

# AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe April 2015

<b>Ausrüstung, Aufstellung und Kennzeichnung von Druckbehältern</b>	<b>Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung – Sicherheitsventile –</b>	<b>AD 2000-Merkblatt A 2 korrigierte Fassung 01.2020</b>
---	--	--

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G 1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

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

FDBR e. V. Fachverband Anlagenbau, Düsseldorf

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e. V., Essen

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst.

## Inhalt

	Seite
0 Präambel .....	2
1 Geltungsbereich.....	2
2 Allgemeines .....	2
3 Einteilung der Sicherheitsventile .....	4
4 Allgemeine Anforderungen an Sicherheitsventile .....	4
5 Besondere Anforderungen an gesteuerte Sicherheitsventile und erforderliche Maßnahmen.....	5
6 Einbau, Leitungen, Querschnitte.....	6
7 Werkstoffe.....	11
8 Herstellung, Prüfung und Kennzeichnung der Armaturengehäuse .....	11
9 Kennzeichnung von bauteilgeprüften Sicherheitsventilen.....	11
10 Größenbemessung .....	11
11 Prüfungen .....	14
12 Besondere Bauarten oder Anwendungsfälle.....	15
13 Sicherheitsabsperrentile.....	15
14 Schrifttum.....	15

Ersatz für Ausgabe Juli 2012; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe; | = Korrektur

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 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020

## 0 Präambel

Zur Erfüllung der wesentlichen Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B (Baumuster) + 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

Dieses AD 2000-Merkblatt gilt für Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung für Druckbehälter, bei denen eine unzulässige Drucküberschreitung durch Öffnen von Sicherheitsventilen oder Schließen von Sicherheitsabsperrenten<sup>1)</sup> verhindert wird.

## 2 Allgemeines<sup>2)</sup>

**2.1** Sicherheitsventile müssen dem Stand der Technik entsprechen und für den Verwendungszweck geeignet sein. Das bedeutet: Sie müssen den geltenden Anforderungen an Werkstoffe und Bauart genügen, unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebsweise des Druckraumes — insbesondere von Medium, Druck und Temperatur — zuverlässig arbeiten und den im Störfall abzuführenden Massenstrom unter Einhaltung der Forderungen des AD 2000-Merkblattes A 403 ableiten können.

In der Regel wird die Zuverlässigkeit im Hinblick auf die richtige Funktionsweise und den Massenstrom ohne Berücksichtigung der Einflüsse aufgrund chemischer Eigenschaften durch eine Bauteilprüfung<sup>3)</sup> für den vorgesehenen Verwendungsbereich (Druck, Temperatur, Medium) festgestellt. Bei der Abnahme von Baugruppen gemäß Druckgeräterichtlinie werden die richtige Bemessung, Einstellung, Anordnung und die Eignung für die vorgesehenen Betriebsverhältnisse und für das Betriebsmedium geprüft, bei Sicherheitsventilen ohne Bauteilprüfung auch die Zuverlässigkeit.

Sicherheitsventilen ist eine Betriebsanleitung nach Richtlinie 97/23/EG, Anhang I, Abschnitt 3.4, beizufügen.

**2.2** Sicherheitsventile müssen nach AD 2000-Merkblatt A 403 so bemessen und eingestellt sein, dass eine Überschreitung des maximal zulässigen Druckes um mehr als 10 % verhindert wird.

**2.3** Sicherheitsventile öffnen innerhalb einer Öffnungsdruckdifferenz von 10 % des Ansprechdruckes. Bei Ansprechdrücken < 1 bar kann die Öffnungsdruckdifferenz bis 0,1 bar betragen. Dies ist bei der Festlegung des Ansprechdruckes nach Abschnitt 2.2 zu berücksichtigen.

**2.4** Sicherheitsventile schließen innerhalb einer Druckabsenkung von 10 % bei kompressiblen und 20 % bei inkompressiblen Medien unter dem Ansprechdruck. Bei Sicherheitsventilen bis 3 bar Ansprechdruck dürfen bei kompressiblen Medien 0,3 bar und bei inkompressiblen Medien 0,6 bar Druckabsenkung für das Schließen in Anspruch genommen werden.

**2.5** Ansprechdruck und Zeit zwischen Erreichen des Ansprechdruckes und Erreichen des erforderlichen Hubes zum Abführen des Massenstromes müssen insbesondere bei gesteuerten Sicherheitsventilen der größten Druckänderungsgeschwindigkeit des abzusichernden Systems angepasst sein. Für gesteuerte Ventile ist die Zeitspanne anzugeben, die nach Erreichen des Ansprechdruckes benötigt wird, bis der erforderliche Hub zum Abführen des angegebenen Massenstromes erreicht wird. Angegeben wird ferner, für welchen Aggregatzustand des Mediums im Steuerungssystem die Angaben gelten.

### 2.6 Physikalische Größen und Formeln

$a$	zulässiges Druckverhältnis (dynamische Drücke in bar)	$\frac{p_a - 1}{p_e}$
$a_0$	Druckverhältnis (Drücke in bar)	$\frac{p_{a0} - 1}{p_e}$
$A_n$	lichte Querschnittsfläche am Ausblaseleitungsende	mm <sup>2</sup>
$c_p$	spezifische Wärme (ggf. Mittelwert)	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
$C_a, C_n$	Hilfswerte für quadratische Ergänzungen	

1) Siehe auch Fußnote 10.

2) Begriffe siehe DIN EN 764-7 und DIN EN ISO 4126-1.

3) Verfahren und Umfang der Bauteilprüfung siehe VdTÜV-Merkblatt Sicherheitsventil 100; zu beziehen beim VdTÜV e. V. unter [www.vdtuev.de](http://www.vdtuev.de).

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020 Seite 3

$D_E, D_A$	innerer Durchmesser der Zuleitung bzw. Ausblaseleitung	mm
$d_0$	engster Strömungsdurchmesser	mm
$e = \frac{p_0 - p_y}{p_e + 1 - p_{a0}}$	zulässiger Zulaufdruckverlust, bezogen auf die statischen Drücke (zurzeit gilt: $e = 0,03$ )	
$f_E, f_A, f_n$	Flächenverhältnisse von Zuleitung, Ausblaseleitung bzw. Ausblaseleitungsende	
$F_R$	Reaktionskraft an der Ausblaseöffnung	N
$h$	Exponent, Hochzahl	
$k$	Isentropenexponent des Mediums im Druckraum	
$L_E, L_A$	Länge der Zuleitung bzw. 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 adiabatisch beschleunigten, mit $v_{s0}$ schallschnellen Strömung)	
$M_a$	Machzahl hinter dem Sicherheitsventil	
$M_e$	Machzahl direkt am Einlauf des Sicherheitsventils	
$M_n$	Machzahl am Rohrleitungsende ( $M_n \leq 1$ )	
$M_y$	Machzahl vor dem Sicherheitsventil	
$p_a$	absoluter dynamischer Fremdgedruck hinter der Armatur	bar
$p_{a0}$	absoluter Fremdgedruck außerhalb $L_A$ ; $p_{a0} \leq p_u$	bar
$p_e$	Ansprechüberdruck eines Sicherheitsventils	bar
$p_h = \rho \cdot H \cdot 10^{-7}$	absoluter hydrostatischer Druck (bedingt durch Differenzhöhe $H$ in mm)	bar
$p_n$	absoluter Enddruck in der Ausblaseleitung	bar
$p_{ns}$	absoluter Enddruck in der Ausblaseleitung bei Schallgeschwindigkeit, d. h. $M_n = 1$	bar
$p_u$	absoluter Umgebungsdruck	bar
$p_y$	absoluter statischer Druck vor dem Sicherheitsventil	bar
$p_0$	absoluter Druck im abzusichernden System	bar
$p_k$	absoluter kritischer Druck mit $\psi = \psi_{\max}$	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
$v_s$	Schallgeschwindigkeit	m/s
$Y$	normierte Reaktionskraft	
$Z$	Realgasfaktor des Mediums im Druckraum	
$\overline{Z}_A$	mittlerer Realgasfaktor des Mediums in der Ausblaseleitung (konservativ: $\overline{Z}_A = 1$ )	
$Z_n$	Realgasfaktor des Mediums am Leitungsende; aus $p_n$ abzuschätzen	
$\alpha_w$	zuerkannte Ausflussziffer	
$\zeta_i$	Widerstandsbeiwerte für Leitungs- und Einbauteile (siehe z. B. Tafel 2 in diesem Merkblatt)	
$\zeta_z$	zulässiger Widerstandsbeiwert	
$\lambda$	Rohrreibungsbeiwert (siehe z. B. Tafel 1 in diesem Merkblatt)	
$\rho_n$	Dichte des Fluids in der Ausblaseöffnung am Leitungsende	kg/m <sup>3</sup>
$\psi$	Ausflussfunktion	

## 3 Einteilung der Sicherheitsventile

### 3.1 Einteilung der Sicherheitsventile nach ihrer Öffnungscharakteristik

#### 3.1.1 Normal-Sicherheitsventile

Normal-Sicherheitsventile erreichen nach dem Ansprechen innerhalb eines Druckanstiegs von maximal 10 % den für den abzuführenden Massenstrom erforderlichen Hub (Ausnahme siehe Abschnitt 2.3). An die Öffnungscharakteristik werden keine weiteren Anforderungen gestellt.

#### 3.1.2 Vollhub-Sicherheitsventile

Vollhub-Sicherheitsventile erreichen nach dem Ansprechen innerhalb eines Druckanstiegs von 5 % Drucksteigerung nahezu schlagartig den für den abzuführenden Massenstrom erforderlichen Hub. Der Anteil des Hubs bis zum schlagartigen Öffnen (Proportionalbereich) darf nicht mehr als 20 % des Gesamthubs betragen.

#### 3.1.3 Proportional-Sicherheitsventile

Proportional-Sicherheitsventile erreichen nach dem Ansprechen innerhalb eines Druckanstiegs von maximal 10 % den für den abzuführenden Massenstrom erforderlichen Hub (Ausnahme siehe Abschnitt 2.3). Sie öffnen in Abhängigkeit vom Druckanstieg nahezu stetig, hierbei tritt ein plötzliches Öffnen ohne Drucksteigerung über einen Bereich von mehr als 10 % des Hubes nicht auf.

### 3.2 Einteilung der Sicherheitsventile nach ihrer Bauart

#### 3.2.1 Direkt wirkende Sicherheitsventile

Direkt wirkende Sicherheitsventile sind Sicherheitsventile, bei welchen der unter dem Ventilteller wirkenden Öffnungskraft eine direkte mechanische Belastung (ein Gewicht, ein Gewicht mit Hebel oder eine Feder) als Schließkraft entgegenwirkt.

#### 3.2.2 Gesteuerte Sicherheitsventile

Gesteuerte Sicherheitsventile bestehen aus Hauptventil und Steuereinrichtung. Hierunter fallen auch direkt wirkende Sicherheitsventile mit Zusatzbelastung, bei denen bis zum Erreichen des Ansprechdrucks eine zusätzliche Kraft die Schließkraft verstärkt.

Die Schließkraft bzw. zusätzliche Kraft kann mechanisch (z. B. durch Feder), durch Fremdenergie (z. B. pneumatisch, hydraulisch oder elektromagnetisch) und/oder durch Eigenmedium aufgebracht werden. Sie wird bei Überschreiten des Ansprechdrucks selbsttätig aufgehoben oder so weit verringert, dass das Hauptventil durch den auf den Ventilteller wirkenden Mediumdruck oder durch eine andere in Öffnungsrichtung wirkende Kraft öffnet. Hierbei kann das Hauptventil nach dem Be- oder Entlastungsprinzip betätigt werden, und Steuereinrichtungen können nach dem Ruhe- oder Arbeitsprinzip wirken.

Das Belastungsprinzip ist dadurch gekennzeichnet, dass das Hauptventil beim Aufbringen der Belastung öffnet.

Das Entlastungsprinzip ist dadurch gekennzeichnet, dass das Hauptventil bei Aufheben der Belastung öffnet.

Das Ruheprinzip der Steuerung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung bei Ausfall der Steuerenergie die Be- oder Entlastung bewirkt. Steuereinrichtungen mit Eigenmedium werden dem Ruheprinzip zugeordnet.

Das Arbeitsprinzip der Steuerung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinrichtung bei Ausfall der Steuerenergie keine Be- oder Entlastung bewirkt.

## 4 Allgemeine Anforderungen an Sicherheitsventile

### 4.1 Sicherung gegen Verstellen

Sicherheitsventile müssen gegen unbefugte Änderung des Einstelldrucks bzw. des Ansprechdrucks und der Funktionsweise gesichert sein. Bei Sicherheitsventilen muss eine Sicherung gegen Änderung der Funktionsweise vorhanden sein, wie z. B. Plombe zwischen Ventilgehäuse und Federhaube oder formschlüssige Verbindung zwischen Ventilteller und Ventilschindel (nicht starr).

### 4.2 Führung der beweglichen Teile

Sicherheitsventile sind so zu gestalten, dass die beweglichen Teile auch bei unterschiedlicher Erwärmung in ihrer Bewegung nicht behindert werden. Sofern durch das Betriebsmedium oder durch äußere Einwirkung mit Ablagerungen (z. B. durch Staub) gerechnet werden muss, müssen die Führungen so gestaltet oder gegen Ablagerungen so weit geschützt sein, dass die Funktion des Sicherheitsventils nicht beeinträchtigt wird. Abdichtungen, die die Funktion durch auftretende Reibungskräfte behindern können, sind unzulässig.

### 4.3 Anlüftbarkeit

**4.3.1** Sicherheitsventile müssen im Bereich  $\geq 85$  % des Ansprechdrucks ohne Hilfsmittel zum Öffnen gebracht werden können.

**4.3.2** Auf die Anforderung nach Abschnitt 4.3.1 kann verzichtet werden, wenn dies aus betrieblichen Gründen<sup>4)</sup> notwendig ist oder wenn die Funktionsfähigkeit des Sicherheitsventils auch anderweitig überprüft werden kann (z. B. über Wechselventile).

**4.3.3** Sicherheitsventile, welche im drucklosen Zustand zum Öffnen gebracht werden können, müssen hierfür besonders ausgebildet sein (z. B. durch formschlüssige Verbindung zwischen Ventilteller und Ventilspindel).

## 4.4 Belastungsgewicht

Bei Sicherheitsventilen, die durch Gewicht über Hebel belastet sind, muss das Belastungsgewicht aus einem Stück bestehen. Bei Sicherheitsventilen mit mehr als einem Ventilteller muss die Belastung der einzelnen Teller unabhängig voneinander erfolgen.

## 4.5 Ausbildung der Schraubenfedern

Schraubenfedern federbelasteter Sicherheitsventile müssen so ausgeführt sein, dass alle Windungen der Feder bei dem erforderlichen Hub noch einen gegenseitigen Abstand von  $0,5 \times$  Drahtdurchmesser oder mindestens 2 mm aufweisen. Sind Federn und gleitende oder drehende metallische Teile durch Membrane, Faltenbalg, Haube oder Ähnliches gegen Verschmutzung oder korrosiven Angriff geschützt, können geringere Abstände zugelassen werden.

## 4.6 Anforderungen an das Ventilgehäuse

An die Gehäuse der Sicherheitsventile müssen erforderlichenfalls Abblaseleitungen angebracht werden können. Die Gehäuse müssen ferner mit einer besonderen Befestigungsmöglichkeit versehen sein, wenn die beim Ausblasen auftretenden Reaktionskräfte nicht von den Anschlussstutzen übertragen werden können. Im Ventilgehäuse darf sich kein Kondensat ansammeln können.

## 4.7 Funktionsprüfungen

Die Prüfung des Ansprechdrucks und die Kontrolle der Gängigkeit in Führungen beweglicher Teile (siehe auch Abschnitt 4.2) sind in regelmäßigen Zeitabständen durchzuführen. Die Intervalle für regelmäßige Prüfungen sind entsprechend den Betriebsbedingungen vom Betreiber festzulegen, wobei die Empfehlungen des Herstellers und der zuständigen unabhängigen Stelle als Grundlage dienen. Diese Prüfungen und Kontrollen sind spätestens anlässlich der äußeren oder inneren Prüfungen des zugehörigen Druckbehälters durchzuführen.

## 5 Besondere Anforderungen an gesteuerte Sicherheitsventile und erforderliche Maßnahmen

**5.1** Jeder Steuerstrang ist so zu bemessen, dass bei Ausfall der anderen Steuerstränge das zugehörige Hauptventil noch zuverlässig arbeitet. Der Ausfall eines Steuerstrangs darf beim Belastungsprinzip die Funktionsfähigkeit der anderen nicht beeinträchtigen.

**5.2** Das Hauptventil muss durch Handeingriff in die Steuerung geöffnet werden können. Diese Forderung muss auch bei Ausfall (z. B. bei der Prüfung) eines Steuerstrangs erfüllt werden. Auf die Öffnungsmöglichkeit des Hauptventils durch Handeingriff kann in den Fällen des Abschnittes 4.3.2 verzichtet werden.

**5.3** Zur Steuerung müssen mindestens drei getrennte Steuerstränge, d. h. drei Impulsgeber und drei Steuerglieder mit je einer unabhängigen Druckentnahme<sup>5)</sup>, Impuls<sup>6)</sup> und Steuerleitung<sup>7)</sup> in Betrieb sein. Zur Prüfung und Instandsetzung kann vorübergehend ein Steuerstrang außer Betrieb genommen werden. Mindestens zwei Steuerstränge müssen nach dem Ruheprinzip geschaltet sein. Mit einer derartigen Steuerung können mehrere Hauptventile gesteuert werden.

Bei Betätigung der Hauptventile nach dem Entlastungsprinzip genügen zwei Steuerleitungen. Eine Steuerleitung ist beim Entlastungsprinzip ausreichend, wenn ein Verstopfen der Leitung sicher ausgeschlossen werden kann. Hierbei wird vorausgesetzt: Fremdmediumsteuerung, Einbau von Feinfiltern und lichter Durchmesser der Steuerleitung mindestens 15 mm ohne jede Verengung.

Das einwandfreie Zusammenwirken der Steuerung mit dem Hauptventil muss an der Anlage geprüft werden können. Zur Steuerung dürfen nur Medien verwendet werden, bei denen Verschmutzung oder Korrosion des Steuersystems nicht zu erwarten ist. Kondensatansammlung im Steuersystem muss verhindert werden, wenn die Funktionssicherheit hierdurch beeinträchtigt wird.

**5.4** Zwei Steuerstränge je Hauptventil genügen, wenn

- das Hauptventil beim Versagen beider Steuerstränge spätestens bei Erreichen des 1,2-Fachen des maximal zulässigen Drucks voll geöffnet ist oder

4) Zum Beispiel bei Anlagen mit brennbaren oder giftigen Gasen und bei Kälteanlagen.

5) Leitung zum Impulsgeber.

6) Leitung zwischen Impulsgeber und Steuerglied.

7) Leitung zwischen Steuerglied und Hauptventil.

- eine Aufteilung des abzuführenden Massenstroms auf mehrere Hauptventile und getrennte Ansteuerung jedes Hauptventils erfolgt, sofern bei Ausfall eines der Hauptventile die übrigen mindestens noch  $\frac{2}{3}$  des geforderten Massenstroms abführen können.

**5.5** Bei Betätigung des Hauptventils nach dem Belastungsprinzip müssen zwei voneinander unabhängige Energiequellen und Energiezuleitungen für die Belastung zur Verfügung stehen. Bei Ausfall einer Energiequelle oder einer Energiezuleitung darf die Funktionsfähigkeit des Hauptventils nicht beeinträchtigt werden. Das Ausfallen auch nur einer der beiden Energiequellen muss so angezeigt werden, dass es sofort sicher bemerkt wird. Hierauf kann verzichtet werden, wenn das Hauptventil bei Ausfall einer Energiequelle selbsttätig öffnet. Bei Verwendung von Eigenmedium ist eine zweite Energiequelle nicht erforderlich.

**5.6** Bei Haupt- und Steuerventilen, bei denen der Systemdruck bzw. Steuermediumdruck auf den Ventilteller in Schließrichtung wirkt, ist die Öffnungskraft so zu bemessen, dass das Hauptventil auch bei dem 2-fachen des maximal zulässigen Druckes bzw. dem 2-fachen höchsten Arbeitsdruck des Steuermediums noch voll öffnet.

**5.7** Jeder Steuerstrang vom Impulsgeber bis einschließlich der zugehörigen Steuerglieder muss im Betrieb überprüfbar sein, ohne dass das Hauptventil zum Ansprechen kommen muss. Durch geeignete Einrichtungen ist sicherzustellen, dass zur Prüfung der Impulsglieder und der Steuerglieder jeweils nur ein Steuerstrang unwirksam gemacht werden kann. Druckmessstellen müssen in dem für die Beurteilung der Funktionssicherheit notwendigen Umfang vorhanden sein. Druckmessleitungen in Steuersystemen sollen möglichst kurz sein.

## **5.8 Steuerventile für Eigenmedium mit zugehörigen Leitungen und Armaturen**

**5.8.1** Steuerventile für Eigenmedium müssen einen engsten Strömungsdurchmesser  $d_0$  von mindestens 10 mm besitzen. Der sich bei jedem Öffnungsvorgang einstellende Hub muss die 3fache Größe des kleinsten Hubes betragen, bei dem das Hauptventil zu öffnen beginnt (mindestens jedoch 2 mm). Dieser Hub ist im Rahmen der Bauteil- oder Einzelprüfung festzulegen.

**5.8.2** Steuerleitungen sollen kurz und strömungsgünstig verlegt sein. Kondensatansammlungen in den Steuersträngen sowie ein Einfrieren der Steuerstränge müssen verhindert werden. Zur Kondensatableitung soll ein Leitungsgefälle von mindestens 15 % eingehalten werden. Bei Abweichungen muss sichergestellt sein, dass die Funktion der gesteuerten Sicherheitsventile trotzdem gewährleistet ist.

**5.8.3** Steuerleitungen für Medien, bei denen Verschmutzung oder Korrosion nicht auszuschließen ist, sind mindestens mit 15 mm lichtigem Durchmesser auszuführen und dürfen keine Verengungen aufweisen.

**5.9** An gesteuerten Sicherheitsventilen sind regelmäßige Funktionsprüfungen erforderlich.

Abweichend von Abschnitt 4.7 ist eine jährliche Prüfung erforderlich. Die Funktionsprüfung ist dabei so vorzunehmen, dass neben der Funktion des Hauptventils auch die Funktionstüchtigkeit der einzelnen Stränge beurteilt werden kann.

Es muss geprüft werden, ob die Öffnungskriterien, z. B. Größe und zeitlicher Verlauf der Be- und Entlastungskräfte, eine einwandfreie Funktion bis zum vollen Öffnen des Hauptventils gewährleisten.

## **6 Einbau, Leitungen, Querschnitte**

### **6.1 Einbau und Leitungen**

**6.1.1** Sicherheitsventile dürfen durch Absperreinrichtungen nicht unwirksam gemacht werden können. Der Einbau von Wechselarmaturen oder Verblockungseinrichtungen ist zulässig, wenn durch Konstruktion der Einrichtung sichergestellt ist, dass auch beim Umschalten der erforderliche Abblasequerschnitt freigegeben ist. Bei Anlagen, die mit mehreren unabhängigen Sicherheitsventilen ausgerüstet sind, dürfen während der Prüfung eines Sicherheitsventils die übrigen bei entsprechend abgeminderter Anlagenleistung blockiert werden.

**6.1.2** Direkt wirkende Sicherheitsventile sind grundsätzlich aufrecht unter Beachtung der Strömungsrichtung einzubauen. Die Zuleitung sollte kurz und so weit wie möglich gerade sein.

Abgänge zu Sicherheitsventilen sollten nicht anderen Abzweigungen gegenüber liegen.

Zuleitungen und Abblaseleitungen von Sicherheitsventilen sind strömungsgünstig zu verlegen.

Sicherheitsventile sind gegen schädigende äußere Einflüsse, z. B. Witterungseinflüsse, die funktionshemmend sein können, zu schützen.

Übertragungen von Vibrationen auf das Sicherheitsventil sind zu vermeiden.

Abblaseleitungen von Sicherheitsventilen müssen gefahrlos ausmünden. Im Abblasesystem darf sich keine Flüssigkeit ansammeln können. Falls Gefahr des Einfrierens besteht, muss die Leitung entsprechend geschützt sein.

Die Leitungen müssen unter Berücksichtigung der örtlichen Betriebsverhältnisse so bemessen und verlegt sein, dass die statischen, dynamischen (Reaktionskräfte) und thermischen Beanspruchungen sicher aufgenommen werden können.

Soweit bei Sicherheitsventilen auch ein Austritt von ausgasenden und verdampfenden Flüssigkeiten, z. B. Heißwasser, zu erwarten ist, müssen in unmittelbarer Nähe des Ventils Entspannungseinrichtungen ausreichender Größe angeordnet werden. An diesen Entspannungseinrichtungen sind Öffnungen ausreichenden Querschnitts sowohl zur Ableitung des entspannten Dampfes (Gases) als auch zur Ableitung der Flüssigkeit vorzusehen.

An Sicherheitsventilen, bei denen durch Austreten des Mediums, z. B. auch durch die offene Haube, direkt oder indirekt Gefahren für die Personen oder die Umgebung entstehen können, müssen geeignete Schutzvorrichtungen angebracht werden.

**Tafel 1 — Reibungsbeiwerte für  $K = 70 \mu\text{m}$  (Richtwerte)**

$D_E$ [mm]	20	50	100	200	500
$\lambda$ [1]	0,027	0,021	0,018	0,015	0,013

## 6.2 Querschnitte

**6.2.1** Der Querschnitt der Zuleitung darf nicht kleiner sein als der Eintrittsquerschnitt des Sicherheitsventils. Der Querschnitt der Abblaseleitung darf nicht kleiner als der Austrittsquerschnitt des Sicherheitsventils sein.

Der Durchmesser, die Länge der Abblaseleitungen, Krümmer, Schalldämpfer etc. bestimmen die Höhe des Eigengegengedrucks. Diese Teile sind so zu bemessen und zu verlegen, dass der vom Hersteller für das Sicherheitsventil angegebene zulässige Gegendruck nicht überschritten wird.

**6.2.2** Der Druckverlust in der Zuleitung darf bei größtem abgeführten Massenstrom 3 % der Druckdifferenz zwischen dem Ansprechdruck und dem Fremdgedruck nicht überschreiten. Voraussetzung für eine ungestörte Funktion bei diesem Druckverlust ist, dass die Schließdruckdifferenz des eingebauten Sicherheitsventils mindestens 5 % beträgt. Bei kleinerer Schließdruckdifferenz als 5 % muss der Unterschied zwischen Druckverlust und Schließdruckdifferenz mindestens 2 % betragen.

Bei gesteuerten Ventilen gelten die Anforderungen für den Druckverlust in der Zuleitung nur, wenn sie auch bei Ausfall der Steuerung als direkt wirkende Sicherheitsventile arbeiten.

Für einen Druckverlust von 3 % in den Zuleitungen von Sicherheitsventilen kann zum Beispiel mit Hilfe des Diagramms nach Bild 2a der zulässige Widerstandsbeiwert  $\zeta_z$  der Zuleitung und damit deren maximale Länge  $L_E$  bestimmt werden.

Als Berechnungsgleichungen für den zulässigen Widerstandsbeiwert  $\zeta_z$  der Zuleitung gelten

— für Gase

$$\zeta_z = \frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{p_0}{p_y} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left( \frac{f_E}{\psi} \right)^2 - 2 \ln \frac{p_0}{p_y} = \lambda \cdot \frac{L_E}{D_E} + \sum \zeta_i \quad (1)$$

— für Flüssigkeiten

$$\zeta_z = \frac{\frac{p_0}{p_y} - 1 - \frac{p_h}{p_y}}{1 - \frac{p_a}{p_0}} \cdot f_E^2 \quad (2)$$

Hierin ist  $f_E$  das Flächenverhältnis

$$f_E = \frac{1}{1,1 \cdot \alpha_w} \cdot \left( \frac{D_E}{d_0} \right)^2 \quad (3)$$

Mit der Summe der Widerstandsbeiwerte  $\zeta_i$  (Tafel 2) der einzelnen Leitungs- und Einbauteile sowie dem Widerstandsbeiwert des geraden Rohres  $\lambda \cdot \frac{L_E}{D_E}$  lässt sich die zulässige Leitungslänge  $L_E$  mit  $\lambda$  aus Tafel 1 errechnen.

$$L_E = \left( \zeta_z - \sum \zeta_i \right) \cdot \frac{D_E}{\lambda} \quad (3.1)$$

Ist die errechnete Zuleitungslänge  $L_E$  kleiner als die benötigte, muss die sichere Funktionsweise unter den vorliegenden Einbaubedingungen durch Versuch festgestellt und der tatsächliche Druckverlust in der Zuleitung bei der Größenbemessung des Sicherheitsventils berücksichtigt werden. Dasselbe gilt für die errechnete Länge  $L_A$  der Ausblaseleitung [siehe Gleichung (4) bzw. (6)].

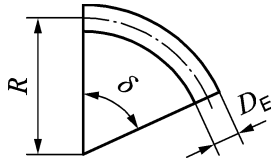
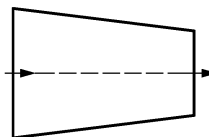
Bei Hochdruckentspannungen darf die Entspannungsschallleistung nicht zu groß werden. Eine zu große Leistung ist einem zu geringen Gegendruck  $p_a$  gleichbedeutend, welcher dann durch eine geeignete Verlängerung der Ausblaseleitung angehoben werden muss (siehe hierzu [5]). Für zulässige Biegemomente in Ausblaseleitungen sind auch Katalogangaben zu beachten.

Für Verrohrungen, die aus Rohren verschiedener Nennweiten zusammengesetzt sind, ist AD 2000-Merkblatt A 1, Abschnitt 10.2.2, Gleichung (9), anzuwenden.

# AD 2000-Merkblatt

Seite 8 AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020

**Tafel 2 — Verlustbeiwerte  $\zeta_i$  (Richtwerte)**

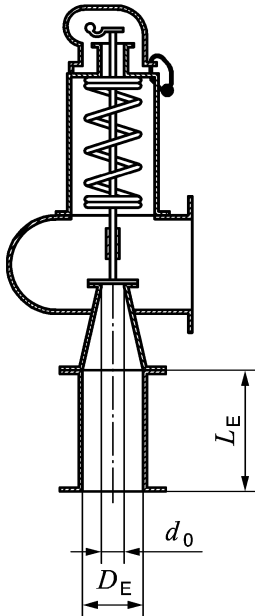
Rohrbogen	Umlenkverluste für $\delta = 90^\circ$ und $K = 70 \mu\text{m}$					
	$\begin{matrix} D_E \\ R/D_E \end{matrix}$	20	50	100	200	500
  für $\delta \neq 90^\circ$  $\zeta_{u\delta} = \zeta_{u90} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{90}}$	1,0	0,42	0,33	0,27	0,24	0,19
	1,25	0,35	0,28	0,23	0,20	0,16
	1,6	0,29	0,23	0,19	0,17	0,14
	2	0,25	0,19	0,16	0,14	0,12
	2,5	0,22	0,17	0,15	0,13	0,10
	3,15	0,20	0,15	0,13	0,11	0,10
	4	0,18	0,14	0,12	0,10	0,10
	5	0,16	0,12	0,10	0,10	0,10
	6,3	0,14	0,11	0,10	0,10	0,10
	8	0,12	0,10	0,10	0,10	0,10
	10	0,14	0,11	0,10	0,10	0,10
Zuleitungsstutzen						$\zeta_i$
	gut gerundet					0,1
	Kante normal gebrochen					0,25
	Kante scharf oder durchgestecktes Rohr					0,50
stetige Querschnittsverengung	  bezogen auf den verengten Querschnitt					0,1
rechtwinklige T-Stücke	Stutzen scharfkantig eingesetzt			im Durchgang		0,35 <sup>c</sup>
				im Abzweig		1,28 <sup>c</sup>
	Stutzen ausgehalst oder aufgesetzt, Einlauf abgerundet <sup>a</sup>			im Durchgang		0,2 <sup>c</sup>
				im Abzweig		0,75 <sup>c</sup>
Wechselventil/Verblockungseinrichtungen						b

<sup>a</sup> Für die Hochdruckleitungen übliche erweiterte T-Stücke.

<sup>b</sup>  $\zeta$ -Wert-Bestimmung erforderlich.

<sup>c</sup> Bezogen auf den Staudruck in der zum Sicherheitsventil abgehenden Leitung.





Zeichenerklärung:

$D_E$  = Durchmesser der Zuleitung

$A_E$  = Querschnitt der Zuleitung

$L_E$  = gestreckte Länge der Zuleitung

$A_0 = \frac{d_0^2 \cdot \pi}{4}$  = engster Strömungsquerschnitt

$k$  = Isentropenexponent

$\alpha_w$  = zuerkannte Ausflussziffer

$\lambda$  = Rohrreibungsbeiwert

$\zeta_z$  = zul. Widerstandsbeiwert

$\zeta_i$  = Widerstandsbeiwert für Leitungs- und Einbauteile

$K$  = äquivalente Rauigkeit

**Bild 1**

**6.3** Gegendrücke auf der Austrittseite, die sich auf den Ansprechüberdruck und auf die Öffnungskräfte oder den Massenstrom auswirken, sind zu berücksichtigen. Vom Hersteller ist anzugeben, bis zu welchem Gegendruck  $p_a$  ein bestimmungsgemäßes Arbeiten des Sicherheitsventils gewährleistet ist und der abzuführende Massenstrom (siehe Abschnitt 2.2) zuverlässig erreicht wird.

Führt die Abblaseleitung eines Sicherheitsventils in ein nachgeschaltetes Netz, ist das Sicherheitsventil so einzustellen und zu bemessen, dass es beim maximalen Fremdgedruck  $p_{af}$  rechtzeitig abzublasen beginnt und beim höchstmöglichen Gegendruck  $p_a$  den geforderten Massenstrom abführen kann.

**6.3.1** Für die Bestimmung des zulässigen Widerstandsbeiwerts  $\zeta_z$  der Ausblaseleitung gilt in Analogie zur Gleichung (1) in Abschnitt 6.2.2

— für Gase (bei  $a > 0,14$  und  $\zeta_z > 2$ )

$$\zeta_z \cong \frac{1}{2} \cdot \left[ \left( \frac{p_a}{p_0} \right)^2 - \left( \frac{p_n}{p_0} \right)^2 \right] \cdot \left( \frac{f_A}{\psi} \right)^2 - \frac{2}{k} \cdot \ln \frac{p_a}{p_n} = \left( \lambda \cdot \frac{L_A}{D_A} + \sum_A \zeta_i \right) \cdot \frac{\bar{Z}_A}{Z} \quad (4)$$

Der Druck  $p_n$  im Ausblasequerschnitt ist bei Gasentspannung größer/gleich dem absoluten Fremdgedruck  $p_{a0}$ .

$$p_n = p_{ns} \geq p_{a0} \geq p_u = 1 \text{ bar abs.} \quad (4.1)$$

$$p_{ns} = \frac{2 p_0}{\sqrt{k(k+1)}} \cdot \frac{\psi}{f_A} \cdot \sqrt{\frac{Z_n}{Z}} \quad (4.2)$$

— für Flüssigkeiten

$$\zeta_z = \frac{\frac{p_a}{p_0} - \frac{p_{a0}}{p_0} - \frac{p_n}{p_0}}{1 - \frac{p_a}{p_0}} \cdot f_A^2 \quad (5)$$

$f_A$  wird analog zur Gleichung (3) berechnet.

Die genaue Lösung für  $\zeta_z$  für Gase ( $Z = 1$ ) erhält man aus folgenden Gleichungen<sup>8)</sup> mit der Machzahl  $M_a$  hinter dem Sicherheitsventil und der Machzahl  $M_n$  in der Ausblaseöffnung. Der Einfluss der Realgasfaktoren  $Z$  ist abgeschätzt.

$$\zeta_z = \frac{\bar{Z}_A}{Z} \cdot \left( \lambda \cdot \frac{L_A}{D_A} + \sum_A \zeta_i \right) = \frac{k+1}{2k} \cdot \left( \frac{1}{M_a^2} - \frac{1}{M_n^2} - 2 \ln \frac{M_n}{M_a} \right) \quad (6)$$

Die beiden Machzahlen  $M_n$  und  $M_a$  werden mittels quadratischer Ergänzungen berechnet.

$$M_n = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} + C_n^2 - C_n} \leq 1 \quad (6.1)$$

8) Siehe [1] und [2] im Literaturverzeichnis.

$$C_n = \frac{1}{k-1} \cdot \frac{p_n}{p_{ns}} \quad (\text{Häufig ist } p_{a0} = p_u) \quad (6.2)$$

$$M_a = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} + C_a^2} - C_a \leq M_n \quad (6.3)$$

$$C_a = \frac{k+1}{k-1} \cdot \frac{1}{2 M_n} \cdot \frac{p_a}{p_n} \cdot \left( 1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot M_n^2 \right) \quad (6.4)$$

Soll nach analogem Algorithmus nicht  $\zeta_z$ , sondern der Gegendruck  $p_a$  bestimmt werden, so gilt es,  $M_a$  mit Kenntnis von  $M_n$  und  $\zeta_z$  bei guter Konvergenz aus den Gleichungen (6), (6.1) und (6.5) iterativ zu ermitteln.

$$\frac{p_a}{p_n} = \frac{M_n}{M_a} \cdot \frac{1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot M_a^2}{1 - \frac{k-1}{k+1} \cdot M_n^2} \quad (6.5)^9$$

**6.3.2** Zulässige Gegendrücke von z. B. 15 % ( $a = 0,15$ ) bzw. mit Faltenbalg bis zu 30 % ( $a = 0,3$ ) des Ansprechüberdrucks  $p_e$  können ggf. den Herstellerkatalogen entnommen werden.

Wenn in den Herstellerkatalogen zulässige Gegendrücke angegeben werden, sind diese durch entsprechende Untersuchungen zu belegen und im Rahmen der Bauteilprüfung zu verifizieren. Die Untersuchungen müssen geeignet sein, sowohl eine stabile („flatterfreie“) als auch leistungssichere Funktionsweise der Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion zu belegen. Hierbei muss u. U. die gleichzeitige Zulässigkeit eines Zulaufdruckverlusts von 3 % ( $e = 0,03$ ) der Ansprechdruckdifferenz (siehe auch 6.2.2) beachtet werden.

Diese Ergänzung der Bauteilprüfung ist auch für Sicherheitsventile auf Rohrleitungen im Strömungseinsatz, z. B. unmittelbar hinter Reduzierstationen, also ohne den „Ruhezustand“ ( $v \approx 0 \ll v_s$ ) eines Druckbehälters, erforderlich.

**6.3.3** Die durch die Ausströmung bedingte Reaktionskraft  $F_R$  ( $N = \text{kg m/s}^2$ ) wird nach dem Impulssatz bestimmt:

$$F_R = \frac{q_m}{3600} \cdot v_n \quad (7)$$

Hierbei ist  $v_n$  die Geschwindigkeit in der Ausblaseöffnung.

$$v_n = \frac{q_m}{3600} \cdot \frac{10^6}{\rho_n \cdot A_n} \quad (7.1)$$

Bei Gasen ist  $v_n$  kleiner/gleich Schallgeschwindigkeit. Wenn  $M_n$  bekannt ist, kann  $v_n$  nach Gleichung (7.2) berechnet werden.

$$v_n = M_n \cdot \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{p_n \cdot 10^5}{\rho_n(p_n, T_0)}} \leq \sqrt{k \cdot \frac{p_n \cdot 10^5}{\rho_n}} = v_s \quad \text{d. h. } M_n \leq 1 \quad (7.2)$$

Des Weiteren wird bei Gasen ein Druckterm zum Impulsterm hinzugefügt, wenn für den Durchsatz des Massenstroms bei Schallgeschwindigkeit der Druck  $p_n = p_{ns} > p_{a0}$  wird.

$$F_R = \frac{q_m}{3600} \cdot v_s + A_n \cdot (p_n - p_{a0}) \cdot \frac{1}{10} \quad (8)$$

Vergleiche hierzu in Bild 2c:

$$Y = \frac{10 F_R}{1,1 \alpha_w \cdot A_0 \cdot p_e}$$

Leitungsinterne Kräfte, zum Beispiel in Erweiterungen, sind von derselben Größenordnung wie  $F_R$ . Sie werden mit dem kleinsten Rohrlungsdurchmesser abgeschätzt, da dieser die größte Kraft bewirkt.

Rohrleitungshalterungen müssen einerseits auftretende Knick- und Biegekräfte mit ausreichender Sicherheit aufnehmen. Sie müssen andererseits jedoch für die Aufnahme von Dehnungen durch Temperaturunterschiede hinreichend biegeweich sein (siehe hierzu TRR 100). Bei Gasen kann die Rohrleitung, bedingt durch den Energieentzug infolge der Strömungsbeschleunigung, örtlich mit Schallgeschwindigkeit bis auf  $T_{ns}$  abkühlen:

$$T_{ns} \cong T \cdot \frac{2}{k+1} \quad (9)$$

Ein Sicherheitsfaktor  $S_R \approx 4$  für Rohrhalterungen berücksichtigt anfängliche schlagartige Öffnungsstöße und bewirkt zudem ggf., dass der Behälter nicht wegen abknickender Ausblaseleitung birst.

9) Nach [1] Gleichung (5.46).

Anforderungen bezüglich zündfähiger Freistrahlskeulen hinter der Ausblaseöffnung zur Umgebung und bezüglich notwendiger Verdünnung von Giftschwaden sind in TRB 600, Abschnitt 3.4, aufgeführt. Zur Erfüllung der Schutzziele können die in der zitierten Literatur [3] bis [5] aufgeführten Gleichungen angewendet werden.

**6.3.4** Die Werte für  $\zeta$ ,  $F_R$  bzw.  $Y(f, p_e)$  können aus den Bildern 2a, b und c abgelesen werden; der zulässige Widerstandsbeiwert  $\zeta_z$  der Ausblaseleitung sowie die normierte Reaktionskraft  $Y$  in einer Ausblaseleitung wurden nach den exakten Formeln (siehe [1] oder [2]) berechnet. Müssen unterschiedliche Nennweiten der Rohrleitung berücksichtigt werden, ist nach AD 2000-Merkblatt A 1, Abschnitt 10.2.2, zu verfahren. Die entsprechenden strömungsphysikalischen Grundlagen sind in der Literatur [1] bis [5] dargestellt.

**6.4** Sicherheitsventile müssen für die Prüfung der Funktionsfähigkeit und zur Wartung zugänglich sein.

**6.5** Einbauanweisungen des Herstellers sind zu beachten.

## 7 Werkstoffe

Die Werkstoffe für alle durch das Medium beanspruchten Teile müssen entsprechend den einschlägigen allgemein anerkannten Regeln der Technik so ausgewählt werden, dass sie für die auftretenden Drücke und Temperaturen geeignet sind. Dies gilt auch für die Zuführungs-, Abblase- und Kondensatabführungsleitungen. Werkstoffe für Gehäuse müssen dem AD 2000-Merkblatt A 4 entsprechen.

Sicherheitsventile sind so zu gestalten, dass die Funktionsfähigkeit durch ein Verbacken nicht beeinträchtigt wird. Dies ist z. B. zu erreichen, wenn für Ventilteller und Ventilsitz unterschiedliche Werkstofftypen, z. B. martensitische und austenitische Werkstoffe, oder korrosionsfeste Hartlegierungen, z. B. Stellite, verwendet werden. Das gilt besonders bei Verwendung von Sicherheitsventilen in Systemen mit Dampf, Kondensat, Heißwasser und Speisewasser.

## 8 Herstellung, Prüfung und Kennzeichnung der Armaturengehäuse

Die drucktragenden Gehäuseteile der Armaturen sind nach AD 2000-Merkblatt A 4 herzustellen, zu prüfen und zu kennzeichnen mit:

- Nenngröße,
- Nenndruck oder maximal zulässigem Druck und zulässiger maximaler Temperatur am Eintritt (falls erforderlich),
- Werkstoff,
- Herstellerzeichen,
- Durchflussrichtungspfeil.

Die Druckprüfung kann ggf. bei größeren Druckunterschieden im Vordruck- und Nachdruckteil von Sicherheitsventilgehäusen für beide Teile getrennt und unter Berücksichtigung der maßgeblichen Drücke durchgeführt werden.

## 9 Kennzeichnung von bauteilgeprüften Sicherheitsventilen

**9.1** Bauteilgeprüfte Sicherheitsventile müssen mit der CE-Kennzeichnung und mit dem zuerkannten Bauteilkennzeichen dauerhaft und gut lesbar versehen sein. Klebefolien sind nicht zulässig. Durch Anbringen des Bauteilkennzeichens übernimmt der Hersteller die Gewähr für die Übereinstimmung des Sicherheitsventils mit dem Bauteilprüfbericht einschließlich Anlagen, die richtige Einstellung übereinstimmend mit der Druckangabe im Bauteilkennzeichen und für die Sicherung gegen Verstellen.

**9.2** Das Bauteilkennzeichen setzt sich aus folgenden Angaben zusammen:

TÜV • SV • 02 • xxx • xx • D/G; F • 0,xx • x  
F/K/S

(Erläuterungen zu den möglichen Angaben innerhalb eines Bauteilkennzeichens siehe Bild 5.)

## 10 Größenbemessung

**10.1** Der erforderliche engste Strömungsquerschnitt vor dem Ventilsitz  $A_0$  ist nach den Formeln der Abschnitte 10.4 oder 10.5 zu berechnen.

**10.2** Der engste Strömungsdurchmesser vor dem Ventilsitz muss mindestens 6 mm (der von Steuerventilen nach Abschnitt 5.8.1 jedoch mindestens 10 mm), bei Druckbehältern mit fetthaltigen, staubförmigen oder zum Verkleben neigenden Medien mindestens 20 mm betragen.

Für Sicherheitsventile in Anlagen für saubere Gase gilt abweichend Abschnitt 12.4.

**10.3** Die Ausflussziffer soll bei Vollhub-Sicherheitsventilen den Wert  $\alpha_w = 0,5$  – ausgenommen Ventile, die im Hub begrenzt sind – und bei Normal- bzw. Proportional-Sicherheitsventilen den Wert  $\alpha_w = 0,08$  für D/G oder den Wert  $\alpha_w = 0,05$  für F nicht unterschreiten. Konstruktive Hub-Begrenzungen müssen einen Hub von mindestens 30 % vom maximalen Hub oder von mindestens 1 mm zulassen, wobei der größere Wert gilt.

## 10.4 Gase und Dämpfe

10.4.1 Die allgemeine Beziehung für die Bemessung des engsten Strömungsquerschnitts lautet

$$A_0 = \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha_w \sqrt{2 \frac{p_0}{v}}} 10^6 \quad (10)$$

Hierin bedeuten:

$A_0$	engster Strömungsquerschnitt	mm <sup>2</sup>
$q_m$	abzuführender Massenstrom	kg/s
$p_0$	absoluter Druck im Druckraum	Pa
$v$	spezifisches Volumen des Mediums im Druckraum	m <sup>3</sup> /kg
$\alpha_w$	die im Rahmen der Bauteilprüfung zuerkannte Ausflussziffer (vielfach auch als $\alpha_d$ oder $K_{dr}$ bezeichnet)	
$\psi$	Ausflussfunktion	

Für unterkritische Druckverhältnisse

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

$$\psi = \sqrt{\frac{k}{k-1}} \cdot \sqrt{\left( \frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}}} \quad (11)$$

In der Ableitung für  $\psi$  wird verwendet:

$$k = \frac{\frac{\bar{c}_p}{R \cdot \bar{Z}}}{\frac{\bar{c}_p}{1000 M}} \quad (11.1)$$

Für überkritische Druckverhältnisse ist

$$\psi = \psi_{\max} = \sqrt{\frac{k}{k+1}} \cdot \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \approx 0,431 k^{0,346} \quad (12)$$

mit

$p_a$	absoluter dynamischer Fremdgedruck hinter der Armatur
$k$	Isentropenexponent des Mediums im Druckraum

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

$$v = \frac{R_1 \cdot T \cdot Z}{p_0 \cdot 10^5} \quad (13)$$

Setzt man diesen Ausdruck in Gleichung (10) ein, so ergibt sich folgende Zahlenwertgleichung

$$A_0 = 0,001964 \cdot \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha_w \cdot p_0} \cdot \sqrt{R_1 \cdot T \cdot Z} \quad (14)$$

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

$$A_0 = 0,1791 \cdot \frac{q_m}{\psi \cdot \alpha_w \cdot p_0} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot Z}{M}} \quad (15)$$

Hierin bedeuten:

$A_0$	$\frac{d_0^2 \cdot \pi}{4}$ engster Strömungsquerschnitt	mm <sup>2</sup>
$d_0$	engster Strömungsdurchmesser	mm
$q_m$	abzuführender Massenstrom	kg/h
$R_1$	Gaskonstante	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
$R_0$	universelle Gaskonstante = 8314,3	$\frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$
$M$	molare Masse	$\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$
$T$	absolute Temperatur des Mediums im Druckraum	K
$Z$	Realgasfaktor des Mediums im Druckraum	–
$p_0$	absoluter Druck im Druckraum	bar
$v$	spezifisches Volumen des Mediums im Druckraum	m <sup>3</sup> /kg
$\psi$	Ausflussfunktion	–
$\alpha_w$	zuerkannte Ausflussziffer	–

Die Ausflussfunktion  $\psi$  kann nach Abschnitt 10.4.1 errechnet oder in Abhängigkeit vom Druckverhältnis und vom Isentropenexponenten dem Bild 3 entnommen werden. Die Stoffwerte für einige wichtige Gase und Dämpfe im Normzustand sind in Tafel 3 aufgeführt. Sie können auch für vom Normzustand abweichende Zustände im Allgemeinen verwendet werden.

Die Isentropenexponenten können jedoch bei höheren Drücken und bei von 273 K abweichenden Temperaturen von den in Tafel 3 angegebenen Werten abweichen. So hat  $k$  z. B. für Luft bei 100 bar und 293 K den Wert 1,60, so dass sich  $\psi_{\max}$  von 0,484 auf 0,507 ändert.

Bei den in Tafel 3 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 Äthylen bei 30 bar und 20 °C ist  $Z = 0,8$ ).

Für die Berechnung können die Werte für den Isentropenexponenten und den Realgasfaktor z. B. dem Data Book on Hydrocarbons entnommen werden.

Stoffwerte für Kältemittel siehe DIN EN 378-1.

**10.4.3** Für Wasserdampf sind das spezifische Volumen  $v$  und der Isentropenexponent  $k$  aus der Literatur<sup>10)</sup> zu entnehmen.

Mit Hilfe des Druckmittelbeiwertes  $x$ , der die Eigenschaften des ausströmenden Wasserdampfes und die Umrechnung der nicht kohärenten Einheiten berücksichtigt, ergibt sich für Wasserdampf aus Gleichung (16)

$$A_0 = \frac{x \cdot q_m}{\alpha_w \cdot p_0} \quad \text{mm}^2 \quad (16)$$

mit

$$x = 0,6211 \cdot \frac{\sqrt{p_0 \cdot v}}{\psi} \quad \frac{\text{h} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{bar}}{\text{kg}}$$

Der Druckmittelbeiwert  $x$  ist für überkritische Entspannung in Bild 4 dargestellt.

Für unterkritische Entspannung und für Drücke < 2 bar ist der Druckmittelbeiwert  $x$  rechnerisch zu ermitteln (siehe auch Abschnitt 7.3 des VdTÜV-Merkblatts Sicherheitsventil 100).

10) Für überhitzten Dampf und Sattdampf:

Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg: Ausgabe 1969,

oder für überhitzten Dampf:

Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf — Der Industrie-Standard IAPWS-IF 97 für die thermodynamischen Zustandsgrößen und ergänzende Gleichungen für andere Eigenschaften; Springer Verlag, Berlin; 1998.

**Tafel 3 — Gaskonstante, molare Masse, Isentropenexponent**

	Gaskonstante $R_1$ $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	Isentropenexponent $k$ für den Normzustand <sup>a</sup> ( $p_0 = 1,013 \text{ bar}$ , $T = 273 \text{ K}$ )	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
Kohlendioxid	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
Schwefeldioxid	129,77	1,28	64,063
Stickstoff	296,76	1,40	28,016
Wasserstoff	4124,11	1,41	2,016

<sup>a</sup> Weitere Stoffwerte sowie Stoffwerte für vom Normzustand abweichende Zustände siehe VDI-Wärmeatlas und Fußnoten 10 und 11.

Die übrigen Größen werden mit den Einheiten nach Abschnitt 10.4.2 eingesetzt.

## 10.5 Flüssigkeiten

### 10.5.1 Nicht siedende Flüssigkeiten

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

$$A_0 = 0,6211 \cdot \frac{q_m}{\alpha_w \sqrt{\Delta p \cdot \rho}} \quad \text{mm}^2 \quad (17)$$

mit

$$\rho \quad \text{Dichte} \quad \text{kg/m}^3$$

$$\Delta p = p_0 - p_a \quad \text{Druckdifferenz} \quad \text{bar}$$

Die übrigen Größen werden mit den Einheiten nach Abschnitt 10.4.2 eingesetzt.

### 10.5.2 Siedende und gasfreisetzende Flüssigkeiten

Für Flüssigkeiten, die siedend oder bei der Entspannung auf den Gegendruck zu siedend beginnen oder Gas freisetzen, ist die ISO 4126-10 zu verwenden.

## 11 Prüfungen

**11.1** Die Funktionssicherheit, der Einstelldruckbereich und der Ausflussmassenstrom müssen durch Bauteilprüfung oder Einzelprüfung festgestellt werden.

**11.2** Die Bauteilprüfung wird nach VdTÜV-Merkblatt Sicherheitsventil 100 durchgeführt. Sie erfolgt in der Regel unter Verwendung neutraler Prüfmedien. Auf andere Medien und Temperaturen kann geschlossen werden, wenn vergleichbare physikalische Eigenschaften vorliegen oder wenn Abweichungen berücksichtigt werden können.

**11.3** Bei nicht bauteilgeprüften Sicherheitsventilen werden die Funktionssicherheit, der Einstelldruck und der Massenstrom in der Regel als Einzelprüfung im Rahmen der Abnahmeprüfung in Anlehnung an VdTÜV-Merkblatt Sicherheitsventil 100 festgestellt.

**11.4** Der Ansprechdruck jedes Sicherheitsventils ist festzustellen. Dies kann unter Verwendung neutraler Medien erfolgen. Hierüber ist eine Bescheinigung mit Angabe des Ansprechdrucks, des Prüfmediums, der Prüftemperatur und der Kennzeichnung auszustellen. Bei Sicherheitsventilen als Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion für Druckbehälter erfolgt dies durch die zuständige unabhängige Stelle.

Werden Sicherheitsventile, die ausschließlich für flüssige Medien vorgesehen sind (nur Kennbuchstabe F bzw. L), mit gasförmigen Medien eingestellt, so ist nachzuweisen, dass der tatsächliche Ansprechdruck bei der Verwendung von flüssigen Medien dem Einstelldruck entspricht. Anderenfalls ist ein mit dem Hersteller und der unabhängigen Stelle abgestimmter, überprüfter Korrekturfaktor vorzusehen.

Werden Sicherheitsventile für Dampf auf einem Prüfstand auf einen Kalteinstelldruck eingestellt und aus diesem der Ansprechdruck unter Betriebsbedingungen (z. B. unter Temperatur- bzw. Gegendruckeinfluss) abgeleitet, so ist die Zulässigkeit dessen der unabhängigen Stelle mit entsprechenden Untersuchungsergebnissen (z. B. überprüfte Umbewertungs- bzw. Korrekturtabellen) zu belegen.

## 12 Besondere Bauarten oder Anwendungsfälle

### 12.1 Sicherheitsventile für Hydraulikflüssigkeiten

Unter der Voraussetzung, dass nicht korrodierende selbstschmierende und alterungsbeständige Hydraulikflüssigkeiten (z. B. Hydrauliköle H-L nach DIN 51524-1 und H-LP nach DIN 51524-2) verwendet werden, für eine ausreichende Reinheit der Hydraulikflüssigkeit gesorgt wird (Wechsel in angemessenen Zeitabständen und Filterung) und die Temperatur des Mediums ca. 100 °C nicht übersteigt, sind folgende Erleichterungen zulässig.

**12.1.1** Abweichend von den Abschnitten 5.8.1 und 10.2 muss der engste Strömungsdurchmesser an Hauptventilen und Steuerventilen mindestens 4,0 mm betragen.

**12.1.2** Abweichend von Abschnitt 5.4 genügen zwei Steuerstränge, wenn diese nach dem Ruheprinzip geschaltet sind.

**12.1.3** Zur Absicherung von Druckbehältern für Hydraulikflüssigkeiten mit einem Produkt aus Inhalt in Litern und maximal zulässigem Druck in bar von  $\leq 6000$  genügt abweichend von den Abschnitten 5.4 und 5.5 ein Steuerstrang, wenn auch beim Zusetzen von Düsen, engen Bohrungen und dergleichen im Steuersystem das Hauptventil beim Erreichen des Ansprechdrucks zuverlässig öffnet.

### 12.2 Foliensicherheitsventile

Wegen der besonderen Bauart dieser Sicherheitsventile gilt die Anforderung nach Abschnitt 2.4 nicht.

### 12.3 Sicherheitsventile für Sauerstoff

Sicherheitsventile für Sauerstoff sind zusätzlich mit der Kennzeichnung „Sauerstoff, öl- und fettfrei halten!“ zu versehen oder in geeigneter Weise (z. B. nach DIN EN 12300, Abschnitt 8) zu kennzeichnen.

### 12.4 Sicherheitsventile für saubere Gase

Bei Sicherheitsventilen für saubere Gase kann abweichend von den Regelungen aus Abschnitt 10.2 der engste Strömungsdurchmesser mindestens 4,0 mm betragen, wenn eine Überdimensionierung mit  $\geq 6$  mm Strömungsdurchmesser zur Beeinträchtigung der Funktion führt. Störende Verunreinigungen müssen sicher ausgeschlossen sein und die Funktion der Sicherheitsventile darf nicht beeinträchtigt werden (z. B. durch Verbackungen, Vereisungen oder Verstopfungen).

## 13 Sicherheitsabsperrventile<sup>11)</sup>

**13.1** Sicherheitsabsperrventile sind gesteuerte Ventile mit entgegengesetzter Wirkungsrichtung des Hauptventils. Sie sind einem abzusichernden System vorgeschaltet und im Normalbetrieb geöffnet. Bei unzulässiger Drucksteigerung sperren sie den Mediumzustrom selbsttätig ab. Die Abschnitte 2.4, 4, 5, 6, 7, 8 und 11 sind hierfür sinngemäß anzuwenden.

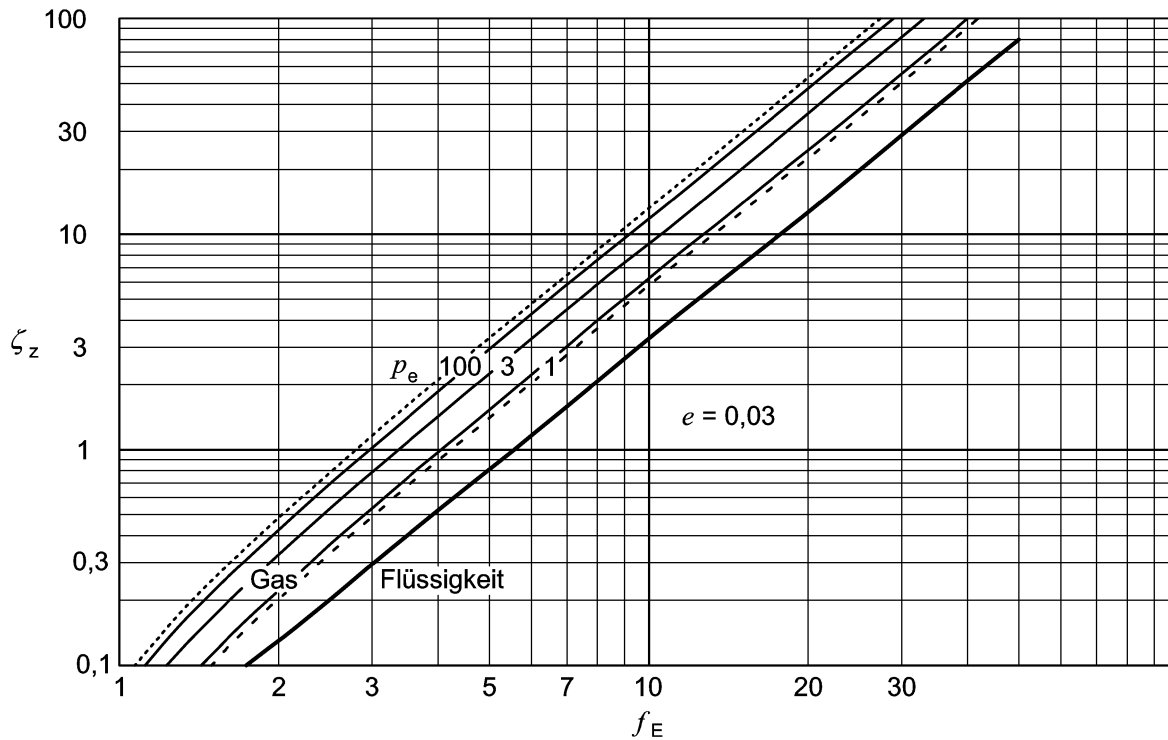
**13.2** In Strömungsrichtung sind vor den Hauptventilen Einrichtungen wie z. B. gelochte Scheiben oder Siebe einzubauen, die sicher verhindern, dass größere Fremdkörper in den Sitz eines Ventils gelangen.

**13.3** Trotz vorgeschalteter Schutzeinrichtung im Sinne von Abschnitt 13.2 können Fremdkörper vom Durchmesser der größten Siebbohrung das völlige Schließen des Hauptventils verhindern. Das dem Sicherheitsabsperrventil nachgeschaltete abzusichernde System muss daher zusätzlich mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet werden. Dieses ist so zu bemessen, dass der nach Satz 1 mögliche Leckmengenstrom abgeführt werden kann.

## 14 Schrifttum

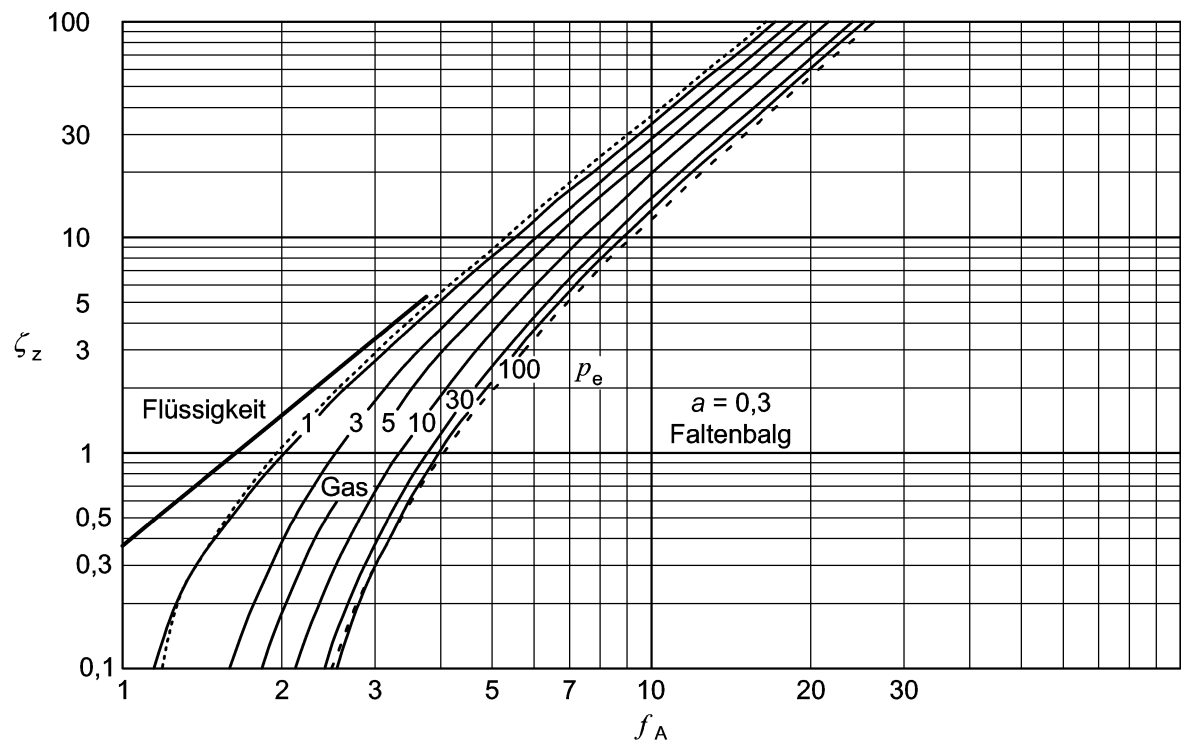
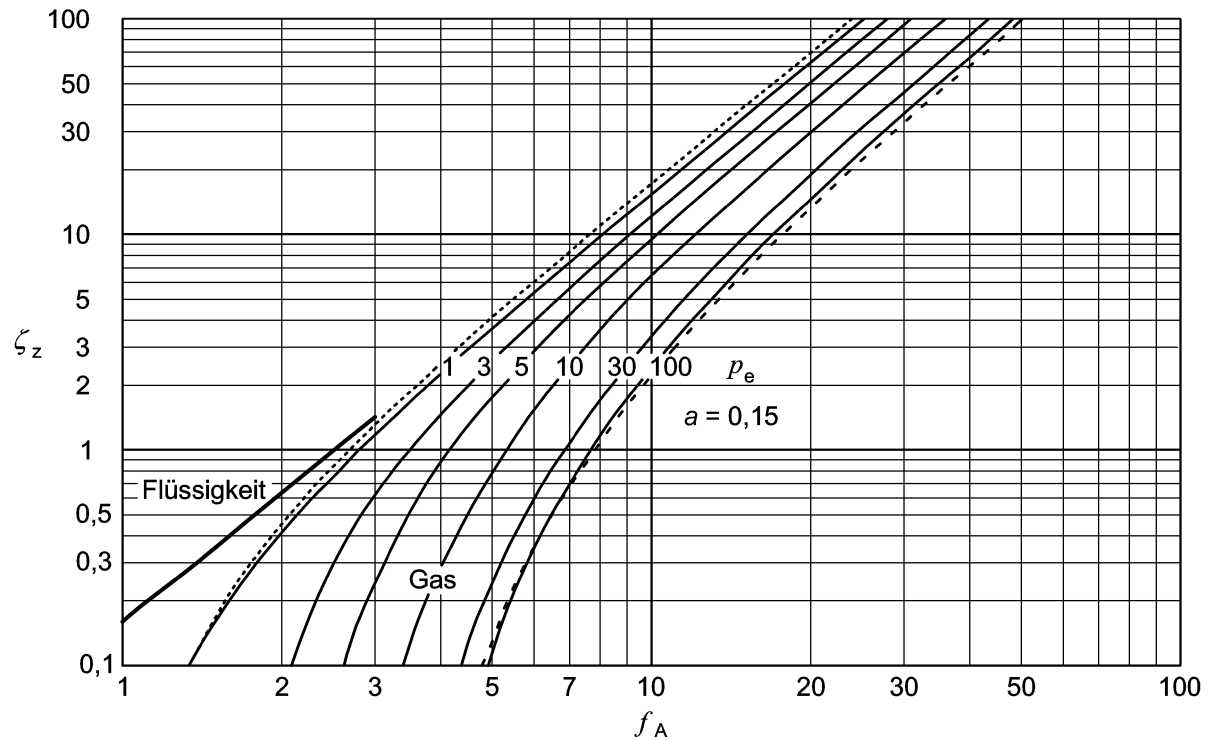
- [1] Naue, G.; Liepe, F.; Mascheck, H.-J.; Reher, E.-O.; Schenk, R.: Technische Strömungsmechanik I. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (Reihe Verfahrenstechnik). 4. Auflage; Leipzig (1988)
- [2] Ehrhardt, G.: Sicherheitsventile samt Leitungen. RWTH Aachen, Lehrstuhl für Theoretische und Experimentelle Strömungsmechanik (Abschlussbericht Forschungs- und Entwicklungsauftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) (1997)
- [3] Bozóki, G.: Überdruckabsicherungen für Behälter und Rohrleitungen (Reihe Praxiswissen für Ingenieure). TÜV Verlag GmbH; Köln (1977)
- [4] Wagner, W.: Sicherheitsarmaturen. Vogel Fachbuch Verlag (Kamprath-Reihe); Würzburg (1999)
- [5] Goßlau, W.; Weyl, R.: Sicherheitsventile und Berstscheiben. Mitteilung der Technischen Anlagenüberwachung der BASF Aktiengesellschaft; 4., umfangreich modifizierte Auflage; Ludwigshafen/Rhein (1995) [Erste Teilveröffentlichung in Technische Überwachung 1989 (Mai bis September)]
- [6] Weyl, R.: Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung — AD-Merkblätter A 1 und A 2, Druckverlustbeziehungen. Techn. Überwach. **47** 2006; Nr. 5, 6, 7, VDI-Verlag Düsseldorf

11) Für Sicherheitsabsperrventile von Druckbehältern in Leitungen für Gase der öffentlichen Gasversorgung gilt DIN EN 14382.



**Bild 2a** — Zulässiger Widerstandsbeiwert  $\zeta_z$  der Einlassleitung zu einem Sicherheitsventil über dem Flächenverhältnis  $f_E$  für verschiedene Ansprechüberdrücke  $p_e$  bei einem zulässigen Zulaufdruckverlust von 3 % ( $e = 0,03$ ), bezogen auf die statischen Drücke  $p_{a0} = p_u = 1$  bar abs. für verschiedene Isentropenexponenten  $k$  (.....  $k = 1,2$ ; —  $k = 1,4$ ; - - - - -  $k = 1,6$ );  $\zeta_z \sim k^{-0,7}$ ; Flüssigkeit mit  $p_h = 0$ .

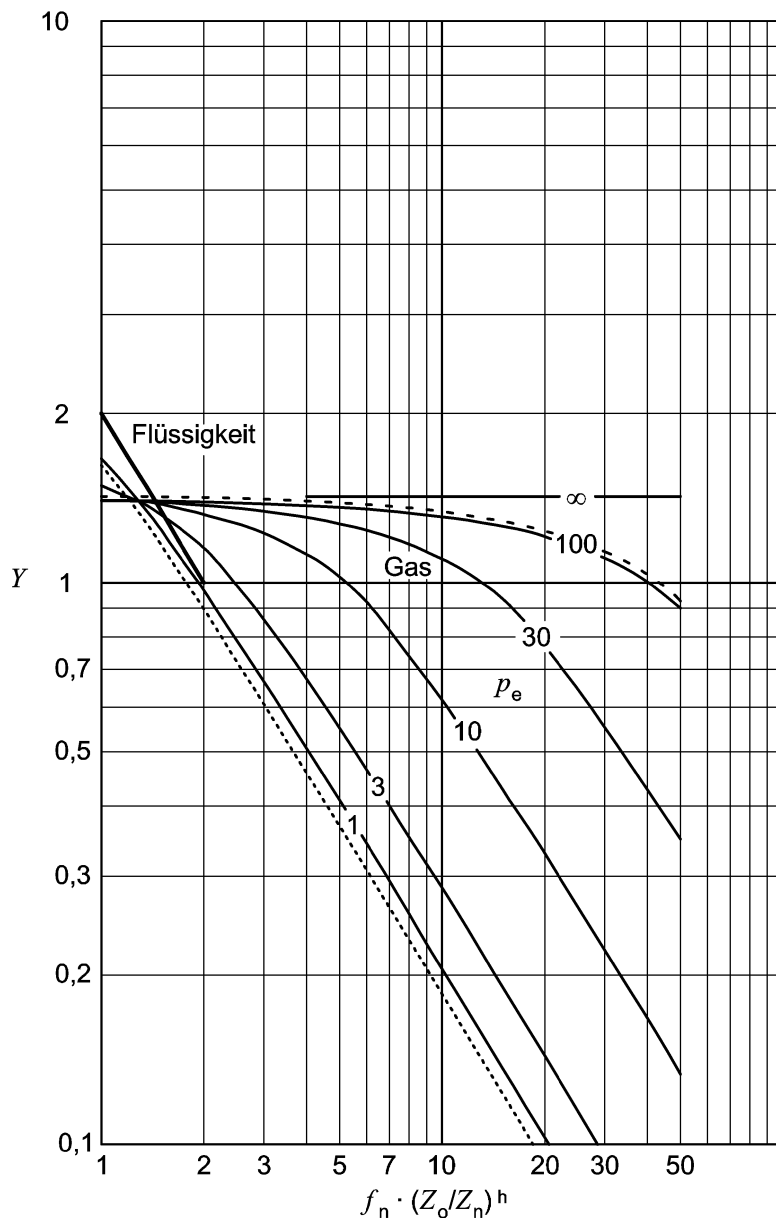




**Bild 2b — Zulässiger Widerstandsbeiwert  $\zeta_z$  der Ausblaseleitung eines Sicherheitsventils über dem Flächenverhältnis  $f_A$  für verschiedene Ansprechüberdrücke  $p_e$  und Gegendruckverhältnisse  $a$  sowie für die Isentropenexponenten  $k$  (.....  $k = 1,2$ ; —  $k = 1,4$ ; - - - -  $k = 1,6$ ) bei  $p_{a0} = p_u = 1$  bar abs.;  $p_h = 0$ .  
Für Gase mit  $p_a = p_k$  siehe AD 2000-Merkblatt A 1, Bild 4.**

# AD 2000-Merkblatt

Seite 18 AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020



**Bild 2c — Normierte Reaktionskraft  $Y = \frac{10 F_R}{1,1 \alpha_w \cdot A_0 \cdot p_e}$  in einer Ausblaseleitung über dem Flächenverhältnis  $f_n = \frac{1}{1,1 \alpha_w} \cdot \left( \frac{D_n}{d_0} \right)^2$  für verschiedene Ansprechdrücke  $p_e$  sowie für die Isentropenexponenten  $k$  (.....  $k = 1,2$ ; —  $k = 1,4$ ; - - - - -  $k = 1,6$ ) bei  $p_{a0} = p_u = 1$  bar abs.**

Für  $h$  gilt:

- $h = 0,5$ , wenn  $M_n = 1$  oder  $p_n > p_u$ ;
- $h = 1$ , wenn  $M_n < 1$  oder  $p_n = p_u$ .

Hinweis: Bei Anwendung dieses Diagramms für Berstscheiben nach AD 2000-Merkblatt A 1, Abschnitt 10.2, sind auf der Abszisse die Werte für  $f_n = \frac{1}{\eta} \cdot \left( \frac{D_n}{D_L} \right)^2$  und auf der Ordinate die Werte für  $Y = \frac{10 F_R}{\eta \cdot A_L \cdot p_e}$  dargestellt, was nur für (meist, jedoch nicht immer)  $Z = 1$  und  $D = \text{konstant}$  gälte.

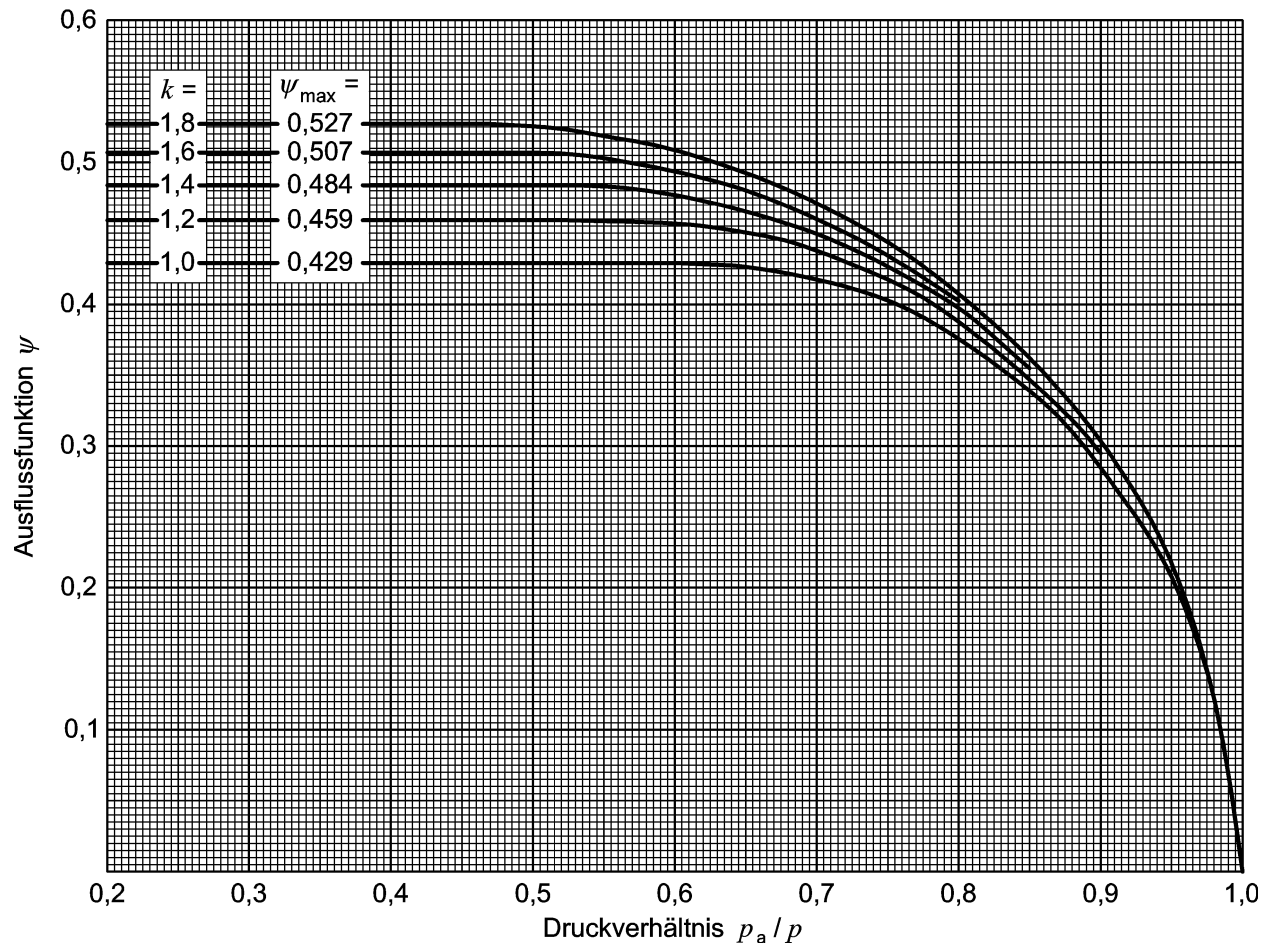
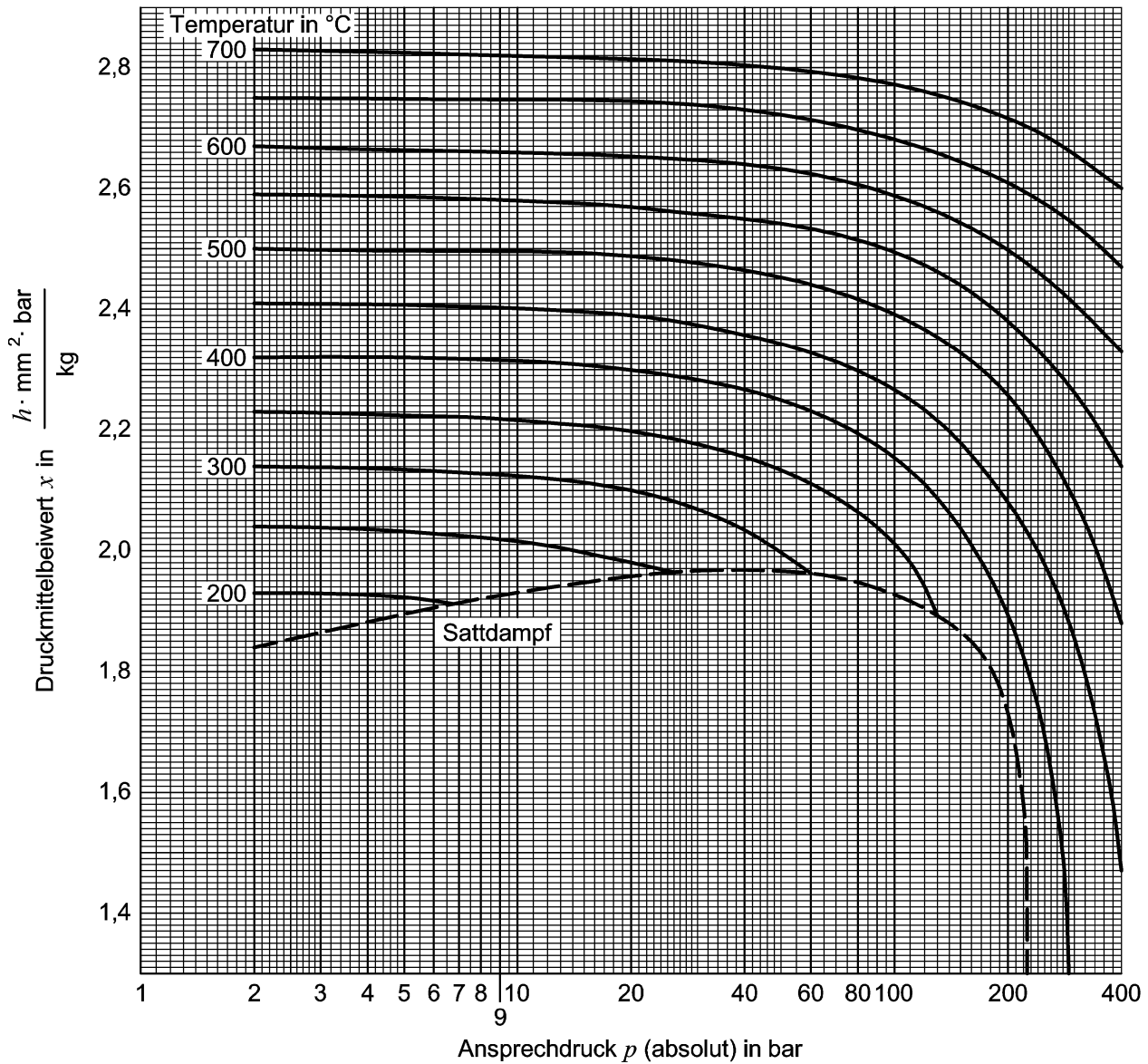


Bild 3 — Ausflussfunktion

# AD 2000-Merkblatt

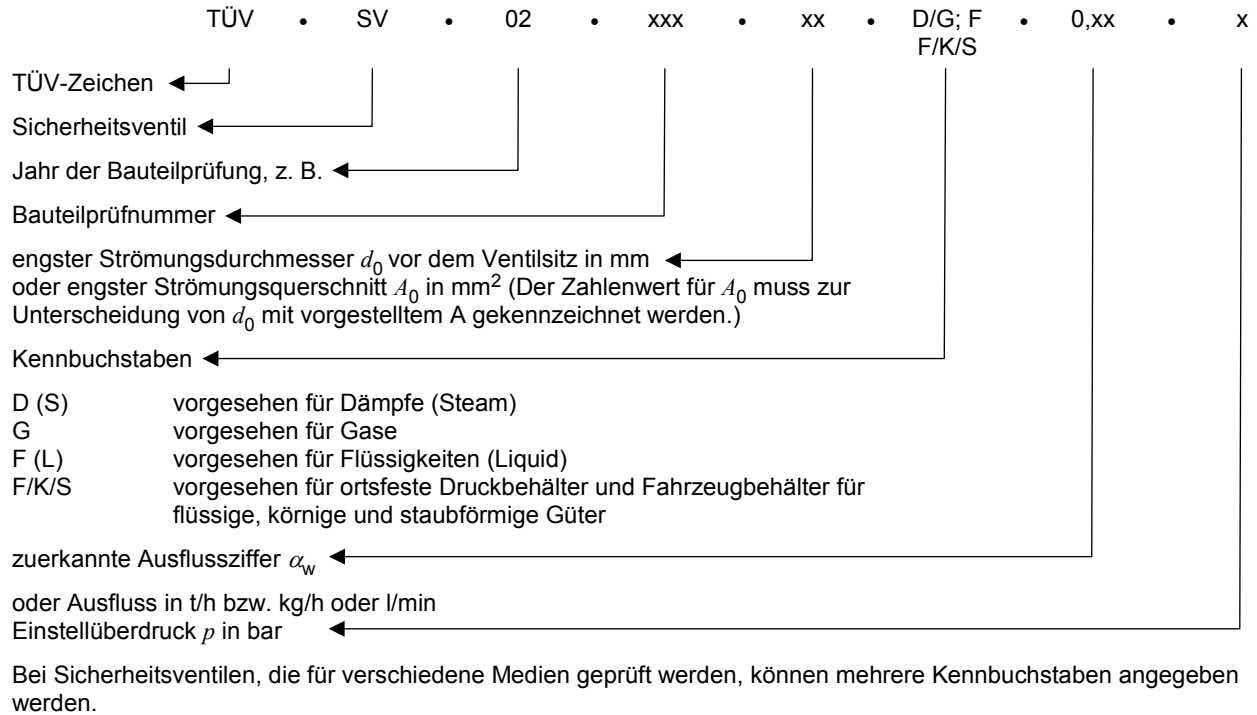
Seite 20 AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020



**Bild 4 — Druckmittelbeiwert  $x$  für Wasserdampf**

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020 Seite 21



**Bild 5 — Erläuterungen zu den Angaben innerhalb eines Bauteilkennzeichens**

# AD 2000-Merkblatt

Seite 22 AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020



# AD 2000-Merkblatt

Seite 24 AD 2000-Merkblatt A 2, Ausg. 04.2015, korrigierte Fassung 01.2020

---

Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

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

Bezugsquelle:

**Beuth**

Beuth Verlag GmbH  
10772 Berlin  
Tel. 030 / 26 01-22 60  
Fax 030 / 26 01-12 60  
[kundenservice@beuth.de](mailto:kundenservice@beuth.de)  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)