

AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Oktober 2006

Ausrüstung, Aufstellung und Kennzeichnung von Druckbehältern	Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung – Berstsicherungen –	AD 2000-Merkblatt A 1
---	--	----------------------------------

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 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

- | | |
|--|--|
| 0 Präambel | 6 Werkstoffe |
| 1 Geltungsbereich | 7 Bemessung der Berstsicherungen und Zuleitungen |
| 2 Allgemeines | 8 Prüfungen beim Hersteller |
| 3 Bauarten von Berstelementen und Vakuumstützen | 9 Kennzeichnung |
| 4 Einspannvorrichtungen | 10 Querschnitte und Leitungen |
| 5 Einsatz, Verwendung und Anordnung von Berstsicherungen | 11 Schrifttum |

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

Dieses AD 2000-Merkblatt gilt für Berstsicherungen als Ausrüstungsteil mit Sicherheitsfunktion gegen Drucküberschreitung.

2 Allgemeines

2.1 Berstsicherungen nach diesem AD 2000-Merkblatt müssen ein Überschreiten des maximal zulässigen Druckes um mehr als 10 % selbsttätig verhindern.

Berstsicherungen müssen unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebsweise des Druckraumes, insbesondere von Beschickungsgut, Druck und Temperatur, zuverlässig arbeiten und den im Störfall abzuführenden Massenstrom ableiten können.

Die Zuverlässigkeit im Hinblick auf die richtige Funktionsweise kann durch eine Bauteilprüfung gemäß den „Richtlinien für die Bauteilprüfung von Berstsicherungen“ (siehe Anlage 1 zu diesem AD 2000-Merkblatt¹⁾) für den vorgesehenen Druckbereich festgestellt werden.

2.2 Berstsicherungen bestehen aus einem Berstelement, erforderlichenfalls mit einer Einspannvorrichtung²⁾. Zusatz-

¹⁾ In Vorbereitung

²⁾ Berstsicherungen im Sinne dieses AD 2000-Merkblattes sind nur die vom Hersteller als zusammengehörig vorgesehenen Teile.

Ersatz für Ausgabe Oktober 2004; | = 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 A 1, Ausg. 10.2006

lich können Vakuumstütze, Schneidvorrichtung und Fangvorrichtung Bestandteile einer Berstsicherung sein.

Die Berstelemente werden beim Ansprechen zerstört und geben schlagartig den Entlastungsquerschnitt frei. Im Gegensatz zu Sicherheitsventilen bleiben nach dem Ansprechen der Berstsicherungen die Entlastungsquerschnitte offen.

Berstscheiben können konstruktionsbedingt herausgeblasen oder von der Einspannvorrichtung festgehalten werden.

2.3 Der Einsatz von Berstsicherungen kommt in Betracht, wenn z. B.

- (1) mit einem schnellen Druckanstieg gerechnet werden muss,
- (2) die Betriebsbedingungen zu Ablagerungen und Verklebungen führen können, die die Funktion anderer Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung beeinträchtigen würden,
- (3) erhöhte Anforderungen an die Dichtheit gestellt werden,
- (4) große Entlastungsquerschnitte erforderlich sind.

Physikalische Größen und Formeln

a	zulässiges Druckverhältnis $\frac{p_a - 1}{p_e}$ (dynamische Drücke in bar)	
a_0	Druckverhältnis $\frac{p_{a0} - 1}{p_e}$ (Drücke in bar)	
$A_L = \frac{\pi}{4} D_L^2$	lichte Querschnittsfläche der Rohrleitung	mm ²
A_n	lichte Querschnittsfläche am Ausblaseleitungsende	mm ²
c_p	spezifische Wärme (ggf. Mittelwert)	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
D_L	innerer Durchmesser der Rohrleitung (lichte Weite)	mm
$D_1, D_2 \dots$	verschiedene Durchmesser D_L	mm
D_A	innerer Durchmesser der Ausblaseleitung	mm
d_0	engster Strömungsdurchmesser	mm
F_R	Reaktionskraft an der Ausblaseöffnung	N
f_A, f_n	Flächenverhältnisse von Ausblaseleitung bzw. Ausblaseleitungsende	
h	Exponent, Hochzahl	
k	Isentropenexponent des Mediums im Druckraum	
L	Gesamtrohrleitungslänge (von der Einlauf- bis zur Ausblaseöffnung)	mm
L_A	Länge der Ausblaseleitung	mm
M	Molare Masse	kg/kmol
$M_x = \frac{v}{v_{s0}}$	Machzahl (Quotient aus örtlicher Geschwindigkeit v im Rohr und Schallgeschwindigkeit v_{s0} in einer ab Behälter adiabat beschleunigten, mit v_{s0} schallschnellen Strömung)	
M_a	Machzahl hinter der Berstscheibe	

M_e	Machzahl direkt am Einlauf der Berstscheibe	
M_n	Machzahl am Rohrleitungsende ($M_n \leq 1$)	
p_a	absoluter dynamischer Fremdgedruck hinter der Berstscheibe	bar
p_{a0}	absoluter Fremdgedruck außerhalb L_A ; $p_{a0} \leq p_u$	bar
p_e	Berstüberdruck einer Berstscheibe	bar
$p_h = \rho \cdot H \cdot 10^{-7}$	absoluter hydrostatischer Druck (bedingt durch Differenzhöhe H in mm)	bar
p_k	absoluter kritischer Druck (mit $\psi = \psi_{\max}$)	bar
p_{ns}	absoluter Enddruck in der Ausblaseleitung bei Schallgeschwindigkeit, d. h. $M_n = 1$	bar
p_u	absoluter Umgebungsdruck	bar
p_0	absoluter Druck im abzusichernden System	bar
Δp	Druckdifferenz ($p_0 - p_{a0}$)	bar
q_m	abzuführender Massenstrom	kg/h
T	absolute Temperatur innerhalb des Druckbehälters im Ruhezustand	K
T_{ns}	absolute Temperatur am Leitungsende bei Schallgeschwindigkeit	K
v	Geschwindigkeit	m/s
v_n	Geschwindigkeit am Leitungsende der Ausblaseöffnung	m/s
v_{ns}	Schallgeschwindigkeit am Leitungsende	m/s
Y	normierte Reaktionskraft	
Z	Realgasfaktor des Mediums im Druckraum	
\bar{Z}_A	mittlerer Realgasfaktor des Mediums in der Ausblaseleitung (konservativ: $\bar{Z}_A = 1$)	
\bar{Z}_L	mittlerer Realgasfaktor des Mediums in der Leitung (konservativ: $\bar{Z}_L = 1$)	
Z_n	Realgasfaktor des Mediums am Leitungsende; aus p_n abzuschätzen	
α	Ausflussziffer	
η	Wirkungsgrad der Berstscheibe	
ζ_i	Widerstandsbeiwerte für Leitungs- und Einbauteile (siehe z. B. Tafel 2 im AD 2000-Merkblatt A 2)	
ζ_{BS}	Widerstandsbeiwert der Berstscheibe, bezogen auf A_L	
ζ_L	Gesamtwiderstandsbeiwert der Rohrleitung, adäquat ergänzt mit dem Quotienten der Realgasfaktoren	
ζ_z	zulässiger Widerstandsbeiwert	
λ	Rohrreibungsbeiwert (siehe z. B. Tafel 1 im AD 2000-Merkblatt A 2)	
ρ_n	Dichte des Fluids in der Ausblaseöffnung am Leitungsende	kg/m ³
ψ	Ausflussfunktion	

3 Bauarten von Berstelementen und Vakuumstützen

Bei Berstsicherungen wird der Druckkraft der Querschnitt des Scheibenwerkstoffes entgegengestellt.

3.1 Gewölbte Berstscheiben

3.1.1 Konkavgewölbte Berstscheiben

Konkavgewölbte Berstscheiben sind in Druckrichtung als Segment einer Kugelmembran geformt, welche bei Erreichen des Ansprechdrucks durch das Überschreiten der Bruchspannung [siehe hierzu AD 2000-Merkblatt B 1 Gleichung (3)] birst.

3.1.2 Konvexgewölbte Berstscheiben (Umkehrberstscheiben)

Umkehrberstscheiben haben eine Wölbung entgegen der Druckrichtung; auf der Druckseite des abzusichernden Systems liegt die konvexe Seite. Sie versagen bei Erreichen des Ansprechdrucks infolge Überschreitung der Beulfestigkeit des Kugelsegmentes [siehe hierzu AD 2000-Merkblatt B 3 Gleichung (16)]; hierbei knickt die Wölbung ein und kehrt sich um. Dabei schlägt sie z. B. auf Messerkanten, oder es reißen Vorkerbungen auf, sodass die Scheibe zerstört wird. Das Versagen der Umkehrberstscheiben wird nicht von der Zugfestigkeit, sondern vom Elastizitätsmodul E bestimmt. Da E weniger von Lastwechseln beeinflusst wird, sind Umkehrberstscheiben dauerhaftbar.

3.2 Ebene Berstscheiben

3.2.1 Ebene Berstscheiben aus zähem, verformungsfähigem Werkstoff

Diese im Einbauzustand ebene Scheibenart verformt sich und reißt bei Erreichen des Ansprechdrucks infolge Überschreitens der Zugfestigkeit.

3.2.2 Ebene Berstscheiben aus sprödem, nicht verformungsfähigem Werkstoff

Diese im Einbauzustand ebene Scheibenart zerbricht bei Erreichen des Ansprechdrucks infolge Überschreitens der Biege- und Scherfestigkeit [siehe hierzu AD 2000-Merkblatt B 5 Gleichung (2)].

3.3 Berstscheiben mit Vakuumstütze

Die nach den Abschnitten 3.1 und 3.2 genannten Berstscheiben können auch mit Vakuumstütze ausgerüstet sein. Vakuumstützen, die beim Ansprechen der Berstscheibe nicht zerstört werden, lassen den Druck des abzusichernden Systems durch Öffnungen auf das Berstelement einwirken. Die Ausblaseleistung kann dabei allerdings erheblich gemindert sein. Bleibt beim Ansprechen der Berstsicherung die Vakuumstütze unbeschädigt, kann sie nach Ersatz des zerstörten Berstelementes durch ein Element gleicher Bauart weiterbenutzt werden. Vorab sind jedoch die Unversehrtheit der Stütze und die Formanpassung zwischen Stütze und Berstelement zu prüfen.

Vakuumstützen, die beim Ansprechen der Berstscheibe zerstört werden, geben den Strömungsquerschnitt weitgehend frei.

3.4 Sonstige Berstelemente

Zu den sonstigen Berstelementen zählen z. B. Brechkappen, Reißbolzen, Knickstäbe.

4 Einspannvorrichtungen

Einspannvorrichtungen können den Ansprechdruck des Berstelementes wesentlich beeinflussen. Deshalb sind Berstelemente in vom Hersteller vorgesehene bzw. bei der Bauteilprüfung festgelegte Einspannvorrichtungen einzubauen, um eine sichere Funktion zu gewährleisten. Hierbei ist die Einbaurichtung sorgfältig einzuhalten, denn verkehrt herum eingebaut, bersten konkavgewölbte Berstscheiben bei kleinerem Druck, Umkehrberstscheiben dagegen erst bei wesentlich größerem Druck.

Berstelemente, bei denen ein seitenverkehrter Einbau in die Einspannvorrichtung die bestimmungsgemäße Funktion gefährden kann, müssen durch konstruktive Maßnahmen so gestaltet sein, dass ein seitenverkehrter Einbau in die Einspannvorrichtung nicht möglich ist, z. B. durch unsymmetrische bzw. formschlüssige Gestaltung der Einspannflächen.

5 Einsatz, Verwendung und Anordnung von Berstsicherungen

5.1 Allgemeines

Der Hersteller hat schriftliche Anweisungen für Transport, Lagerung, Einbau und Betrieb mitzuliefern.

5.2 Einsatz

5.2.1 Ansprechdruck und Arbeitsdruck

Der Ansprechdruck liegt in einem Toleranzfeld, dessen maximaler und minimaler Grenzwert vom Hersteller angegeben wird. Der maximale Ansprechdruck ist so zu wählen, dass der maximal zulässige Druck des abzusichernden Druckraumes um nicht mehr als 10 % überschritten wird (vgl. hierzu Abschnitt 7). Im Hinblick auf die Einsatzdauer soll der minimale Ansprechdruck um einen ausreichenden Betrag oberhalb des höchsten betriebsmäßig auftretenden Druckes (maximaler Arbeitsdruck³⁾) des abzusichernden Druckraumes liegen.

5.2.2 Einsatzdauer

Die Einsatzdauer des Berstelementes ist abhängig von der Bauart der Berstsicherung, dem Zeitstandverhalten des Berstelementes und von den Betriebsbedingungen. Wechselnde Belastung, Temperatureinflüsse und Korrosion können zu einer wesentlichen Verkürzung der Einsatzdauer führen. Da die Einsatzdauer nur angenähert vorausbestimmen ist, kann es zweckmäßig sein, die Berstsicherung in angemessenen Zeiträumen zu erneuern.

5.2.3 Temperatureinfluss

Berstelemente weisen eine werkstoffspezifische Abhängigkeit des Ansprechdruckes von der Temperatur auf. Die Auslegung für einen bestimmten Druck muss daher unter Berücksichtigung der Temperatur erfolgen, da durch steigende Temperatur Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul des Werkstoffs herabgesetzt werden. So kann ein kalt bestimmter Berstdruck u. U. mit der Temperatur derart abfallen, dass der Betriebsdruck des abzusichernden Systems erreicht wird. Die Berstelemente dürfen dann entsprechend dem Festigkeitsabfall kalt einen höheren Ansprechdruck haben. Treten mehrere abzusichernde Betriebszustände auf, z. B.

- gleicher Druck bei verschiedenen Temperaturen oder
- unterschiedliche Temperaturen zwischen Berstelementen und abzusicherndem Druckbehälterraum oder

³⁾ Definition siehe DIN 3320

- Einfluss der Umgebungstemperatur, der Raumtemperatur, der witterungsbedingten Temperatur auf die Temperatur des Berstelementes, muss dies berücksichtigt werden.

5.2.4 Schneller Druckanstieg

Bei Einsatz von Berstsicherungen für die Absicherung eines möglicherweise schnellen Druckanstieges sind für die Bemessung der Berstsicherung die wichtigen Einflussgrößen, z. B. der zeitliche Druckanstieg und der abzuführende Massenstrom, – erforderlichenfalls durch entsprechende Messungen an Versuchsbehältern – zu ermitteln. Liegen hierüber keine gesicherten Angaben vor und sind keine anderen Maßnahmen möglich, ist eine angemessene Vergrößerung des Querschnittes vorzunehmen.

Anordnung, Ansprechverhalten, geometrische Abmessungen und Wahl des maximalen Ansprechdruckes haben Einfluss auf die Druckentlastung. Eine Aufteilung des erforderlichen Entlastungsquerschnittes auf mehrere Berstsicherungen ist möglich. Es ist anzustreben, dass die Berstelemente von einer auftretenden Druckwelle senkrecht beaufschlagt werden.

5.2.5 Beanspruchung durch Gegendruck oder Vakuum

Kann eine Berstsicherung auch durch Gegendruck oder Vakuum beansprucht werden, muss die Berstsicherung für diese Beanspruchung ausgelegt oder eine Bauart mit Vakuumstütze verwendet werden. Die Kanten der Öffnungen in der Vakuumstütze müssen derart bearbeitet sein, dass Beschädigungen und damit vorzeitiges Ansprechen der Berstscheibe ausgeschlossen sind. Eine Verminderung des freien Strömungsquerschnittes durch den verbleibenden Teil der Vakuumstütze nach dem Bersten ist bei der Bestimmung des erforderlichen Querschnittes zu berücksichtigen.

5.3 Anordnung von Berstsicherungen

5.3.1 Durch die bei der Zerstörung von Berstelementen ggf. entstehenden Bruchstücke darf keine Gefährdung auftreten. Austretende Medien müssen gefahrlos abgeleitet werden.

5.3.2 Berstelemente sollen leicht auswechselbar sein. Sie müssen gegen Beschädigung und sonstige Beeinflussung von außen (z. B. durch Ablagerungen, Niederschläge) geschützt sein.

5.4 Kombinationen von Sicherheitsventilen und Berstsicherungen

Kombinationen von Sicherheitsventilen und Berstsicherungen finden Anwendung zum Schutz des Sicherheitsventils vor negativen Einflüssen, z. B.

- bei Medien, die zum Verkleben, Verkrusten oder Verschmutzen neigen,
- bei Medien mit Feststoffanteilen,
- bei korrosiven Medien,
- wenn bei einem Medium besondere Dichtheit gefordert ist und/oder eine Entleerung des Systems verhindert werden soll.

5.4.1 Anwendungsbeispiele der Kombination

5.4.1.1 Berstsicherungen können vor oder hinter dem Sicherheitsventil angeordnet werden. Die Anordnung Berstsicherung – Sicherheitsventil – Berstsicherung ist ebenfalls möglich.

5.4.1.2 Parallelschaltung Sicherheitsventil – Berstsicherung

Die Wahl dieser Anordnung erfolgt z. B., wenn auch die Möglichkeit eines schnellen Druckanstieges nach Abschnitt 5.2.4 berücksichtigt werden muss. Das Sicherheitsventil dient als primär ansprechende Sicherheitseinrichtung. Der nominelle Ansprechdruck des Berstelementes liegt üblicherweise über dem des Sicherheitsventils.

5.4.2 Anforderungen an die Kombinationen

5.4.2.1 Für Berstsicherungen vor Sicherheitsventilen sind nach Möglichkeit nicht fragmentierende Berstelemente einzusetzen.

Bei fragmentierenden Berstelementen ist durch geeignete Maßnahmen (z. B. Fangeinrichtungen) sicherzustellen, dass Bruchstücke des Berstelementes das Sicherheitsventil nicht unwirksam machen können.

Der Abstand bzw. das Volumen zwischen Berstsicherung und Sicherheitsventil muss so gewählt werden, dass ein korrektes Öffnen des Berstelementes gewährleistet wird. Darüber hinaus sind die Empfehlungen des Herstellers zu beachten.

Zwischen Berstscheibe und Sicherheitsventil anfallendes Kondensat muss abgeleitet werden können.

5.4.2.2 Zuführungsleitungen und Berstsicherungen vor Sicherheitsventilen sind nach AD 2000-Merkblatt A 2 so zu gestalten, dass der Druckverlust in der Zuleitung bei größtem abgeführtem Massenstrom 3 % der Druckdifferenz zwischen dem maximal zulässigen Druck und dem Fremdgegendruck nicht überschreitet.

Der Einfluss auf den Druckverlust durch Teile des Berstelementes, die nach dem Ansprechen in der Einspannvorrichtung verbleiben, ist berücksichtigt, wenn der Querschnitt der Einspannvorrichtung der nachfolgenden Bedingung entspricht und das Berstelement direkt vor dem Sicherheitsventil montiert ist.

$A_{\text{geom}} \cdot \alpha$	$1,5 \cdot A_0 \cdot \alpha_w$
Berstscheibe	Sicherheitsventil
A_{geom}	geometrischer Querschnitt des Berstelementes (Querschnittsverengungen z. B. durch Schneidvorrichtungen oder nicht zerstörbare Vakuumstützen sind berücksichtigt; Verengungen z. B. durch Teile des Berstelementes, die nach dem Ansprechen in der Berstsicherung verbleiben, sind nicht berücksichtigt)
α	Ausflussziffer nach Bild 2
A_0	engster Strömungsquerschnitt des Sicherheitsventils
α_w	Ausflussziffer des Sicherheitsventils

5.4.2.3 Auf Wunsch eines Antragstellers kann für eine bestimmte Kombination aus Berstsicherung und Sicherheitsventil eine Ausflussziffer durch Versuche bestimmt werden.

5.4.2.4 Ist einem Sicherheitsventil eine Berstsicherung vor- oder nachgeschaltet, ist eine besondere Einrichtung vorzusehen (z. B. freier Abzug, Alarmanometer), die eine Undichtheit der Sicherheitseinrichtungen sowie ein Ansprechen des Berstelementes erkennen lässt, da ein eventuell entstehender Gegendruck im Zwischenraum der beiden Sicherheitseinrichtungen den Ansprechdruck der Berstsicherung bzw. des Sicherheitsventils verändern würde.

Der Berstdruck der Berstsicherung auf der Austrittsseite eines Sicherheitsventils muss wesentlich kleiner sein als der Ansprechdruck des Sicherheitsventils und muss so ge-

wählt werden, dass das Ansprechverhalten des Sicherheitsventils nicht durch Gegendruckaufbau zwischen Sicherheitsventil und Berstsicherung (durch Leckage oder mit Beginn des Abblasens) gestört wird. Hierbei darf der Strömungsverlust in der Ausblaseleitung den vom Hersteller angegebenen zulässigen Gegendruck des Sicherheitsventils nicht überschreiten.

5.4.3 Kombinationen von Sicherheitsventilen mit sonstigen Berstelementen nach Abschnitt 3.4 sind sinngemäß zu behandeln.

6 Werkstoffe

6.1 Für die Berstsicherung sind nur Werkstoffe zu verwenden, die für die Betriebsbedingungen an der Einbaustelle geeignet sind.

6.2 Die Festigkeitseigenschaften der für die Berstelemente verwendeten Werkstoffe sollen möglichst geringe Abhängigkeit von der Art der Beanspruchung (statisch, wechselnd), der Temperatur und der Dauer der Beanspruchung (Zeitstandverhalten) aufweisen.

6.3 Die für die Herstellung der Berstelemente verwendeten Ausgangswerkstoffe (Folie, Block) sollen homogene mechanische und technologische Eigenschaften, z. B. durch Wärmebehandlung, haben.

6.4 Der Gefahr einer Korrosion der Berstelemente durch den Einfluss des Behälterinhaltes oder der Atmosphäre ist durch korrosionsbeständige Werkstoffe, Beschichtungen oder Schutzfolien zu begegnen.

7 Bemessung der Berstsicherungen und Zuleitungen

7.1 Berstsicherungen müssen beim Ansprechen mindestens den erforderlichen engsten Querschnitt schlagartig freigeben. Sie müssen bei Berücksichtigung von Druckverlusten in den Zu- und Abblaseleitungen und einem möglichen Gegendruck so bemessen sein, dass ein Überschreiten des maximal zulässigen Druckes des abzusichernden Druckraumes um mehr als 10 % verhindert wird. Bei der Bemessung ist zu berücksichtigen, dass die Gestaltung der Zuleitung zur Berstsicherung und die sich daraus ergebende Strahleinschnürung einen wesentlichen Einfluss auf die Abblaseleistung hat.

7.2 Gase und Dämpfe

7.2.1 Die allgemeine Beziehung für die Bemessung des engsten Strömungsquerschnittes lautet:

$$A_0 = \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha \cdot \sqrt{2 \frac{p_0}{v}}} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

A_0	engster Strömungsquerschnitt	m ²
q_m	abzuführender Massenstrom	kg/s
p_0	absoluter Druck im Druckraum	Pa
v	spezifisches Volumen des Mediums im Druckraum	m ³ /kg
α	Ausflussziffer	
ψ	Ausflussfunktion	

Für unterkritische Druckverhältnisse

$$\frac{p_a}{p_0} > \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = \frac{p_k}{p_0}$$

ist

$$\psi = \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (2)$$

In der Ableitung für ψ wird verwendet:

$$k = \frac{c_p}{c_p - \frac{R \cdot Z}{1000M}} \quad (2.1)$$

Für überkritische Druckverhältnisse ist

$$\psi_{\max} = \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \approx 0,431 \cdot k^{0,346} \quad (3)$$

mit

p_0	absoluter Druck im Druckraum	bar
p_a	absoluter Gegendruck (hinter dem engsten Strömungsquerschnitt)	bar
k	Isentropenexponent des Mediums im Druckraum	-

7.2.2 Bei technischen Gasen und Dämpfen errechnet sich das spezifische Volumen aus der allgemeinen Beziehung

$$v = \frac{R_1 \cdot T \cdot Z}{p_0 \cdot 10^5} \quad (4)$$

Setzt man diesen Ausdruck in Gleichung (1) ein, so ergibt sich folgende Zahlenwertgleichung

$$A_0 = 0,001964 \cdot \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha \cdot p_0} \sqrt{R_1 \cdot T \cdot Z} \quad (5)$$

Mit $R_1 = \frac{R_0}{M}$ ergibt sich daraus

$$A_0 = 0,1791 \cdot \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha \cdot p_0} \sqrt{\frac{T \cdot Z}{M}} \quad (6)$$

oder

$$A_0 = 0,6211 \cdot \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{p_0}{v}}} \quad (6a)$$

Hierin bedeuten:

A_0	erforderlicher engster Strömungsquerschnitt der Berstsicherung	mm ²
q_m	abzuführender Massenstrom	kg/h
R_1	Gaskonstante	$\frac{J}{kg \cdot K}$
R_0	universelle Gaskonstante	$8314,3 \frac{J}{kmol \cdot K}$
M	molare Masse	$\frac{kg}{kmol}$
T	absolute Temperatur des Mediums im Druckraum	K
Z	Realgasfaktor des Mediums im Druckraum	-
p_0	absoluter Druck im Druckraum	bar

AD 2000-Merkblatt

Seite 6 AD 2000-Merkblatt A 1, Ausg. 10.2006

v	spezifisches Volumen des Mediums im Druckraum	m^3/kg
ψ	Ausflussfunktion	-
α	kombinierte Ausflussziffer von Stutzen und Berstsicherung nach den Abschnitten 7.2.4 oder 7.2.5	-

Die Ausflussfunktion ψ kann nach Abschnitt 7.2.1 errechnet oder in Abhängigkeit vom Druckverhältnis und vom Isentropenexponenten dem Bild 1 entnommen werden. Die Stoffwerte für einige wichtige Gase und Dämpfe im Normzustand sind in Tafel 1 aufgeführt. Sie können auch für vom Normzustand abweichende Zustände im Allgemeinen verwendet werden.

Die Isentropenexponenten k können jedoch bei höheren Drücken und bei von 273 K abweichenden Temperaturen von den in Tafel 1 angegebenen Werten abweichen. So hat k z. B. für Luft bei 100 bar und 293 K den Wert 1,60, so dass sich ψ_{\max} von 0,484 auf 0,507 ändert.

Bei den in Tafel 1 genannten Gasen unterscheidet sich der Wert Z für den Realgasfaktor im Normzustand nur wenig von 1,0. Bei Abweichung vom Normzustand können sich die Werte von 1,0 unterscheiden (z. B. für Ethylen bei 30 bar und 20 °C ist $Z = 0,8$).

Tafel 1. Gaskonstante, molare Masse, Isentropenexponent

	Gas- konstante R_1 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Isentropen- exponent k für den Norm- zustand ¹⁾ ($p_0 = 1,013 \text{ bar}$, $T = 273 \text{ K}$)	Molare Masse M $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$
Acetylen	318,82	1,23	26,040
Ammoniak	488,15	1,31	17,031
Argon	208,15	1,65	39,940
Ethylen	296,36	1,25	28,050
Chlor	117,24	1,34	70,910
Helium	2076,96	1,63	4,003
Kohlen- dioxid	188,91	1,30	44,010
Luft	287,09	1,40	28,964
Methan	518,24	1,31	16,031
Sauerstoff	259,82	1,40	32,000
Schwefel- dioxid	129,77	1,28	64,063
Stickstoff	296,76	1,40	28,016
Wasserstoff	4124,11	1,41	2,016

¹⁾ Weitere Stoffwerte sowie Stoffwerte für vom Normzustand abweichende Zustände siehe VDI-Wärmeatlas und Fußnoten 3 und 4

Für die Berechnung können die Werte für den Isentropenexponenten und den Realgasfaktor z. B. VDI 2040 Blatt 4⁴⁾, z. Z. Entwurf Januar 1990, und Data Book on Hydrocarbons entnommen werden.

Die Bemessung für Wasserdampf kann auch nach DIN 3320 Teil 1 Abschnitt 3 erfolgen.

7.2.3 Der freie Strömungsquerschnitt muss $\geq A_0$ sein. Eventuelle Querschnittsverminderungen, z. B. durch Vakuumstützen, Fangvorrichtungen oder durch Teile, die nach dem Ansprechen in der Berstsicherung verbleiben, sind zu berücksichtigen.

7.2.4 Für die Berechnung des erforderlichen engsten Strömungsquerschnittes bei überkritischen Druckverhältnissen ist für Berstsicherungen, deren freier Strömungsquerschnitt größer als 0,5 x Querschnitt der Zuleitung A_L ist, die durch die Strahleinschnürung bedingte Ausflussziffer gemäß Bild 2, Spalte 2 einzusetzen. Falls der freie Strömungsquerschnitt der Berstsicherung größer ist als der Querschnitt der Leitung, ist letzterer als Strömungsquerschnitt maßgebend.

Messungen der Ausflussziffer α von Berstscheiben können große Unterschiede zu den Werten in Bild 2 aufweisen. Ausgehend von den strömungstechnischen Grundlagen (siehe [1]–[3]) gewinnt man für die

$$\text{Ausflussziffer} \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,752 \cdot \zeta^{0,876}}}$$

$$\text{mit} \quad \zeta \hat{=} \zeta_L \left(\frac{A_0}{A_L} \right)^2 = \zeta_L \left(\frac{d_0}{d_L} \right)^4 \leq 30$$

(Hinsichtlich des Widerstandsbeiwertes ζ_L siehe Gleichung (8). Kontrolle mit Bild 3 bei $M_n = 1$; $\alpha \triangleq \eta$.)

Im Hinblick auf ihre Funktionssicherheit sind Berstscheiben im Allgemeinen unempfindlich bezüglich der Druckverluste der peripheren Rohrleitungen. Von Bedeutung ist die drastische Abminderung der Ausflussleistung infolge des Druckverlustes in der Leitung und entsprechend der Ausflussfunktion $\psi < \psi_{\max}$ bei häufigem, durch die Ausblaseleitung bewirktem Gegendruck $p_a > p_k$.

Auf adäquate Halterung zur Aufnahme möglicher Reaktionskräfte ist zu achten.

7.2.5 Sofern für eine bestimmte Gestaltung oder Ausführung einer Zuleitung mit Berstsicherung eine Ausflussziffer α experimentell ermittelt wurde, ist der um 10 % verminderte Wert in die Rechnung einzusetzen.

7.3 Flüssigkeiten

7.3.1 Für nicht siedende Flüssigkeiten (Flüssigkeiten, die beim Einströmen in die Abblaseleitung keine Phasenumwandlung erfahren) gilt

$$A_0 = 0,6211 \cdot \frac{q_m}{\alpha \cdot \sqrt{\Delta p \cdot \rho}} \quad (7)$$

Hierin bedeuten:

A_0	erforderlicher engster Strömungsquerschnitt der Berstsicherung	mm^2
q_m	abzuführender Massenstrom	kg/h
ρ	Dichte	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Δp	$p_0 - p_a$ Druckdifferenz	bar
α	Ausflussziffer nach Bild 2, Spalte 3	-

⁴⁾ VDI 2040 Blatt 4, Entwurf Januar 1990: Berechnungsgrundlagen für die Durchflussmessung mit Drosselgeräten, Stoffwerte

7.3.2 Der freie Strömungsquerschnitt muss $\geq A_0$ sein. Eventuelle Querschnittsverminderungen, z. B. durch Vakuumstützen, Fangvorrichtungen oder durch Teile, die nach dem Ansprechen in der Berstsicherung verbleiben, sind zu berücksichtigen.

7.4 Siedende Flüssigkeiten

Für siedende Flüssigkeiten und sonstige Flüssigkeiten, die bei der Entspannung auf den Gegendruck Gas freisetzen, liegen zur Zeit allgemein anerkannte Bemessungsregeln⁵⁾ nicht vor.

8 Prüfungen beim Hersteller

8.1 Bei Berstsicherungen als Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion für Druckbehälter erfolgt die Prüfung durch die zuständige unabhängige Stelle.

8.2 Die Prüfung der Berstelemente erfolgt nach Fertigungslos. Sie umfasst die Kontrolle der Abmessung, die Feststellung der tatsächlichen Ansprechdrücke an ausgewählten Berstelementen durch Berstversuche in der zugehörigen Einspannvorrichtung und die Prüfung, ob die so ermittelten Ansprechdrücke in dem vom Hersteller angegebenen Toleranzbereich liegen. Richtwerte über die Anzahl der je Fertigungslos aus demselben Halbzeug durchzuführenden Berstversuche sind aus Tafel 2 zu entnehmen.

Erbringt der Hersteller über einen längeren Zeitraum den Nachweis, dass bei Berstelementen gleicher Bauart die von ihm angegebenen Toleranzen des Berstdruckes stets eingehalten werden, darf die Anzahl der nach Tafel 2 genannten Richtwerte der Berstprüfungen entsprechend Tafel 3 reduziert werden. Dabei ist auf ganze Prüfungszahlen abzurunden.

Tafel 2. Richtwerte für die Anzahl der Berstversuche

Anzahl der Berstelemente einer Herstellungsserie ¹⁾	Anzahl der Berstprüfungen
bis 8	2
9 bis 15	3
16 bis 30	4
31 bis 100	6
101 bis 250	8
251 bis 1000	10

¹⁾ Herstellungsserie beinhaltet nicht die Anzahl der Prüflinge

Tafel 3. Richtwerte für die Reduzierung des Prüfumfangs

Klasse	Herstellstückzahl gleicher Bauart	Reduzierung der Prüfungen nach Tafel 2 auf
1	50 bis 249	75 %
2	250 bis 999	50 %
3	1000 bis 4999	30 %
4	5000 bis 9999	20 %
5	über 10000	10 %

8.3 Die Prüfung der Berstelemente ist mit einem neutralen und geeigneten Prüfmedium durchzuführen. Das Drucksystem muss insbesondere bei Umkehrberstscheiben eine ausreichend große Kapazität haben.

8.4 Ist das Berstelement betriebsbedingt ausschließlich für höhere oder tiefere Temperaturen als Raumtemperatur vorgesehen, sind die Prüfungen bei dieser Temperatur durchzuführen. Es sind jedoch auch Prüfungen bei Raumtemperatur ausreichend, wenn die Berstdrücke in dem betreffenden Temperaturbereich gleich bleiben oder die Abweichungen bekannt und nachgewiesen sind. Betriebsaufzeichnungen des Herstellers können als Nachweis herangezogen werden.

8.5 Über die durchgeführten Prüfungen ist eine Bescheinigung unter Angabe der Prüftemperaturen, der ermittelten Ansprechdrücke, der nach Abschnitt 9 notwendigen Kennzeichnung und der bei der Prüfung verwendeten Einspannvorrichtung (z. B. Typenkennzeichen, DIN-Bezeichnung der verwendeten Flansche) auszustellen.

9 Kennzeichnung

9.1 Jedes Berstelement ist mit folgenden Kennzeichen dauerhaft und gut lesbar zu versehen:

- Hersteller,
- Typenkennzeichen,
- Nummer der Herstellungsserie,
- Freier Strömungsquerschnitt,
- Werkstoff-Nr. oder -bezeichnung,
- Maximaler Ansprechdruck bei Raumtemperatur und ggf. bei Betriebstemperatur,
- Minimaler Ansprechdruck bei Raumtemperatur und ggf. bei Betriebstemperatur,
- Zugehörige Einspannvorrichtung, z. B. Typenkennzeichen, DIN-Nr.,
- Abblaseseite.

Falls die räumliche Größe des Berstelementes nicht ausreicht, um die gesamte verlangte Kennzeichnung aufzubringen, muss eine geeignete, vollständig gekennzeichnete Verpackung verwendet werden, die bis zur Montage versiegelt bleibt und bis zur Abnahmeprüfung bzw. zum Verbrauch (Ausbau) des letzten Berstelementes aufzubewahren ist.

Bei Berstelementen ohne besondere Einspannvorrichtung muss die Kennzeichnung der richtigen Durchflussrichtung auch im eingebauten Zustand von außen erkennbar sein.

9.2 Bauteilgeprüfte Berstsicherungen müssen mit der CE-Kennzeichnung und mit dem Bauteilkennzeichen versehen sein.

9.3 Jede Einspannvorrichtung ist mit folgenden Kennzeichen zu versehen:

- Herstellerzeichen,
- Typenkennzeichen,
- Nenndruck,
- Nennweite,
- Werkstoff-Nr. oder -bezeichnung.

9.4 An Einspannvorrichtungen von Berstsicherungen muss die bestimmungsgemäße Durchflussrichtung im eingebauten Zustand jederzeit erkennbar sein, z. B. dauerhaft angebrachter Pfeil in der Durchflussrichtung. Bei Berstelementen, die entsprechend ihrer Konstruktion keine speziellen Einspannvorrichtungen benötigen, z. B. bei einteiligen Graphit-Berstelementen für unmittelbaren Einbau zwischen Rohrleitungsflanschen, ist die bestimmungsgemäße Durchflussrichtung auf dem Einspannbund des Berstelementes anzugeben.

⁵⁾ Als Erkenntnisquelle kann VdTÜV-Merkblatt Sicherheitsventil 100/2 „Bemessungsvorschlag für Sicherheitsventile für Gas im flüssigen Zustand“, Ausgabe Januar 1973, herangezogen werden.

10 Querschnitte und Leitungen

10.1 Berstsicherungen dürfen durch Absperrungen nicht unwirksam gemacht werden können. Der Einbau von Wechselarmaturen oder Verblockungseinrichtungen ist zulässig, wenn sichergestellt ist, dass zu jeder Zeit, auch beim Umschalten, der erforderliche Abblasequerschnitt freigegeben ist und wenn die Wechselarmatur die sichere Funktion der Berstsicherung nicht beeinflusst.

10.2 Berstsicherungen sind möglichst nahe an dem abzusichernden System anzuordnen. Zum gefahrlosen Ableiten des Beschickungsgutes sind in der Regel Leitungen erforderlich. Alle Leitungen müssen für die auftretenden Drücke und Temperaturen geeignet und so bemessen und gestaltet sein, dass die erforderliche Abblasemenge abgeführt werden kann sowie eine ungestörte Funktion der Berstsicherung gewährleistet ist.

10.2.1 Hierzu muss die Leistungsminderung durch die Rohrleitung, die üblicherweise in derselben Nennweite wie die Berstscheibe ausgeführt wird, berücksichtigt werden. Rechnet man nach Gleichung (5), muss der zulässige Gesamtwiderstandsbeiwert ζ_Z der Ausblaseleitung bestimmt werden, welcher über das Gegendruckverhältnis $\frac{p_a}{p_0}$ die Ausflussfunktion ψ oft weit unter ψ_{\max} absinken lässt. Mit den für die Absicherungsaufgabe notwendigen Werten für ψ und dem dazugehörigen $\frac{p_a}{p_0}$ berechnet man ζ_Z nach den Gleichungen (4) bis (6.4) im AD 2000-Merkblatt A 2; wenn die kleinstzulässige Ausflussfunktion ψ zur Bewältigung der Absicherungsaufgabe bekannt ist, kann die genaue Berechnung mit den Gleichungen (4.1) bis (6.4), eine gute Abschätzung mit den Gleichungen (4) bis (4.2) erfolgen. Für $p_a \geq p_k$ und $\psi = \psi_{\max}$ siehe Bild 4.

Grundlage einer alternativen Berechnungsmethode sind die Gleichungen (10) bis (13) bzw. das auf diesen Gleichungen beruhende Bild 3.

Mit den genannten Gleichungen wird der Wirkungsgrad η eines Systems aus Berstscheibe und Leitungen bestimmt, welcher die überkritische Ausflussfunktion ψ_{\max} bei Schallgeschwindigkeit im engsten Strömungsquerschnitt A_0 zur unterkritischen Ausflussfunktion $\psi = \psi_{\max} \cdot \eta$ abmindert. In den Berechnungsgleichungen (1), (5), (6), (6a) müssen bei unvermeidbarem Verrohrungseinfluss das Produkt $\alpha \cdot \psi$ durch $\psi_{\max} \cdot \eta$ sowie die Fläche A_0 durch die lichte Fläche A_L der Rohrleitung ersetzt werden.

Die durch die Berstscheibe hervorgerufene Strömungshemmung wird dann nicht mehr durch eine Ausflussziffer α berücksichtigt, sondern dadurch, dass zum Gesamtwiderstandsbeiwert ζ_L der Rohrleitungen

$$\zeta_L = \left[\lambda \cdot \frac{L}{D_L} + \sum \zeta_i + \zeta_{BS} \right] \cdot \frac{\bar{Z}_L}{Z} \quad (8)$$

(siehe AD 2000-Merkblatt A 2 Tafeln 1 und 2) der Widerstandsbeiwert ζ_{BS} der Berstscheibe hinzuzufügen ist. Dieser ist auf die Fläche A_L bezogen. Für seinen Wert ist bis auf weiteres Firmenangaben zu vertrauen.

10.2.2 Bei Erweiterung der Verrohrung wird der Anteil der größeren Nennweite (D_2) am Gesamtwiderstandsbeiwert ζ_L mit dem Faktor $\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4$ gewichtet und als Abschätzung zur sicheren Seite in Gleichung (9) der kleineren Nennweite (D_1) hinzugefügt. Der Einfluss der großen Nennweite (D_2) ist meist gering.

$$\zeta_L = \left[\lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} + \sum \zeta_i + \zeta_{BS} + \left(\lambda_2 \cdot \frac{L_2}{D_2} + \sum \zeta_i \right) \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right] \cdot \frac{\bar{Z}_L}{Z} \quad (9)$$

Gelegentlich herrscht am Ende eines engeren Ausblaseleitungsabschnittes Schallgeschwindigkeit, wodurch nachfolgende größere Nennweiten keinen Einfluss mehr auf den Wirkungsgrad η haben. Dieses Phänomen, möglicher Druckrückgewinn durch Erweiterungen, die Machzahlabhängigkeit von ζ_{BS} und andere Feinheiten der Strömungsmechanik, wie leicht veränderliche Rohrreibungszahl λ oder unterschiedlicher Realgasfaktor Z u.a.m., können von strömungsmechanischen Fachstellen bei der Berechnung berücksichtigt werden; η wird dadurch jedoch meist nur unbedeutend erhöht.

Als Berechnungsgleichungen gelten:

$$\zeta_L \leq \frac{k+1}{2k} \left(\frac{1}{M_e^2} - \frac{1}{M_n^2} - 2 \ln \frac{M_n}{M_e} \right) \quad (10)^6$$

$$\frac{p_{a0}}{p_0} = \frac{M_e}{M_n} \cdot \frac{1 - \frac{k-1}{k+1} M_n^2}{\left(1 - \frac{k-1}{k+1} M_e^2 \right)^h} \quad (11)^7$$

mit

$$h = 1 - \frac{k}{k-1} = -\frac{1}{k-1} \quad (11.1)^8$$

$$\eta = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{-1}{k-1}} \cdot M_e \left(1 - \frac{k-1}{k+1} M_e^2 \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (12)$$

$$\lim_{M_e \rightarrow 1} \eta = 1 \quad (12.1)$$

Anmerkung: Wenn $M_n = 1$, erfolgt die Iteration von η mit Hilfe der Gleichungen (10) und (12). Ist $M_n < 1$, werden die Gleichungen (10), (11) und (12) benutzt. Um gute Konvergenz zu erzielen, empfiehlt sich die Auflösung der Gleichungen (10) und (11) nach den mit einem Pfeil (\rightarrow) gekennzeichneten Machzahlen M_e bzw. M_n .

Damit gelten dann als Bestimmungsgleichung für die lichte Querschnittsfläche der Rohrleitung A_L

$$A_L = \frac{0,1791 \cdot q_m}{\psi_{\max} \eta p_0} \sqrt{\frac{T \cdot Z}{M}} \quad (13)$$

und für den Enddruck p_n

$$p_n = p_{ns} = \frac{2p_0}{\sqrt{k(k+1)}} \psi_{\max} \eta \sqrt{\frac{Z_n}{Z}} \geq p_{a0} \quad (14)$$

10.2.3 Es wird empfohlen, den Widerstandsbeiwert ζ_{BS} sowie das Produkt aus dem engsten Strömungsquerschnitt A_0 und der Ausflussziffer α der Berstscheibe durch qualifizierte Messungen entsprechend den Richtlinien für die Baumusterprüfung von Berstsicherungen nach VdTÜV-Merkblatt Berstsicherungen 100 zu bestimmen. Hierzu können firmeneigene Prüfstände genutzt werden. Für vom Sachkundigen betreute Druckbehälter kann die Bestimmung der Kennwerte der dort eingesetzten Berstscheibe z. B. durch einen Sachkundigen der Herstellerfirma erfolgen. Die Baumusterprüfung muss auch die Eignung der Berstsicherung für den Einsatz in Kombination mit einem Sicherheitsventil beinhalten.

Der im Zuge dieser Messungen mindestens dreimal pro Berstscheibentyp und Nennweite bestimmte größte Bei-

⁶⁾ Nach [1] Gleichung (5.43).

⁷⁾ Nach [1] Gleichung (5.46).

⁸⁾ Nach [1] Gleichung (5.19).

wert ζ_{BS} muss um 20 % erhöht in die oben aufgeführten Berechnungen eingehen. Außerdem muss der Widerstandsbeiwert ζ_{BS} für eine adäquate Bestimmung des Gesamtwiderstandsbeiwertes ζ_Z vor einem Sicherheitsventil bekannt sein; die Parameter für ein zuverlässiges Funktionieren können dann aus Bild 2a im AD 2000-Merkblatt A 2 abgelesen werden. Beim Einsatz einer Berstsicherung vor einem Sicherheitsventil und bei Einbau der Berstsicherung nahe am Ventil ist es möglich, dass ζ_{BS} nicht voll wirksam wird, also die Strömungsstörung durch die Berstscheibe teilweise oder ganz in der Ausflussziffer α des Sicherheitsventils enthalten ist. Des Weiteren muss der Widerstandsbeiwert ζ_{BS} für die Gegendruckberechnung bei Installation einer Berstsicherung hinter einem Sicherheitsventil zu dessen Schutz gegen Verunreinigung von der Ausblaseleitung her bekannt sein.

10.2.4 Bei entsprechendem Druck p_0 im Druckbehälter kann der größtmögliche Massenstrom q_m mit den Ausflussziffern nach Bild 2 und der Ausflussfunktion ψ_{\max} ohne Abminderung durch η nur dann genutzt werden, wenn, wie bei Sicherheitsventilen üblich, für die Abführungsleitung der Querschnitt A_L deutlich größer als der engste Strömungsquerschnitt A_0 ist, also zum Beispiel hinter der Berstsicherung auf eine größere Nennweite übergegangen wird (siehe auch Kapitel 7.2.4). Die zulässige Rohrleitungslänge L bei überkritischem Druckverhältnis, das heißt Schallgeschwindigkeit in A_0 , kann Bild 4 entnommen oder mit den Gleichungen aus Abschnitt 6.3.1 im AD 2000-Merkblatt A 2 berechnet werden.

10.2.5 Für Flüssigkeiten gilt:

$$A_L = 0,6211 \cdot q_m \cdot \sqrt{\frac{\zeta_L}{\Delta p \cdot \rho}} \quad (15)$$

10.2.6 Reaktionskräfte werden entsprechend den Festlegungen im AD 2000-Merkblatt A 2 Abschnitt 6.3.3 berechnet.

10.3 Die Leitungen sowie die Berstsicherungen müssen unter Berücksichtigung der örtlichen Betriebsverhältnisse so befestigt sein, dass die möglichen statischen und dynamischen Beanspruchungen (Reaktionskräfte) sicher aufgenommen werden können.

10.4 Ansammlungen von Flüssigkeiten, Feststoffabscheidungen in der Zu- und Abblaseleitung der Berstsicherung sind, soweit sie die sichere Funktion der Berstsicherung beeinträchtigen können, zu vermeiden.

11 Schrifttum:

- [1] Naue G, Liepe F, Mascheck H.-J, Reher E.-O, Schenk R.: Technische Strömungsmechanik I. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (Reihe Verfahrenstechnik), Leipzig; 4. Auflage (1988).
- [2] Perry's Chemical Engineers' Handbook. Mc Graw Hill Verlag; 6. Auflage (1984); Seiten 5-25 bis 5-32, Flow in Pipes and Channels.
- [3] Levenspiel M.: Design Chart for Adiabatic Flow of Gases, useful for finding the discharge rate in a given piping system. J. American Institute for Chemical Engineering. (1977); 23: 402 ff.
- [4] Buck H.: Neue Versuchsergebnisse als Grundlage zur Bemessung von Berstsicherungen und Zuleitungen. Techn. Überwach. 25 1984; Nr. 10., VDI-Verlag Düsseldorf.
- [5] Rogge M.: Auslegung von Berstscheiben in Kombination mit Sicherheitsventilen. In: Thier B. (1996). Sicherheit in der Rohrleitungstechnik. Vulkan-Verlag Essen.
- [6] Weyl R.: Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung – AD-Merkblätter A1 und A2, Druckverlustbeziehungen. Techn. Überwach. 47 2006; Nr. 5, 6, 7, VDI-Verlag Düsseldorf.

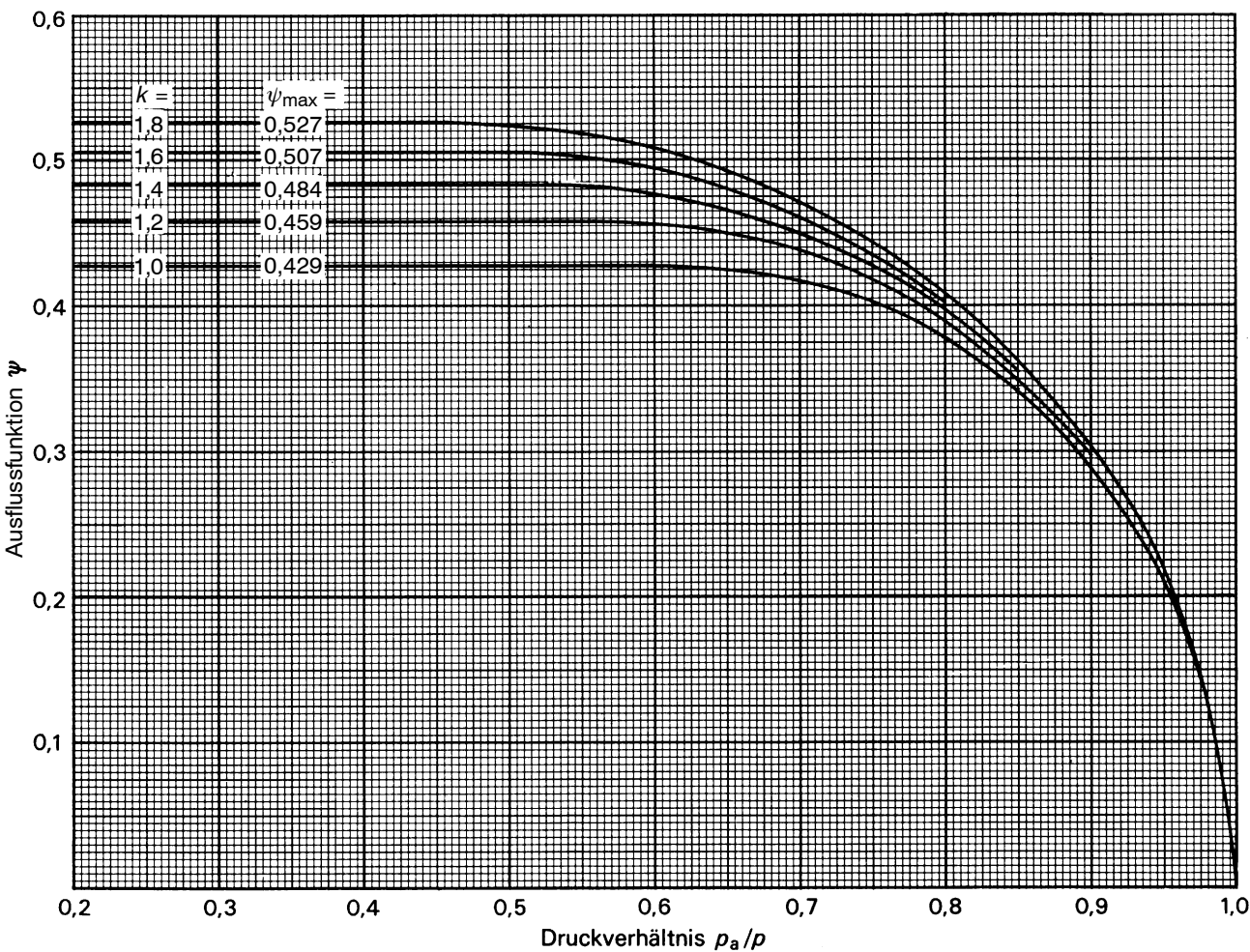


Bild 1. Ausflussfunktion

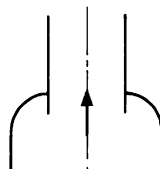
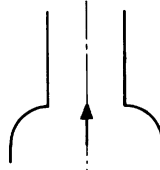
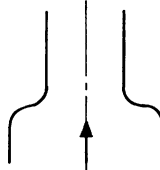
Nr.	Stutzenform		1	2	3
				Ausflussziffer α	
				bei Dämpfen und Gasen	bei Flüssigkeiten
1		durchgesteckt		0,68	0,5
2		stumpf aufgesetztes oder bündig eingesetztes Rohr sowie Blockflansch ohne strömungsgünstige Gestaltung		0,73	0,62
3		Blockflansch mit strömungsgünstiger Gestaltung, z. B. mit abgerundeten oder abgeschrägten Einlaufkanten sowie bei einem ausgehalsten Stutzen		0,80	0,80

Bild 2. Ausflussziffer α für Dämpfe, Gase und Flüssigkeiten (Siehe [4]. – Dieser Aufsatz ist Hintergrund der α -Methode.)

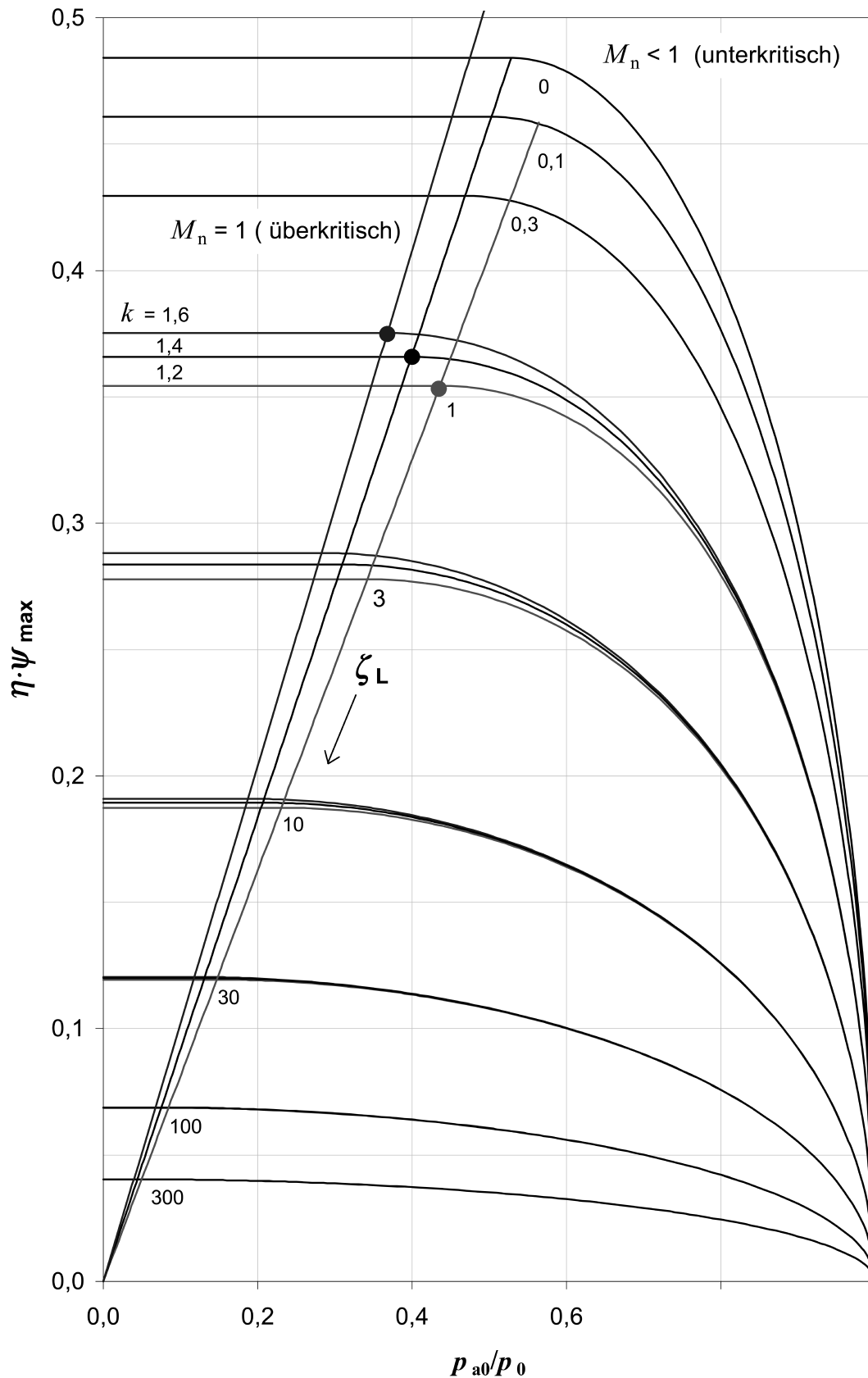


Bild 3. Produkt aus Wirkungsgrad η einer Berstscheibe und Ausflussfunktion ψ_{\max} in einer Rohrleitung mit dem Gesamtwiderstandsbeiwert ζ_L über dem Druckverhältnis p_{a0}/p_0 für verschiedene Isentropenkoeffizienten k (nach [2] und [3]; Gleichungen nach [1]).

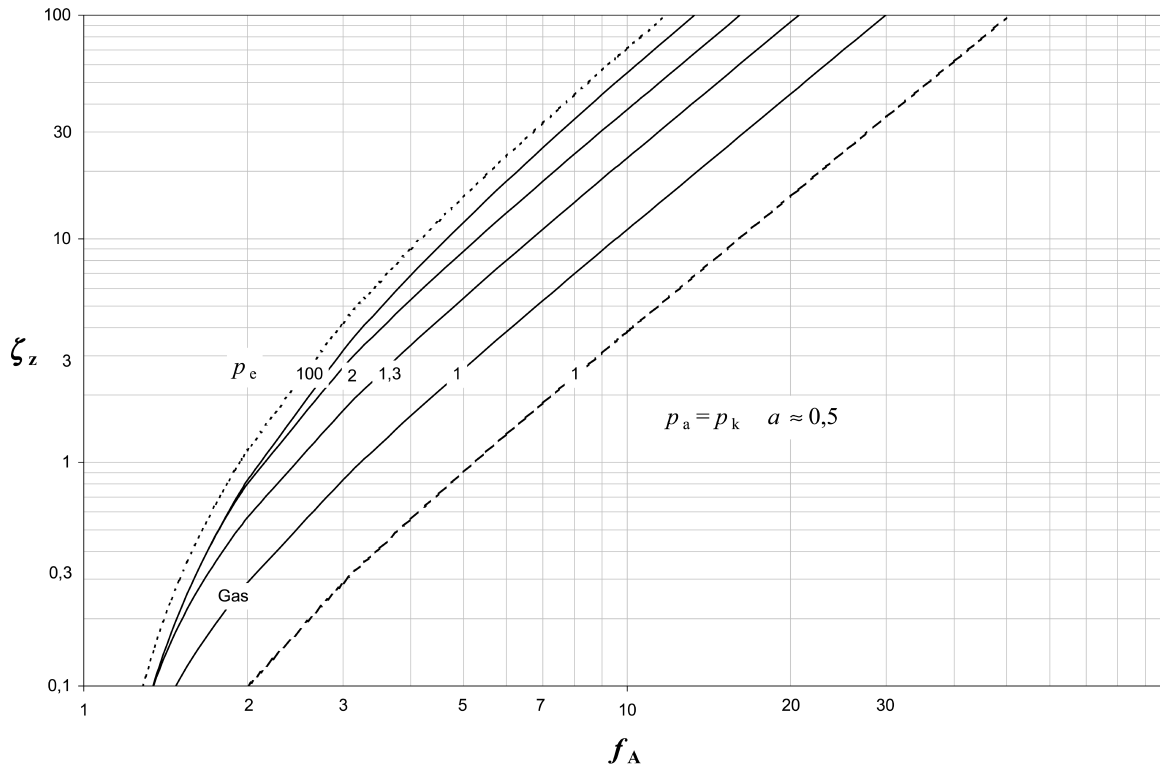


Bild 4. Zulässiger Gesamtwiderstandsbeiwert ξ_L der Ausblaseleitung für gerade noch kritischen Druck p_k nach (2.1) hinter einer Berstscheibe über dem Flächenverhältnis $f_A = \frac{1}{a} \cdot \left(\frac{D_A}{d_0}\right)^2$ für verschiedene Berstüberdrücke p_e sowie für die Isentropenexponenten k (— $k=1,4$; $k=1,2$; --- $k=1,6$); $p_{a0} = p_u = 1$ bar abs.

Herausgeber:



E-Mail: berlin@vdtuev.de
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

Beuth

Beuth Verlag GmbH
 10772 Berlin
 Tel. 030/26 01-22 60
 Fax 030/26 01-12 60
info@beuth.de
www.beuth.de