

DIN ISO 4126-10



ICS 13.240

**Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck –
Teil 10: Auslegung von Sicherheitsventilen mit Zweiphasenströmung
(flüssig/gas) (ISO 4126-10:2010)**

Safety devices for protection against excessive pressure –
Part 10: Sizing of safety valves for gas/liquid two-phase flow (ISO 4126-10:2010)

Dispositifs de sécurité pour protection contre les pressions excessives –
Partie 10: Dimensionnement des soupapes de sûreté pour les débits diphasiques
gaz/liquide (ISO 4126-10:2010)

Gesamtumfang 56 Seiten

DIN-Normenausschuss Armaturen (NAA)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	5
Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	15
5 Anwendungsbereiche der Methode	20
5.1 Allgemeines	20
5.2 Anwendungsgrenzen der Methode bei der Berechnung der Zweiphasen-Massenstromdichte in Sicherheitsventilen	20
5.2.1 Allgemeines	20
5.2.2 Verdampfende Strömung	21
5.2.3 Verdampfende Strömung bei Gemischen	21
5.2.4 Gelöste Gase	22
5.3 Grenzen der Methode zur Berechnung des mindestens abzuführenden Massenstroms	22
5.3.1 Temperatur- und Druckanstiegsgeschwindigkeit	22
5.3.2 Nicht mischbare Flüssigkeiten	23
6 Auslegungsschritte	23
6.1 Allgemeiner Überblick über die Auslegungsschritte	23
6.2 Schritt 1 — Identifizierung des Auslegungsfalls	24
6.3 Schritt 2 — Strömungsregime am Eintritt in das Sicherheitsventil	25
6.3.1 Allgemeines	25
6.3.2 Phänomen des Aufwallens	25
6.3.3 Einfluss der Viskosität und der Schaumbildungsneigung der Flüssigkeit auf das Strömungsregime	25
6.3.4 Vorhersage des Strömungsregimes (Gas/Dampf oder Zweiphasenströmung)	26
6.4 Schritt 3 — Berechnung des mindestens abzuführenden Massenstroms	30
6.4.1 Allgemeines	30
6.4.2 Druckanstieg infolge von unzulässigem Zustrom	30
6.4.3 Druckanstieg durch externe Beheizung	32
6.4.4 Druckanstieg infolge thermischer Durchgeheaktionen	34
6.5 Schritt 4 — Berechnung des abführbaren Massenstroms durch ein Sicherheitsventil	37
6.5.1 Allgemeines	37
6.5.2 Ausflussziffer des Ventils für Zweiphasenströmung, $K_{dr,2ph}$	39
6.5.3 Durchflusskoeffizient, C	40
6.5.4 Kompressibilitätsfaktor, ω	40
6.5.5 Kritisches Druckverhältnis, η_{crit}	43
6.6 Schritt 5 — Ordnungsgemäße Funktion von Sicherheitsventilen mit angeschlossenen Zuström- und Abströmleitungen	44
Anhang A (informativ) Identifizierung von Auslegungsszenarien	48
Anhang B (normativ) Auslegung eines Sicherheitsventils	50
B.1 Allgemeines	50
B.2 Schritt 1 — Identifizierung des Auslegungsfalls	50
B.2.1 Eingabedaten	50
B.2.2 Auslegung eines Sicherheitsventils — Anwendungsbereich des Verfahrens	51
B.3 Schritt 2 — Strömungsregime am Eintritt in das Sicherheitsventil	52
B.4 Schritt 3 — Berechnung der mindestens abzuführenden Massenstromdichte (Gas/Flüssigkeits-Gemisch)	52

B.5 Schritt 4 — Berechnung des abführbaren Massenstroms durch ein Sicherheitsventil (Gas/Flüssigkeits-Gemisch)	53
Literaturhinweise	55

Bilder

Bild 1 — Zusammenhang zwischen den definierten Drücken	10
Bild 2 — Sicherheitsventil in einem druckführenden System	20
Bild 3 — Verfahren zur Ventilauslegung	24
Bild 4 — Strömungsregime am Ventileintritt (Einphasen- oder Zweiphasenströmung) [23] — Grenzfüllgrad ϕ_{limit} als Funktion der dimensionslosen Blasenauftiegs geschwindigkeit	26
Bild 5 — Kompressibilitätsfaktor als eine Funktion des Strömungsmassendampfgehalts für ein Gemisch aus Styrol und Ethylbenzol während der Polymerisation	42
Bild 6 — Kritisches Druckverhältnis und Durchflusskoeffizient bei kritischer Strömung eines Gas/Flüssigkeits-Gemischs durch ein Sicherheitsventil	43

Tabellen

Tabelle 1 — Mögliche Fluidzustände am Eintritt in das Sicherheitsventil, die eine Zweiphasenströmung ergeben können	8
Tabelle 2 — Gleichungen zur Berechnung des mindestens abzuführenden Massenstroms	45
Tabelle 3 — Gleichungen zur Berechnung der Massenstromdichte durch das Sicherheitsventil	46
Tabelle A.1 — Mögliche Ursachen für Überdruck in einem abzusichernden System	48

Nationales Vorwort

Dieses Dokument ist die Übersetzung der Internationalen Norm ISO 4126-10:2010, die im Technischen Komitee ISO/TC 185 „Safety devices for protection against excessive pressure“ erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von ANSI (USA) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 003-01-10 AA „Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“ im DIN-Normenausschuss Armaturen (NAA).

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 60534-2-1 siehe DIN EN 60534-2-1

ISO 4126-1 siehe DIN EN ISO 4126-1

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60534-2-1, *Stellventile für die Prozessregelung — Teil 2-1: Durchflusskapazität — Bemessungsgleichungen für Fluide unter Betriebsbedingungen*

DIN EN ISO 4126-1, *Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck — Teil 1: Sicherheitsventile*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in dem Erarbeiten von Internationalen Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 4126-10 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 185, *Safety devices for protection against excessive pressure*, erarbeitet.

ISO 4126 besteht unter dem allgemeinen Titel *Safety devices for protection against excessive pressure* aus den folgenden Teilen:

- *Part 1: Safety valves*
- *Part 2: Bursting disc safety devices*
- *Part 3: Safety valves and bursting disc safety devices in combination*
- *Part 4: Pilot-operated safety valves*
- *Part 5: Controlled safety pressure-relief systems (CSPRS)*
- *Part 6: Application, selection and installation of bursting disc safety devices*
- *Part 7: Common data*
- *Part 9: Application and installation of safety devices excluding stand-alone bursting disc safety devices*
- *Part 10: Sizing of safety valves for gas/liquid two-phase flow*

Einleitung

Zur Auslegung von Sicherheitsventilen und daran angeschlossenen Zuström- und Abströmleitungen bei stationärer Einphasenströmung aus nicht-kondensierenden Gasen/Dämpfen oder nicht-verdampfenden Flüssigkeiten gibt es fundierte Empfehlungen. Bei einer Zweiphasenströmung aus Dampf/Flüssigkeit ist jedoch der mindestens erforderliche Entlastungsquerschnitt zum Schutz eines Systems vor einem unzulässigen Überdruck größer als der für eine Einphasenströmung erforderliche Querschnitt, wenn die gleichen Zustandsbedingungen für den Druckbehälter und die gleiche Wärmefreisetzung betrachtet werden. Die Notwendigkeit eines größeren Entlastungsquerschnitts ergibt sich aus der Tatsache, dass die Flüssigkeit in einer Zweiphasenströmung teilweise den Entlastungsquerschnitt für die Dampfströmung blockiert, wodurch nur ein Teil der Energie mit dem Dampf aus dem Behälter entweicht.

Dieser Teil von ISO 4126 enthält vielfältig einsetzbare technische Werkzeuge zur Auslegung von typischen, fluiddurchströmten Sicherheitsventilen, die in verschiedenen Industriebereichen zum Einsatz kommen. Es basiert auf der Omega-Parameter-Methode, die um einen Parameter für das thermodynamische Ungleichgewicht erweitert wurde. Ohne diese Erweiterung zur Betrachtung des Ungleichgewichts entspricht das vorgeschlagene Verfahren der API RP 520. Es wird ein Ausgleich zwischen der Genauigkeit der Methode und den unvermeidbaren Unsicherheiten bei den Eingabedaten und Stoffeigenschaften unter den realen Bedingungen bei der Auslegung angestrebt. Es gibt weitere Verfahren zur Auslegung, auf die in diesem Teil von ISO 4126 Bezug genommen wird.

Bei einer Zweiphasenströmung sind der Fluidzustand und damit der Massenstrom, der abzuführen ist, von den Abmessungen des Sicherheitsventils abhängig. Des Weiteren hängt der durch ein Sicherheitsventil strömende Zweiphasen-Massenstrom grundlegend von dem Strömungsmassendampfgehalt des Fluidmassenstroms am Ventileintritt ab. Da diese Parameter für die Auslegung einer Entlastungseinrichtung in den meisten Fällen nicht vorliegen, enthält dieser Teil von ISO 4126 außerdem eine umfassende Methodik zur Bestimmung der Phasenzusammensetzung am Eintritt des Sicherheitsventils. Diese Zusammensetzung hängt von dem Ereignis ab, das zum Druckanstieg führt. Aus diesem Grund beginnt das empfohlene Verfahren zur Festlegung der Auslegung bei der Definition des Auslegungsfalls und schließt ein Verfahren zur Vorhersage des abzuführenden Massenstroms und dem sich daraus ergebenden Strömungsmassendampfgehalt am Eintritt des Sicherheitsventils ein.

Wenn die Strömung bis in den engsten Strömungsquerschnitt einphasig ist, dann kann ISO 4126-1 angewendet werden. Die Gleichungen von ISO 4126-1 sind ebenfalls im vorliegenden Teil von ISO 4126 enthalten und an die SI-Einheiten angepasst worden, um die Massenströme für die Grenzbedingungen einer Einphasenströmung zu berechnen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 4126 enthält Festlegungen für die Auslegung von Sicherheitsventilen für eine Zweiphasenströmung aus Gas/Flüssigkeit in druckführenden Systemen, z. B. Reaktoren, Lagertanks, Kolonnen, Wärmeübertragern, Rohrleitungssystemen oder Transporttanks/-behältern. Tabelle 1 enthält die möglichen Fluidzustände am Eintritt in das Sicherheitsventil, die eine Zweiphasenströmung ergeben können.

ANMERKUNG Der Ausdruck „Sicherheitsventil“ ist gleichbedeutend mit den in ISO 4126-1, ISO 4126-4 und ISO 4126-5 beschriebenen Ventilen.

Tabelle 1 — Mögliche Fluidzustände am Eintritt in das Sicherheitsventil, die eine Zweiphasenströmung ergeben können

Fluidzustand am Ventileintritt	Auslegungsfälle	Beispiele
flüssig	unterkühlt (möglicherweise Verdampfen (Flashing) im Sicherheitsventil) gesättigt mit gelöstem Gas	kaltes Wasser siedendes Wasser CO ₂ /Wasser
gasförmig/dampf- förmig	annähernd gesättigter Dampf (mögliche Kondensation im Sicherheitsventil)	Dampf
gasförmig/flüssig	dampfförmig/flüssig nicht verdampfende Flüssigkeit und nicht kondensierbares Gas (gleichbleibender Massengehalt) Gas/Flüssigkeits-Gemisch, wenn das Gas desorbiert oder gebildet wird	Dampf/Wasser Luft/Wasser

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 4126-1, *Safety devices for protection against excessive pressure — Part 1: Safety valves*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 4126-1 und die folgenden Begriffe.

3.1

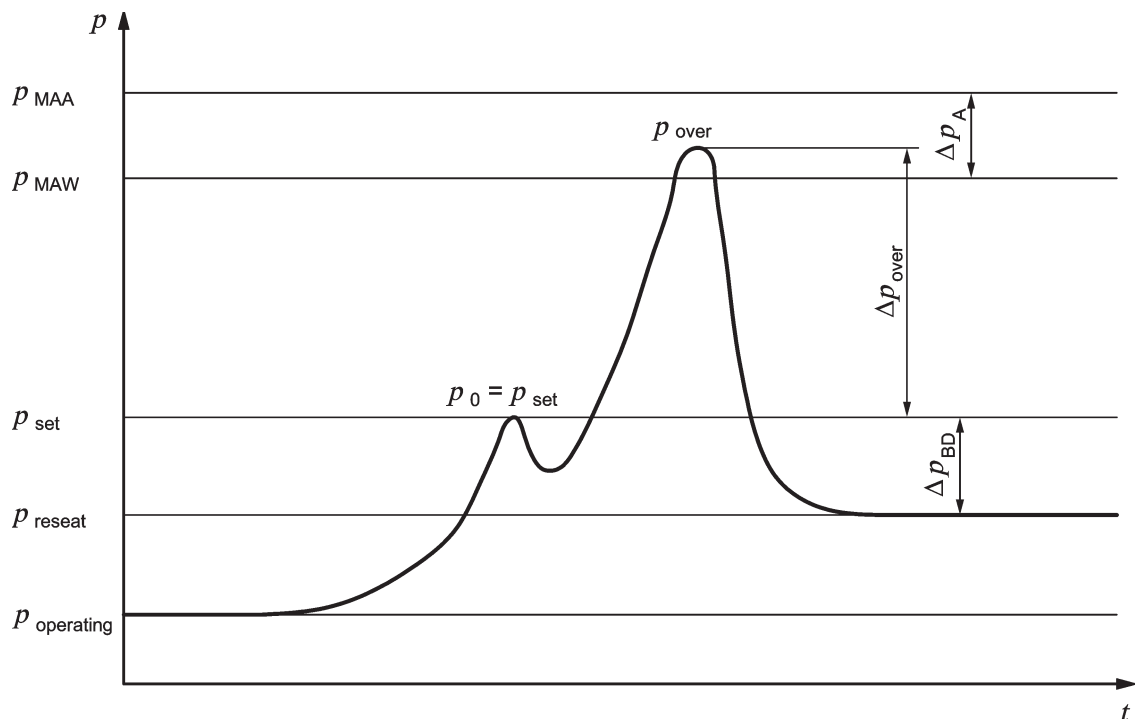
druckführendes System

Anlage, z. B. Reaktoren, Lagertanks, Kolonnen, Wärmeübertrager, Rohrleitungssysteme und Transporttanks/-behälter, die durch ein Sicherheitsventil gegen unzulässige Drucküberschreitung abgesichert ist

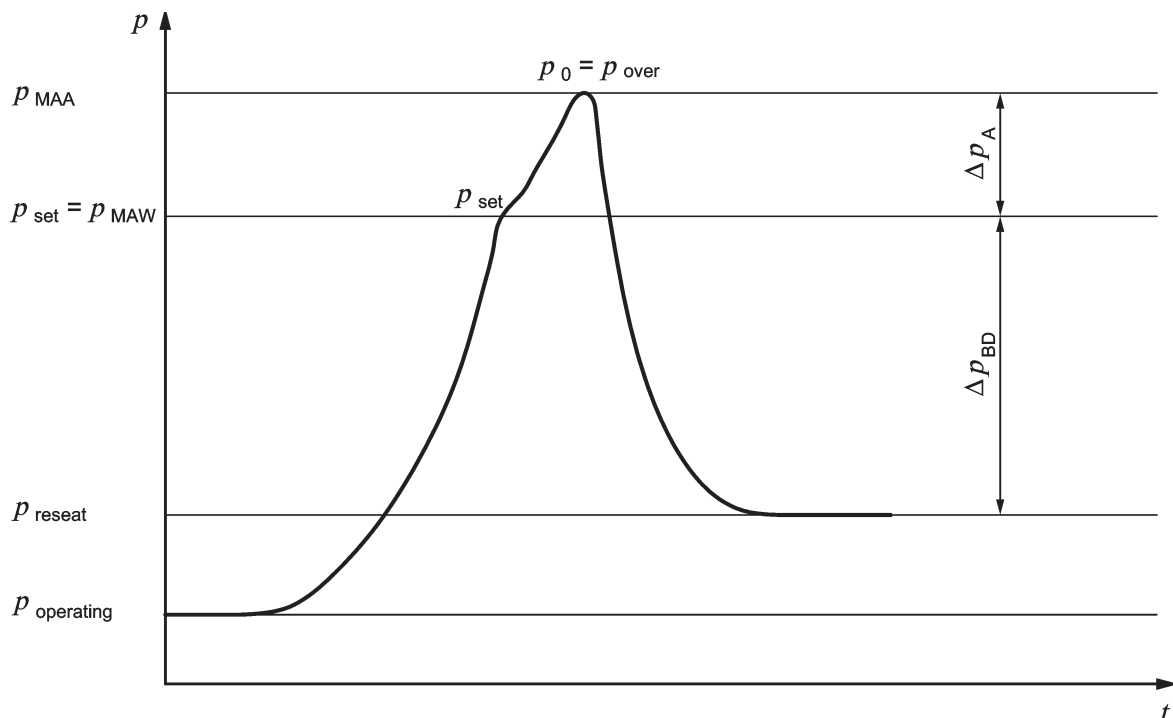
3.2 Druck

ANMERKUNG 1 Siehe Bilder 1 a) und 1 b) für eine Darstellung des Zusammenhangs zwischen den in 3.2.1 bis 3.2.7 definierten Drücken.

ANMERKUNG 2 Im Unterschied zu der in den anderen Teilen dieser Internationalen Norm verwendeten Definition, z. B. in ISO 4126-1, sind alle Drücke Absolutdrücke und keine Überdrücke.



- a) Zeitlicher Druckverlauf in einem üblichen dampfdruckbildenden Reaktionssystem mit ausreichenden Abmessungen



b) Üblicher zeitlicher Druckverlauf in einem außenbeheizten System mit Gasentlastung

Legende

p_{MAA}	maximal zulässiger akkumulierter Druck
p_{MAW}	maximal zulässiger absoluter Betriebsdruck
p_{set}	Öffnungsdruck
p_{reseat}	Schließdruck
$p_{operating}$	Betriebsdruck
Δp_{BD}	Schließdruckdifferenz
p_0	Auslegungsdruck gleich p_{set} , wie in Bild 1 a) gezeigt, und gleich p_{over} , wie in Bild 1 b) gezeigt
p_{over}	Überdruck
Δp_A	maximal zulässige Drucküberschreitung
Δp_{over}	Öffnungsdruckdifferenz

Bild 1 — Zusammenhang zwischen den definierten Drücken**3.2.1****maximal zulässiger absoluter Betriebsdruck** p_{MAW}

maximal zulässiger Druck im Gasraum eines druckführenden Systems in Betriebsstellung bei Auslegungstemperatur

3.2.2**maximal zulässiger akkumulierter Druck** p_{MAA}

Summe aus maximal zulässigem Betriebsdruck und maximal zulässiger Drucküberschreitung

ANMERKUNG: Die maximal zulässige Drucküberschreitung wird anhand geltender Vorschriften für Betriebs- und Brandereignisse festgelegt.

3.2.3**maximal zulässige Drucküberschreitung** Δp_A

Druckanstieg oberhalb des maximal zulässigen Betriebsdrucks eines druckführenden Systems während des Entlastens durch das Sicherheitsventil

ANMERKUNG: Die maximal zulässige Drucküberschreitung wird als Druck oder als Prozentsatz des maximal zulässigen Betriebsdrucks angegeben.

3.2.4**Öffnungsdruck** p_{set}

vorgegebener Absolutdruck, bei dem ein Sicherheitsventil unter Betriebsbedingungen spätestens beginnt sich zu öffnen

ANMERKUNG 1: Der Öffnungsdruck ist der Ansprechdruck nach ISO 4126-1, angegeben als Absolutdruck.

ANMERKUNG 2: Siehe Bilder 1 a) und 1 b) für Einzelheiten.

3.2.5**absolute Öffnungsdruckdifferenz** Δp_{over}

Drucksteigerung über dem Öffnungsdruck des Sicherheitsventils, p_{set}

ANMERKUNG 1: Die größte absolute Öffnungsdruckdifferenz entspricht der maximalen Drucküberschreitung Δp_A , wenn der Öffnungsdruck des Sicherheitsventils auf den maximal zulässigen Betriebsdruck des druckführenden Systems eingestellt ist.

ANMERKUNG 2: Die absolute Öffnungsdruckdifferenz wird in Druckeinheiten oder als prozentualer Anteil am Öffnungsdruck angegeben.

3.2.6**Überdruck** p_{over}

maximaler Druck im druckführenden System während der Entlastung, d. h. der Druck ist kleiner als oder gleich dem maximalen akkumulierte Druck

3.2.7**Auslegungsdruck** p_0

Druck, bei dem alle Stoffdaten, insbesondere der Kompressibilitätsfaktor ω , für die Auslegung des Sicherheitsventils berechnet werden

ANMERKUNG: Für dampfdruckbildende und hybride Reaktionssysteme muss der Auslegungsdruck dem Öffnungsdruck entsprechen. Für nicht reaktive und gasbildende Systeme darf der Konstrukteur einen höheren Wert für den Auslegungsdruck wählen, der jedoch den maximal zulässigen akkumulierten Druck nicht überschreiten darf.

3.2.8**kritischer Druck** p_{crit}

fluidodynamischer kritischer Druck, der im engsten Strömungsquerschnitt des Sicherheitsventils und/oder in einem erweiterten Bereich in der Abströmleitung auftritt

ANMERKUNG: Bei diesem Druck nähert sich der Massenstrom bei vorgegebenen Auslegungsbedingungen im druckführenden System einem Höchstwert. Ein weiteres Absinken des Drucks stromabwärts bewirkt keinen weiteren Anstieg des Massenstroms. Üblicherweise tritt der kritische Druck im Sicherheitsventil entweder im Ventilsitz, in der Düse des

Ventils (engster Zuströmquerschnitt) und/oder im Ventilkörper auf. In langen Abströmleitungen von Sicherheitsventilen können auch mehrere kritische Drücke auftreten.

3.2.9

kritisches Druckverhältnis

η_{crit}

Verhältnis von kritischem Druck zum Auslegungsdruck

3.2.10

Gegendruck

p_b

Überdruck auf der Austrittsseite eines Sicherheitsventils, der durch den Druck im Entlastungssystem entsteht

ANMERKUNG: Der Gegendruck kann entweder konstant oder veränderlich sein; er ist die Summe aus Fremdgedruck und Eigengegendruck.

3.2.11

Eigengegendruck

Überdruck auf der Austrittsseite eines Sicherheitsventils, der beim Entlasten des Ventils in das Entlastungssystem entsteht

3.2.12

Fremdgedruck

Überdruck, der auf der Austrittsseite eines Sicherheitsventils zum Zeitpunkt unmittelbar vor dem Öffnen herrscht

ANMERKUNG: Fremdgedruck resultiert aus Überdruck im Entlastungssystem, der aus anderen Quellen herrührt.

3.2.13

Eintrittsdruckverlust

Δp_{loss}

irreversibler Druckabfall, der auf die Strömung in der Rohrleitung zwischen dem abgesicherten druckführenden System und dem Eintritt des Sicherheitsventils zurückzuführen ist

3.2.14

Schließdruckdifferenz

Δp_{BD}

Differenz zwischen dem Öffnungs-^{N1)} und dem Schließdruck

ANMERKUNG: Die Schließdruckdifferenz wird üblicherweise als prozentualer Anteil des Öffnungsdrucks angegeben.

3.3 Massenstrom

3.3.1

mindestens abzuführender Massenstrom aus einem druckführenden System

$Q_{\text{m,out}}$

Massenstrom, der aus einem druckführenden System abzuführen ist, damit der Druck den maximal zulässigen akkumulierten Druck im druckführenden System während der Entlastung nicht überschreitet

3.3.2

dem druckführenden System zugeführter Massenstrom

$Q_{\text{m,feed}}$

durch eine Zuführleitung oder durch ein Stellventil strömender maximaler Massenstrom, der dem abzusichernden druckführenden System zugeführt wird

N1) Nationale Fußnote: Fehler in der Referenzfassung. Gemeint ist der Ansprechdruck.

3.3.3

durch das Sicherheitsventil abführbare Massenstromdichte

$\dot{m}_{sv}$

durch ein Sicherheitsventil bei Auslegungsbedingungen abgeführter Massenstrom je Flächeneinheit, der mithilfe der zuerkannten Ausflussziffern für die Gas- und Flüssigkeitsströmung berechnet wird

ANMERKUNG: Siehe Gleichung (35).

3.3.4

Ausflussziffer für die Gas- und Flüssigkeitsströmung

$K_{dr,g}$ <für Gas>

$K_{dr,l}$ <für Flüssigkeit>

Korrekturfaktor, definiert durch das Verhältnis des theoretisch durch das Sicherheitsventil abführbaren Massenstroms zu einem experimentell bestimmten Massenstrom, der durch ein baugleiches Ventil abgeführt wird

ANMERKUNG: Die Ausflussziffer ist bezogen auf den Ventilsitzquerschnitt und berücksichtigt die tatsächliche Strömung in einem Sicherheitsventil verglichen mit der Strömung zu dem Referenzmodell (ideale Ventildüse). Zuerkannte Werte für die Gas- und die Flüssigkeitsströmung $K_{d,l}$ werden üblicherweise vom Ventilhersteller bereitgestellt oder in Durchströmungsversuchen bestimmt. Gewichtete Ausflussziffern, K_{dr} , mit einem Wert von 0,9 $K_{d,l}$, werden angewendet, um den Auslegungsquerschnitt des Sicherheitsventils zu berechnen.

3.4 Strömungsquerschnitt

3.4.1

Auslegungsquerschnitt des Sicherheitsventils

A_0

wichtigstes Ergebnis des Auslegungsvorgangs in Übereinstimmung mit dem vorliegenden Teil von ISO 4126, das für die Auswahl eines Sicherheitsventils mit ausreichenden Abmessungen notwendig ist

ANMERKUNG: Es ist wichtig, dass die gewichtete Ausflussziffer und der durch das Sicherheitsventil abführbare Massenstrom sich auf diesen spezifischen Querschnitt beziehen. Der Auslegungsquerschnitt ist als der Ventilsitzquerschnitt/-durchmesser definiert.

3.4.2

effektiver engster Strömungsquerschnitt der Zuführleitung oder des Stellventils

A_{feed}

engster Strömungsquerschnitt für den Durchfluss in einer Zuführleitung oder einem Stellventil in der Leitung zum druckführenden System

3.5 Fluidzustand

3.5.1

Gas/Flüssigkeits-Gemisch

Fluidgemisch aus sowohl einem flüssigen Bestandteil als auch einem gasförmigen Bestandteil, in dem das Gas nicht unbedingt die gleiche chemische Zusammensetzung aufweist wie die Flüssigkeit

3.5.2

dampfdruckbildendes System

Fluidsystem, in dem ein Teil der Energiemenge durch Verdampfen (Flashing) aus der Flüssigphase entweicht

3.5.3

gasbildendes System

Fluidsystem, in dem Gas gebildet wird (z. B. durch chemische Reaktion oder durch Freisetzung von gelöstem Gas) und in dem bei Auslegungsbedingungen keine signifikante Energiemenge durch Verdampfen aus der Flüssigkeit entweicht

3.5.4

hybrides System

Fluidsystem, das bei Auslegungsbedingungen signifikante Merkmale von sowohl dampfdruckbildenden als auch von gasbildenden Systemen aufweist

3.5.5

thermische Durchgehreaktion

unkontrollierte exotherme chemische Reaktion

3.6

thermodynamischer kritischer Druck

p_c
Zustandsgröße, zusammen mit der thermodynamischen kritischen Temperatur, am thermodynamischen kritischen Punkt

3.7

thermodynamische kritische Temperatur

T_c
Zustandsgröße, zusammen mit dem thermodynamischen kritischen Druck, am thermodynamischen kritischen Punkt

3.8

Auslegungstemperatur

T_0
Temperatur im druckführenden System bei Auslegungsbedingungen

3.9

Übertemperatur

T_{over}
maximale Temperatur im druckführenden System während der Entlastung

3.10

Sättigungstemperaturdifferenz

ΔT_{over}
Differenz zwischen der Sättigungstemperatur bei maximalem Druck während der Entlastung, p_{over} , und der Sättigungstemperatur bei Auslegungsdruck, p_0

3.11

Auslegungsbedingung

Bedingung im druckführenden System, die durch den Auslegungsdruck und die Auslegungstemperatur gekennzeichnet ist

3.12

Grenzfüllgrad

ϕ_{limit}
maximaler anfänglicher Flüssigkeitsfüllgrad (Flüssigkeitshöhe) im druckführenden System bei Auslegungsbedingungen, bei dem während der Entlastung noch eine Einphasenströmung aus Gas oder Dampf auftritt

ANMERKUNG: Bei höheren Füllständen wird davon ausgegangen, dass eine Zweiphasenströmung auftritt.

3.13

anfänglicher Flüssigkeitsfüllgrad

ϕ_0
anfänglicher Flüssigkeitsfüllgrad (Flüssigkeitshöhe) im druckführenden System bei Auslegungsbedingungen

3.14**Zuströmleitung**

Rohrleitungen und daran angeschlossene Formstücke, die das druckführende System mit dem Sicherheitsventil-Eintritt verbinden

3.15**Abströmleitung**

Rohrleitungen und daran angeschlossene Formstücke, die den Sicherheitsventil-Austritt mit einem geschlossenen System oder der Atmosphäre verbinden

4 Symbole und Abkürzungen

Symbol	Definition	Einheit
A_{feed}	effektiver engster Strömungsquerschnitt in der Zuführleitung oder im Stellventil	m^2
A_{fire}	benetzte Gesamtoberfläche, die der Brandeinwirkung unterliegt	m^2
A_{heat}	Wärmeaustauschfläche im druckführenden System bei externem Wärmeeintrag	m^2
A_0	mindestens erforderlicher Sitzquerschnitt des Sicherheitsventils (Auslegungsquerschnitt des Sicherheitsventils)	m^2
A_v	Querschnittsfläche in einem stehenden zylindrischen Behälter	m^2
B_{heat}	(maximaler) Gesamtwärmedurchgangskoeffizient; siehe Gleichung (23)	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
C	Durchflusskoeffizient	—
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
D	Innendurchmesser eines stehenden zylindrischen Behälters	m
$\frac{dp}{dt}$	Druckanstiegsgeschwindigkeit im druckführenden System	Pa/s
$\frac{dT}{dt}$	Temperaturanstiegsgeschwindigkeit im druckführenden System	K/s
F	Umgebungsfaktor bei Wärmeeintrag durch Brandeinwirkung (siehe 6.4.3.2)	—
g_n	Beschleunigung im Schwerfeld der Erde	m/s^2
H_l	Flüssigkeitsfüllhöhe in einem stehenden zylindrischen Behälter (vom Behälterboden bis zur Flüssigkeitsoberfläche)	m
k_{∞}	Anpassungsparameter zur Berechnung der charakteristischen Gasaufstiegsgeschwindigkeit	—
$K_{\text{dr},2\text{ph}}$	Ausflussziffer des Ventils für Zweiphasenströmung	—
$K_{\text{dr},g}$	Zuerkannte Ausflussziffer des Ventils für Einphasenströmung aus Gas oder Dampf	—
$K_{\text{dr},l}$	Zuerkannte Ausflussziffer des Ventils für Einphasenströmung aus Flüssigkeit	—
K_{vs}	Ausflussziffer des voll geöffneten Stellventils in der Zuführleitung bei Standardbedingungen	m^3/h
$\dot{m}$	Massenstromdichte	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

Symbol	Definition	Einheit
$\dot{m}_{SV}$	durch das Sicherheitsventil abführbare Massenstromdichte	kg/(m ² · s)
M_0	gesamte Flüssigkeitsmasse im druckführenden System bei Auslegungsbedingungen	kg
M	Molmasse	kg/kmol
N	Siedeverzugsfaktor zur Berücksichtigung des thermodynamischen Ungleichgewichts	—
p	Druck im druckführenden System	Pa
p_b	Gegendruck	Pa
p_c	thermodynamischer kritischer Druck	Pa
p_{crit}	strömungsdynamischer kritischer Druck	Pa
p_{MAW}	maximal zulässiger absoluter Betriebsdruck	Pa
p_{MAA}	maximal zulässiger akkumulierter Druck	Pa
p_0	Auslegungsdruck	Pa
p_{over}	maximaler Druck in einem druckführenden System während der Entlastung; siehe Bilder 1 a) und 1 b)	Pa
p_{set}	Ansprechdruck	Pa
q_{fire}	dimensionsloser Fluidstrom unter Brandeinwirkung	—
$Q_{m,out}$	mindestens abzuführender Massenstrom aus einem druckführenden System	kg/s
$Q_{m,feed}$	dem druckführenden System zugeführter Massenstrom	kg/s
$Q_{m,SV}$	durch das Sicherheitsventil abführbarer Massenstrom	kg/s
$\dot{Q}$	Wärmeeintrag in das druckführende System, entweder infolge einer Durchgeheaktion oder durch Wärmezufuhr von außen	W
$\dot{Q}_{acc}^*$	Verhältnis von fühlbarer Wärme zu latenter Wärme	—
$\dot{Q}_{in}^*$	Verhältnis von zugeführtem Gesamtwärmestrom zur Energiemenge, die je Zeiteinheit mit dem Dampf entweicht	—
$\dot{Q}_{mean}^*$	mittlerer dimensionsloser Wärmeeintrag; siehe Tabelle 2, Gleichung (50)	—
$\dot{Q}_0$	Wärmeeintrag in das druckführende System bei Auslegungsbedingungen; siehe Tabelle 2, Gleichung (52)	W
R	universelle Gaskonstante (8 314,2 J/(kmol · K))	J/(kmol · K)
T	Temperatur im druckführenden System	K
T_c	thermodynamische kritische Temperatur	K
T_{heat}	maximal erreichbare Temperatur der externen Wärmequelle	K
T_0	Temperatur des druckführenden Systems bei Auslegungsbedingungen	K
T_{over}	maximale Temperatur im druckführenden System während der Entlastung	K

Symbol	Definition	Einheit
$u_{g,0}$	Gas-Leerrohrgeschwindigkeit im Gasraum eines stehenden zylindrischen Behälters bei Auslegungsbedingungen	m/s
u_{∞}	charakteristische Aufstiegsgeschwindigkeit der Gas-/Dampfblasen in der Flüssigkeit	m/s
v	spezifisches Volumen im druckführenden System	m ³ /kg
V	Volumen des druckführenden Systems	m ³
$\dot{x}$	Strömungsmassendampfgehalt/-gasgehalt, d. h. das Verhältnis des Gasmassenstroms zum Gesamtmassenstrom eines Zweiphasengemischs	—
Z	Realgasfaktor	—
ε_0	Volumetrische Gasgehalt im druckführenden System bei Auslegungsbedingungen bei einem homogenen Zweiphasengemisch	—
$\varepsilon_{\text{seat}}$	Volumetrische Gasgehalt im engsten Strömungsquerschnitt; siehe Gleichung (37)	—
η	Druckverhältnis, entweder η_{crit} oder η_b	—
η_b	Verhältnis von Gegendruck zum Auslegungsdruck des Sicherheitsventils	—
η_{crit}	kritisches Druckverhältnis	—
η_s	Verhältnis des Sättigungsdrucks bei Auslegungstemperatur zum Auslegungsdruck (Maß der Flüssigkeitsunterkühlung), siehe Gleichung (55)	—
κ	Isentropenexponent	—
ρ	Fluiddichte	kg/m ³
ρ_{H_2O}	Dichte des Wassers bei Durchströmungsversuchen zur Messung des K_{vs} -Werts bei einer Temperatur von 5 °C	kg/m ³
σ	Oberflächenspannung	N/m
ϕ_{limit}	Grenzfüllgrad	—
ϕ_0	anfänglicher Flüssigkeitsfüllgrad bei Auslegungsbedingungen	—
ω	Kompressibilitätsfaktor	—
ω_{eq}	Kompressibilitätsfaktor im Gleichgewichtszustand ($N = 1$)	—
Γ	Gasbildungsrate je kg Flüssigkeit, d. h. der Gasmassenstrom je kg Flüssigkeitsinhalt im druckführenden System	(kg/s)/kg
Δh_v	Verdampfungswärme	J/kg
Δp	Druckabfall in der Zuström- oder Abströmleitung	Pa
Δp_A	maximal zulässige Drucküberschreitung (Drucküberschreitung, wie in ISO 4126-1 festgelegt)	Pa
Δp_{feed}	Druckverlust zwischen der Austrittsseite des Stellventils in der Zuführleitung und dem druckführenden System	Pa