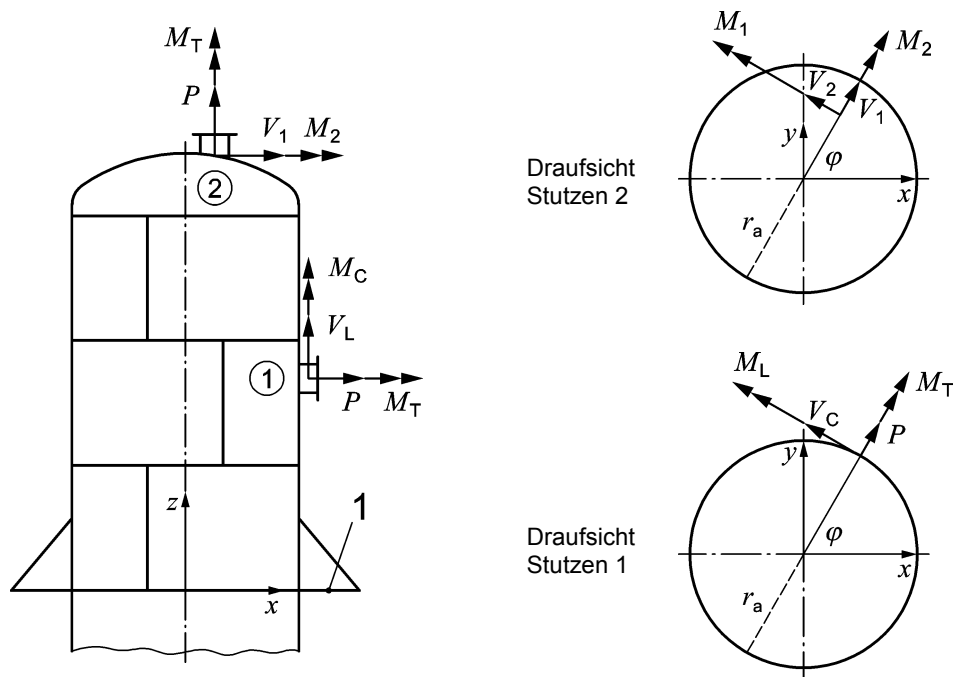
Um unabhängig von der Wirkrichtung zu sein, werden die Schnittgrößen vorzeichenfrei überlagert, d. h. sie sind immer als Betrag in \pm -Richtung zu betrachten

Globale Koordinaten:

Der Ursprung des globalen Koordinatensystems wird in Höhe der Tragebene auf die Achse des Apparates gelegt. Auf dieses System werden die Koordinaten der einzelnen Lastangriffspunkte bezogen.

5. Lasttransformation zu einem Bezugspunkt

Die nachfolgend dargestellte Methode bezieht sich auf die Transformation der Stützensatzlasten bei statisch bestimmten Systemen zu einem gemeinsamen Bezugspunkt (Ursprung des globalen x - y - z -Koordinatensystems nach Bild 1). Die Transformation kann daher angewendet werden bei Lagerungen auf Standzargen, Füßen, Tragpratzen und bei Ringlagerungen, aber auch zur Bestimmung der Beanspruchung in der Behälterschale oder im Apparateflansch.

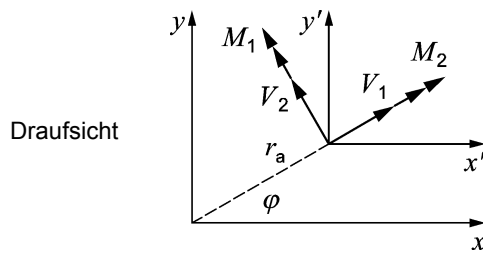


1 Tragebene

Bild 1 — Stehender Behälter, Stutzen im Zylinder (1) und im Boden (2) mit Zusatzlasten

Formelzeichen		Einheit
P, V_L, V_C	lokal an der Verschneidungsstelle angreifende Kräfte am Stutzen im Zylinder	N
M_L, M_C, M_T	lokal an der Verschneidungsstelle angreifende Momente am Stutzen im Zylinder	Nmm
P, V_1, V_2	lokal an der Verschneidungsstelle angreifende Kräfte am Stutzen im Boden	N
M_1, M_2, M_T	lokal an der Verschneidungsstelle angreifende Momente am Stutzen im Boden	Nm
x, y, z	globales Koordinatensystem in der zu betrachtenden Ebene (z. B. Tragebene)	—
	Lage des Stutzens im globalen Koordinatensystem	mm
x', y', z'	lokales Koordinatensystem an der Verschneidungsstelle	
r_a	Radius Lastangriffspunkt (Radius des Zylinders, Teilkreisradius des Bodens)	mm
φ	Winkellage Lastangriffspunkt	°
P_{xi}, P_{yi}, P_{zi}	Reaktionskräfte eines Stutzens i in der Tragebene	N
$MP_{xi}, MP_{yi}, MP_{zi}$	Reaktionsmomente eines Stutzens i in der Tragebene	Nmm
P_{xq}, P_{yq}, P_{zq}	überlagerte Reaktionskräfte aller Stutzen in der Tragebene	N
$MP_{xq}, MP_{yq}, MP_{zq}$	überlagerte Reaktionsmomente aller Stutzen in der Tragebene	Nmm
α	Abminderungsfaktor bei quadratischer Überlagerung	

5.1 Transformation der Kräfte und Momente ins lokale x' - y' - z' -Koordinatensystem



Stutzen im Boden

$$F_{x(V_1, V_2)} = V_1 \cos \varphi - V_2 \sin \varphi$$

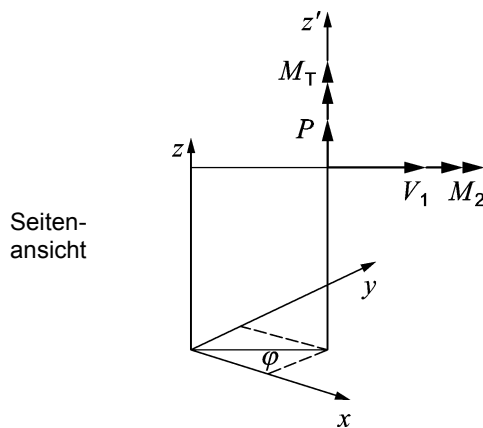
$$F_{y(V_1, V_2)} = V_1 \sin \varphi + V_2 \cos \varphi$$

$$F_{z(P)} = P$$

$$M_{x(M_1, M_2)} = M_2 \cos \varphi - M_1 \sin \varphi$$

$$M_{y(M_1, M_2)} = M_2 \sin \varphi + M_1 \cos \varphi$$

$$M_{z(M_T)} = M_T$$



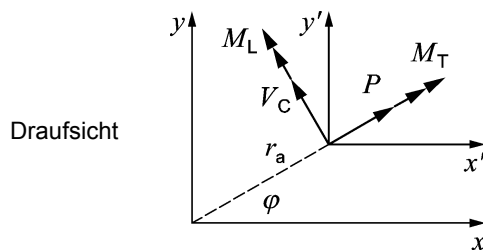
Lage des Stutzens i

$$x = r_a \cos \varphi$$

$$y = r_a \sin \varphi$$

$$z$$

$$r_a = \text{Teilkreisdurchmesser}$$



Stutzen im Zylinder

$$F_{x(P, V_C)} = P \cos \varphi - V_C \sin \varphi$$

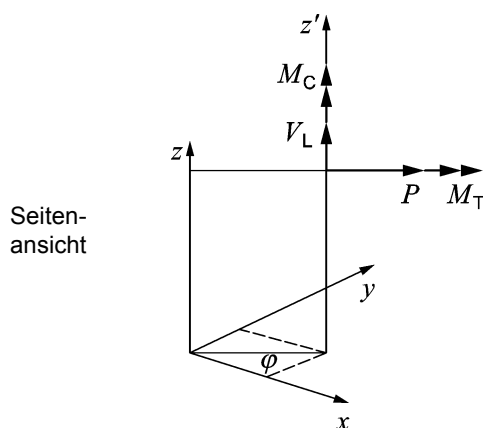
$$F_{y(P, V_C)} = P \sin \varphi + V_C \cos \varphi$$

$$F_{z(V_L)} = V_L$$

$$M_{x(M_T, M_L)} = M_T \cos \varphi - M_L \sin \varphi$$

$$M_{y(M_T, M_L)} = M_T \sin \varphi + M_L \cos \varphi$$

$$M_{z(M_C)} = M_C$$



Lage des Stutzens i

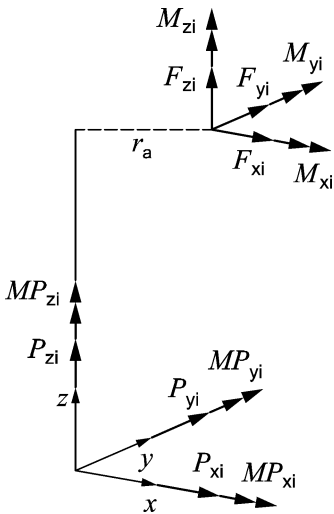
$$x = r_a \cos \varphi$$

$$y = r_a \sin \varphi$$

$$z$$

5.2 Transformation zum Mittelpunkt in der Tragebene

Reaktionslasten in der Tragebene (Transformation)



Transformation zum Mittelpunkt der Tragebene für jeden Stutzen i

$$P_{xi} = + F_{xi}$$

$$P_{yi} = + F_{yi}$$

$$P_{zi} = + F_{zi}$$

$$MP_{xi} = + M_{xi} - F_{yi} z + F_{zi} y$$

$$MP_{yi} = + M_{yi} + F_{xi} z - F_{zi} x$$

$$MP_{zi} = + M_{zi} + F_{yi} x - F_{xi} y$$

Maximalwerte

Durch Variation der Vorzeichen aller sechs Lasten an dem betrachteten Stutzen i werden die maximalen Reaktionskräfte im Ursprung des globalen x - y - z -Koordinatensystems (Mittelpunkt der Tragebene) berechnet.

Belastung pro Stutzen i

max. Reaktionskräfte pro Stutzen i im Mittelpunkt der Tragebene

$$\begin{pmatrix} \pm P_i \\ \pm V_{Li}, V_{1i} \\ \pm V_{Ci}, V_{2i} \\ \pm M_{Li}, M_{1i} \\ \pm M_{Ci}, M_{2i} \\ \pm M_{Ti} \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{Variation der Vorzeichen}} \begin{pmatrix} P_{x\max i} \\ P_{y\max i} \\ P_{z\max i} \\ MP_{x\max i} \\ MP_{y\max i} \\ MP_{z\max i} \end{pmatrix}$$

5.3 Quadratische Überlagerung

Die überlagerten Kräfte und Momente aus allen beteiligten Stutzen n ergeben sich aus der abgeminderten quadratischen Überlagerung (abgeminderte SRSS-Regel „Quadratsummenwurzel-Regel“). Die Abminderung erfolgt über einen Faktor α (für liegende Behälter auf zwei Sätteln gilt: $\alpha = 1$)¹⁾ nach Tabelle 2, der berücksichtigt, dass nicht alle Lasten gleichzeitig ungünstig wirken und damit immer den Maximalwert erzeugen.

$$\begin{aligned} P_{xq} &= \alpha \sqrt{\sum P_{x\max i}^2} & MP_{xq} &= \alpha \sqrt{\sum MP_{x\max i}^2} \\ P_{yq} &= \alpha \sqrt{\sum P_{y\max i}^2} & MP_{yq} &= \alpha \sqrt{\sum MP_{y\max i}^2} \\ P_{zq} &= \alpha \sqrt{\sum P_{z\max i}^2} & MP_{zq} &= \alpha \sqrt{\sum MP_{z\max i}^2} \end{aligned}$$

1) Begründung: Maßgebende Belastungsgröße für die Dimensionierung des Festsattels ist die resultierende Last in Längsrichtung. Diese wird nur bestimmt aus den Längs Kräften der beteiligten Stutzen, die sich je nach Vorzeichen gegenseitig durch lineare Überlagerung verstärken oder abmildern. Im Gegensatz zur Lasttransformation zu einem Bezugspunkt, bei der die maßgebende Wirkung aus fast allen Lastkomponenten gebildet wird, ist hier die Wahrscheinlichkeit einer Abminderung nicht gegeben.

Tabelle 2 — Abminderungsfaktor α bei quadratischer Überlagerung der Lasten von Stutzenzusatzlasten nach Planzahlen. Ausgenommen: liegende Behälter auf zwei Sätteln¹⁾

Anzahl der Stutzen n	Abminderungsfaktor α
1	1,0
2	0,9
3	0,8
≥ 4	0,7

Hinweis:

Es erfolgt eine abgeminderte quadratische Überlagerung zu einem Bezugspunkt (Ursprung des globalen Koordinatensystems) und dann eine lineare Berechnung der Auflagerkräfte (z. B. an den Pratzen). Bei einer quadratischen Überlagerung direkt zu den Auflagerpunkten (z. B. durch ein Statikprogramm) können sich abweichende Ergebnisse ergeben. Die Größe der Abweichung ist abhängig von dem Verhältnis Höhe des Lastangriffes zum Auflagerdurchmesser.

1) Siehe Seite 18.

Anhang 3 zu AD 2000-Merkblatt S 3/0

Charakteristische Werte für die Stabilitätsbetrachtung

Tabelle 1 — Als charakteristische Werte für Stähle mit Erzeugnisdicken $t \leq 40$ mm festgelegte Werte der Streckgrenze $f_{y,k}$

Werkstoff	technische Regeln	Stahlsorte	Werkstoffnummer	Streckgrenze $f_{y,k}$ in MPa ^a bei Temperaturen in °C von											
				20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Austenitische Stähle	DIN EN 10028-7, DIN EN 10088-2, DIN EN 10088-3, DIN EN 10095, DIN EN 10250-4, DIN EN 10296-2, DIN EN 10297-2	X5CrNi18-10	1.4301	195	177	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90
		X6CrNiTi18-10	1.4541	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118
		X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	215	202	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127
		X2CrNiMo18-14-3	1.4435	190	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98
		X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	220	190	175	165	155	145	135	130	125	120	110	105
		X8CrNiTi18-10	1.4878	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118
	SEW 400	X6CrNiMoTi18-13-2	1.4561	190	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98

^a Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 2 — Als charakteristische Werte für den E -Modul (Elastizitätsmodul) festgelegte Werte

Werkstoff	E -Modul in MPa ^a bei Temperaturen von							
	20 °C	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C
Austenitische Stähle ^a	170000	164000	156000	149000	142000	138500	135000	131500

^a Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 1 und 2 sind Auszüge aus der DIN 4133.

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