

Neue Entwicklungen bei Sicherheitsventilen nach EN, AD/TRD oder ASME

((Engl. Überschrift))

In Europa dürfen Sicherheitsventile nur noch eingesetzt werden, wenn sie die Druckgeräterichtlinie (DGRL) 97/23 EG erfüllen. Dazu werden sie gemäß DGRL in Kategorie IV eingestuft und eine benannte Stelle prüft die Erfüllung der Anforderungen der DGRL nach einem gewählten Konformitätsbewertungsverfahren ebenfalls aus der DGRL.

In einer Konformitätserklärung des Herstellers, die der Lieferung des Sicherheitsventils beigelegt wird, werden die angewandten harmonisierten Normen oder andere technische Regelwerke angegeben. Nur hierdurch ist letztlich zu erkennen, was die Grundlage für die CE-Zertifizierung ist und welche zertifizierten Eigenschaften sich daraus ableiten lassen. Das Tragen des CE-Zeichens auf dem Typenschild ist alleine hierfür nicht aussagekräftig.

Eine Gegenüberstellung der angewandten harmonisierten EN-Normen mit den technischen Richtlinien AD, TRD in diesem Beitrag zeigt im Vergleich Unterschiede in den zertifizierten Eigenschaften und in den Anwendungen von Feder-Sicherheitsventilen auf. Dies wird anhand des Beispiels einer neu entwickelten Produktreihe erläutert.

Als Ergänzung wird das ASME-Regelwerk im Vergleich berücksichtigt, da es außerhalb Europa eine bedeutende Rolle spielt.



Dr. Ing. Bernhard Föllmer

Bopp & Reuther Sicherheits- und Regelarmaturen GmbH, Mannheim;
Tel. 0621-749-1406,
E-Mail: bernhard.foellmer@sr.boppureuther.com

Vergleich der Struktur der Regelwerke

Harmonisierte Europäische Normen

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, einer Europäischen Norm ohne Änderung den Status einer nationalen Norm zu geben. CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechi-

schen Republik und dem Vereinigten Königreich von England (UK).

Bezüglich Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung gilt folgende Einteilung:

a) Produktnormen

Sie beinhalten Definitionen, konstruktive Anforderungen, Herstellungsprüfungen, Bauartprüfungen, Funktionscharakteristik, Größenbestimmung, Kennzeichnung. Im Einzelnen sind das:

EN ISO 4126-1 Sicherheitsventile

EN ISO 4126-2 Berstscheibeneinrichtungen

EN ISO 4126-3 Sicherheitsventile und Berstscheibeneinrichtungen in Kombination

EN ISO 4126-4 Pilotgesteuerte Sicherheitsventile

EN ISO 4126-5 Gesteuerte Sicherheitsventile

EN ISO 4126-6 Berstscheibeneinrichtungen; Anwendung, Auswahl und Einbau

EN ISO 4126-7 Allgemeine Daten

b) Anwendungsnormen

Sie beinhalten Auswahl der Sicherheitseinrichtungen, Einbau, Anforderungen, Druckverlust, Eintrittsleitung und Gegendruck, wiederkehrende Prüfung. Im Einzelnen sind das:

DIN EN 12952-10 Wasserrohrkessel, Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung

DIN EN 12953-8 Großwasserraumkessel, Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung

DIN EN 764-7 unbefeuerte Druckbehälter, Teil 7: Sicherheitseinrichtungen

Andere technische Regelwerke in Deutschland

AD 2000-A2 für Druckbehälter und TRD 421 für Dampfkessel behandeln Sicherheitsventile, Gesteuerte Sicherheitsventile und Sicherheitsabsperrventile. Sie beinhalten Definitionen, Funktionscharakteristik, Bauarten, konstruktive Anforderungen, Größenbestimmung, Ein-

bau, Anforderungen Druckverlust Eintrittsleitung und Gegendruck, wiederkehrende Prüfung, Kennzeichnung. Sie sind also umfassend.

Hinweis: Das AD 2000-Regelwerk kann zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräterichtlinie angewandt werden.

VdTUV Merkblatt Sicherheitsventil 100 beinhaltet für Sicherheitsventile und Gesteuerte Sicherheitsventile Anforderungen an die Durchführung der Bauartzulassung.

ASME-Regelwerk

Im ASME-Regelwerk werden Sicherheitsventile eingeteilt in:

- ▷ ASME Sec. I für Dampferzeuger (V-Stamp)
- ▷ ASME Sec. VIII für Druckbehälter (UV-Stamp)
- ▷ ASME Sec. III für Kernkraftwerke (NV-Stamp)

Vergleich der Leistungsmerkmale für Sicherheitsventile

Vergleich der Funktionscharakteristik

Die Funktionscharakteristik von Federsicherheitsventilen ist das Ergebnis des Zusammenspiels von Strömungskraft und Federkraft. Bezogen auf den Ansprechüberdruck, bei welchem das

Tabelle 1: Vergleich der Funktionswerte für Sicherheitsventile für Gase/Dämpfe

	AD A2/TRD 421	EN 4126-1	ASME VIII	ASME I
	Gase/Dämpfe	Gase/Dämpfe	Gase/Dämpfe	Wasserdampf
Öffnen	max. 5 %/10 % oder 0,1 bar	Herstellerangabe max. 10% oder 0,1 bar	max. 10 % oder 0,2 bar	3 %
Schließen	max. 10 % oder 0,3 bar	Herstellerangabe max. 15% oder 0,3 bar	max. 7 % *) oder 0,2 bar	max. 4 % oder 0,28 bar

Tabelle 2: Vergleich der Funktionswerte für Sicherheitsventile für Flüssigkeiten

	AD A2/TRD 421	EN 4126-1	ASME VIII	ASME I
	Flüssigkeiten	Flüssigkeiten	Flüssigkeiten	Flüssigkeiten
Öffnen	max. 10 % oder 0,1 bar	Herstellerangabe max. 10% oder 0,1 bar	max. 10 % oder 0,2 bar	N/A
Schließen	max. 20 % oder 0,6 bar	Herstellerangabe max. 20% oder 0,6 bar	keine Anforderung	N/A

Sicherheitsventil zu öffnen beginnt, wird für das Öffnen die prozentuale Drucksteigerung (Öffnungsdruckdifferenz = accumulation) bis zum Erreichen des festgelegten Hubes definiert. Für das Schließen wird entsprechend die prozentuale Druckabsenkung (Schließdruckdifferenz = blowdown) definiert. In **Tabelle 1** sind die von den verschiedenen Regelwerken spezifizierten Funktionswerte für Gase/Dämpfe und in **Tabelle 2** für Flüssigkeiten gegenübergestellt.

Hinweis: Generell bedeutet die Angabe z. B. „max. 10 % oder 0,3 bar“, dass immer der jeweils größere Wert gilt.

Erläuterungen zu Tabelle 1 und 2: Bei allen Regelwerken sind die Funktionswerte fixiert, außer bei EN ISO 4126-1! Hier gilt, dass die Funktionswerte geprüft und zertifiziert werden, die vom Hersteller beantragt werden. Es ist nur eine Obergrenze festgelegt worden, gegenüber der die Herstellerangabe kleiner sein darf. Hieraus folgt, dass der Planer die gewünschten Funktionswerte immer spezifizieren muss und beim Hersteller abfragen muss!

Als Beispiel sei die Schließdruckdifferenz für Gase/Dämpfe betrachtet: Nach AD-A2/TRD 421 ist diese auf 10 % festgelegt, und nach EN ISO 4126-1 kann sie auch 15 % sein. Wenn das Sicherheitsventil ursprünglich eine ASME VIII-Zulassung hatte und einen Einstellring hat, würde der Hersteller unter EN ISO 4126-1 auch 7 % deklarieren. Es ist also recht wahrscheinlich, dass unter der Zertifizierung nach EN ISO 4126-1 bei den unterschiedlichen Anbietern die Schließdruckdifferenz 7 %, 10 % oder möglicherweise bis zu 15 % beträgt. Da dies deutliche Unterschiede in der Ausnutzung des Betriebsdruckes hat, der

kleiner als der Schließdruck des Sicherheitsventils sein muss, ist es notwendig, dass der Planer die gewünschten Funktionswerte zukünftig immer spezifizieren muss und beim Hersteller abfragen muss!

Vergleich der Durchflussleistung

Die Durchflussleistung eines Sicherheitsventils wird durch das Produkt $\alpha_w \cdot A_0$ definiert. Hierin bedeutet α_w die zertifizierte Ausflussziffer (oder Durchflusskoeffizient) und A_0 ist der engste Strömungsquerschnitt in der Düse vor dem

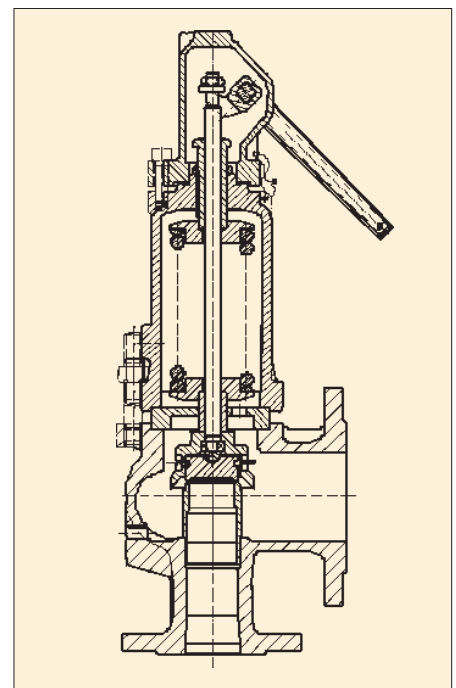


Bild 1: Neues EN-Sicherheitsventil Typ Si 43 (geschlossene Haube)

Ventilsitz. Die zertifizierte Ausflussziffer (oder Durchflusskoeffizient) kann auch das Formelzeichen K_{dr} (discharge coefficient) haben. Sie ist immer um ca. 10 % reduziert; entweder gilt $\alpha_w = \alpha / 1,1$ oder $K_{dr} = K_d \cdot 0,9$.

Allerdings gibt es Unterschiede in der Ermittlung der Ausflussziffern. Grundsätzlich entsprechen sich die Bestimmungsgleichungen nach AD-A2/TRD 421 und EN ISO 4126-1, auch wenn die Formeln anders aussehen.

Für Sattdampf wird in AD-A2 und TRD 421 in den Bestimmungsgleichungen der Druckmittelbeiwert x mit dem Isentropenexponenten von der „Nassseite“ gebildet. Diese Vorgehensweise ist konservativ und wurde von EN ISO 4126-1 bzw. -7 übernommen! Jedoch erfolgte eine Veränderung in der Anwendung: Da infolge von ein paar Grad Überhitzung über Sattdampfbedingung der Isentropenexponent von ca. 1,1 auf 1,3 springt, nimmt bei der Berechnung auch der Massenstrom im Bereich kleiner 200 bar um ca. 5 % bis 10 % schlagartig zu! Dies kann natürlich nicht sein und deshalb wurde in der EN ISO 4126-7 (Allgemeine Daten) der Wasserdampf von der Sattdampflinie bis 10 °C Überhitzung als trockener Sattdampf behandelt. Für Dampf mit einer Überhitzung von 10 °C bis 30 °C Überhitzung wurden die Werte v (spez. Volumen), κ (Isentropenexponent) linearisiert angepasst.

Bei ASME weicht die Bemessungsgleichung für Wasserdampf ab. Hier wird eine empirische Gleichung, die sogenannte Napier-Formel angewendet, die für Sattdampf im Druckbereich kleiner 200 bar einen um ca. 3 % größeren Massenstrom und größer 210 bar einen um bis 5 % kleineren Massenstrom ergibt. Für überhitzten Dampf gibt es dann in der „API Recommended Practice 520“ einen Korrekturfaktor K_{SH} in Tabellenform angegeben, dessen Genauigkeit im Vergleich geprüft werden kann.

Bestimmung des Durchflusskoeffizienten nach ASME

Die Durchflusskoeffizienten von maximal 3 · 3 Testventilen müssen bei 10 % über dem Ansprechdruck innerhalb ± 5 % ihres Mittelwertes liegen. Dann wird der Mittelwert multipliziert mit 0,9 als zertifizierter Durchflusskoeffizient deklariert. Hierdurch erspart man sich die Abhängigkeit des Durchflusskoeffizienten vom Druckverhältnis bei Gasen/Dämpfen und nimmt in Kauf, dass die Sicherheitsmarge im Durchfluss zwischen 5 % und 15 % liegt. Die Abhängigkeit der Ausflussziffer oder des Durchflusskoeffizienten vom Hub wird nicht ermittelt, so

dass die Möglichkeit einer genauen Hubbegrenzung bei Überdimensionierung nicht eingeschlossen ist.

Die Prüfbedingung ist verlustarmer Einlauf und Entspannung in die Atmosphäre ohne Gegendruck. Ein ausführlicher Bericht über die Anforderungen, Entwicklung und Zulassung einer neuen Sicherheitsventilbaureihe nach ASME VIII und zugleich TÜV-BKZ im Jahr 1995 ist in [1] enthalten.

Bestimmung des Durchflusskoeffizienten nach VdTÜV 100 für AD und TRD

Anstelle von 3 · 3 Einzeltests werden anhand von Funktionsschrieben die Funktionswerte und der zu erreichende Mindesthub über den Einstellbereich der Feder festgestellt. Diese Messungen werden über repräsentative Ventilgrößen

und Drücke durchgeführt. Dann wird die Ausflussziffer von repräsentativen Ventilgrößen abhängig von Hub und bei Gasen/Dämpfen auch vom Druckverhältnis p_a/p festgelegt. Von den gemessenen α_w -Kurven im Streufeld wird jeweils die unterste genommen und durch Division durch 1,1 werden die zertifizierten α_w -Kurven festgelegt. Hierdurch ist eine Leistungsreserve von 10 % im Gegensatz zu ASME immer sichergestellt und es können durch die Bestimmung der Ausflussziffer über den Hub genaue Leistungsbegrenzungen durch Hubbegrenzungen bei Bedarf angewendet werden.

Die Prüfbedingung kann mit verlustarmen Einlauf oder maximal scharfkantigem Einlauf erfolgen. Der Einfluss der Eingegendruckes wird seit neuestem festgestellt.

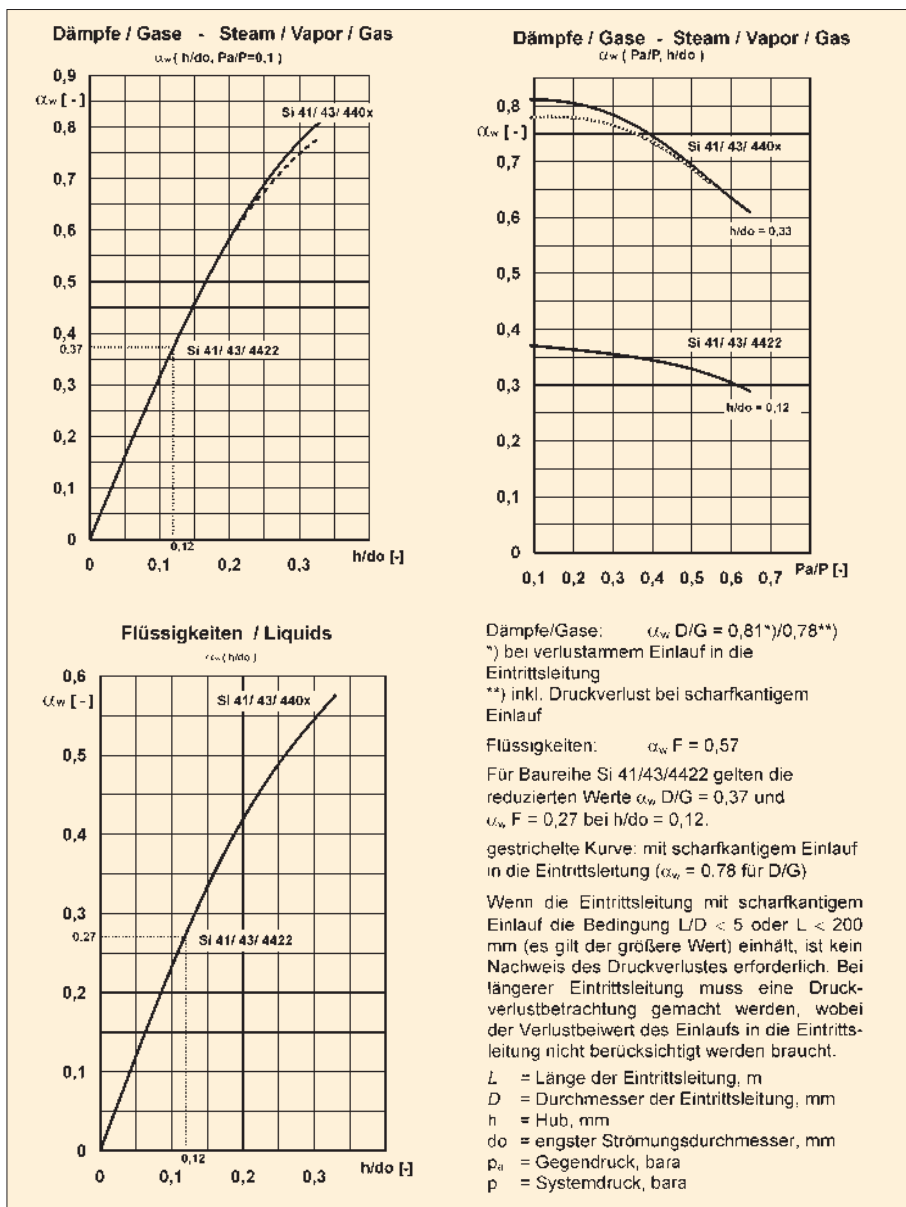


Bild 2: Ausflussziffer α_w

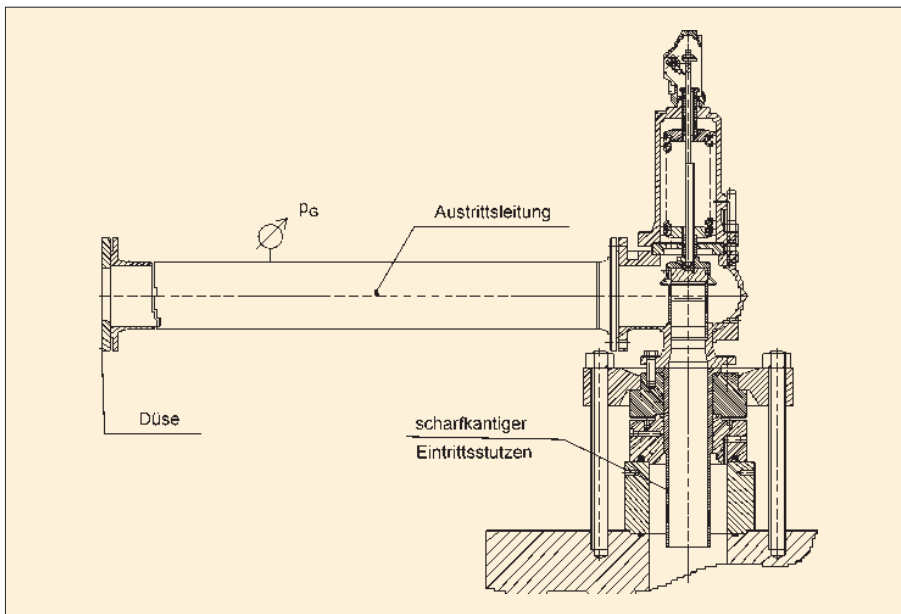


Bild 3: Prüfbedingung mit durchgestecktem scharfkantigem Eintrittsstutzen $L = 5 \cdot D$ und einstellbarem angedrosseltem Gegendruck durch Düse am Ende der Austrittsleitung; Funktionsnachweis bei $p_G = 20\%$ vom Ansprechüberdruck

Die Prüfbedingungen werden im Prüfbericht festgehalten und Folgerungen für die Anwendung benannt. Die wesentlichen Ergebnisse der Bauteilprüfung werden in einem VdTÜV-Merkblatt unter der sog. BKZ-Nummer veröffentlicht und sind allgemein zugänglich.

Bestimmung des Durchflusskoeffizienten nach EN ISO 4126-1

Prinzipiell ist das Verfahren nach VdTÜV 100 oder ASME möglich, aber es muss erkenntlich gemacht werden bzw. erfragt werden. Es ist allerdings keine Veröffentlichung wie bei der TÜV Bauteilprüfung z. B. in einem VdTÜV-Merkblatt vorgesehen.

Auslegung und Einstellung des Sicherheitsventils nach DIN EN 764-7

Der Abblasedruck für die Größenbestimmung, d. h. für die Berechnung des engsten Strömungsquerschnitts eines Sicherheitsventils ist für alle Öffnungsdruckdifferenzen das 1,1fache des maximal zulässigen Betriebsdruckes. Wenn also z. B. die Öffnungsdruckdifferenz 5 % ist, erfolgt die Größenbestimmung bei Ansprechüberdruck plus 10 %.

Grundsätzlich ist es möglich, dass der Ansprechdruck kleiner ist als der maximal zulässige Betriebsdruck, so dass trotzdem der Abblasedruck für die Größenbestimmung das 1,1fache des maximal zulässigen Druckes ist.

Außerdem ist es nach DIN EN 764-7 möglich, dass bei Öffnungsdruckdiffe-

renzen kleiner/gleich 5 % der Ansprechdruck des Sicherheitsventils auf bis zu 105 % des maximal zulässigen Betriebsdruckes gestellt werden kann, wenn mind. ein Sicherheitsventil von mehreren auf den maximal zulässigen Betriebsdruck eingestellt ist. Abweichend davon darf der Einstelldruck eines Sicherheitsventils höher sein als der maximal zulässige Betriebsdruck, wenn zusätzlich ein „Druckbegrenzer“ angebracht ist.

Gesteuerte Sicherheitsventile

Bisher waren Gesteuerte Sicherheitsventile nur nach den Technischen Regeln AD-A2 oder TRD 421 oder Sondergenehmigung möglich. Durch die Druckgeräterichtlinie und die harmonisierten europäischen Normen, sowohl Produktnorm wie auch Anwendungsnorm sind Gesteuerte Sicherheitsventile in den CEN-Mitgliedsländern zugelassen.

Die „Gesteuerten Sicherheitsventile“ werden in der Produktnorm EN ISO 4126-5 behandelt und haben in der englischen Fassung die Bezeichnung „Con-

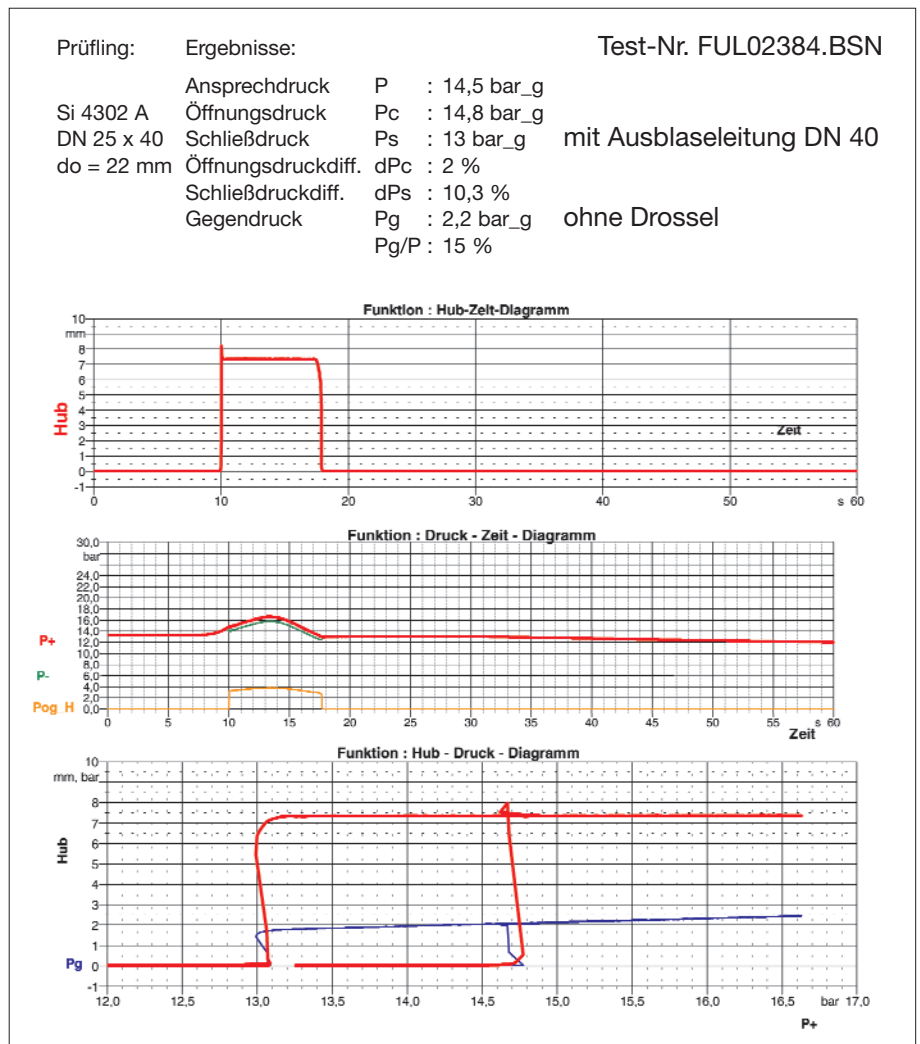


Bild 4: Funktionstest mit Luft ohne Drossel (Düse) am Ende der Ausblaseleitung entsprechend

trolled Safety Pressure Relief System“ (C.S.P.R.S.). Für eine umfassende Behandlung der Gesteuerten Sicherheitsventile und Gegenüberstellung mit Pilot-gesteuerten Sicherheitsventilen nach EN ISO 4126-4 wird auf die Veröffentlichung [2] verwiesen. Sie erschien bereits 1995 und zu diesem Zeitpunkt lauteten die Produktnormen noch EN 1268-1 bis -7 anstelle jetzt EN ISO 4126-1 bis -7, ansonsten hat die fachliche Aussage der Veröffentlichung [2] volle Gültigkeit.

Neues EN-Sicherheitsventil Typ Si 41/43/44

Bereits 1995 hat Bopp & Reuther aufgezeigt, wie mit einer systematischen Entwicklungsmethode (Strömungskraft-Kennfeld) eine Sicherheitsventilbaureihe Si 81/83/84 nach API 526 erstellt wurde [1], die gleichzeitig nach ASME VIII und nach TRD und AD mit TÜV-BKZ zugelassen wurde.

Analog erfolgte die Entwicklung und 2002 die Zertifizierung eines neuen EN-Sicherheitsventiltyps Si 41/43/44 (Bild 1):

- ▷ nach DGRL Kategorie IV durch Konformitätsbewertungsverfahren Modul B, d. h. EG Baumusterprüfung in Verbindung mit Modul D, d. h. Qualitätssicherung Produktion
- ▷ und durch TÜV-Bauteilprüfung mit BKZ SV.02-1094 nach VdTÜV-Merkblatt Sicherheitsventil 100/1 (10.2002) mit Anforderungen nach prEN ISO 4126-1 (12.2002) und AD 2000 – A2, TRD 421.

Nach den Ausführungen in den vorherigen Kapiteln müssen folgende Eigenschaften benannt und spezifiziert werden:

- ▷ Es wurde der niedrigste Kurvenverlauf $\alpha_w(h/d_o)$ von mehreren repräsentativen Ventilgrößen durch Division durch 1,1 vermindert. Hierdurch ist eine Leistungsreserve von 10 % immer sichergestellt und es können bei Bedarf Leistungsbegrenzungen durch Hubbegrenzungen angewendet werden (Bild 2).
- ▷ Öffnungsdruckdifferenz 5 % für G/D und Schließdruckdifferenz 7 % für G/D (folgt aus Herstellerangabe mit EN ISO 4126-1 dokumentiert gemäß VdTÜV-Merkblatt SV 100).

Hierdurch entstehen Vorteile für die Wirtschaftlichkeit der Anlage:

- Die Öffnungsdruckdifferenz 5 % ermöglicht gemäß DIN EN 764-7, dass der Ansprechdruck des Sicherheitsventils auf bis zu 105 % des maximal zulässigen Betriebsdruckes gestellt werden kann, wenn mind. ein Sicherheitsventil

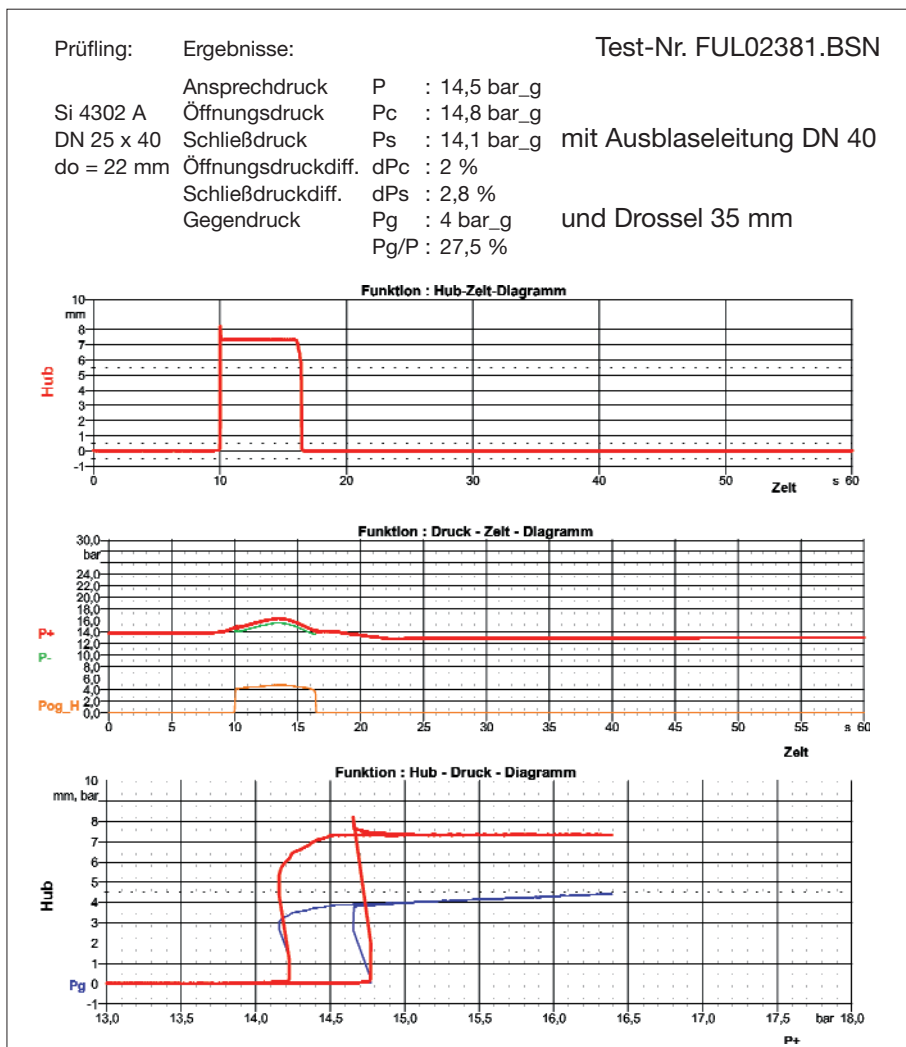


Bild 5: Funktionstest mit Luft mit Drossel (Düse) am Ende der Ausblaseleitung entsprechend

von mehreren auf den maximal zulässigen Betriebsdruck eingestellt ist. Abweichend davon darf der Einstelldruck eines Sicherheitsventils höher sein als der maximal zulässige Betriebsdruck, wenn zusätzlich ein „Druckbegrenzer“ angebracht ist.

- Die Schließdruckdifferenz 7 % ermöglicht einen höheren Betriebsdruck als bei größeren Schließdruckdifferenzen, da der Betriebsdruck immer deutlich unter dem Schließdruck des Sicherheitsventils sein muss.
- ▷ Die Sicherheitsventile Typ Si 41/43/44 wurden
 - gemäß VdTÜV Merkblatt „Sicherheitsventil 100“ mit verlustarmem Einlauf geprüft. Unter diesen Bedingungen beträgt der α_w -Wert 0,81 für D/G.
 - außerdem gemäß VdTÜV Merkblatt „Sicherheitsventil 100“ mit scharfkantigem Einlauf geprüft.

Unter diesen Bedingungen beträgt der α_w -Wert 0,78 für D/G (Bild 3). Der Nachweis des Druckverlustes ist nicht erforderlich, wenn der scharfkantige Eintrittsstutzen entsprechend der Prüfbedingung Bild 3 eine Länge $L/D < 5$ oder $L < 200$ mm hat. Ansonsten braucht beim Nachweis des Druckverlustes der Widerstandsbeiwert des scharfkantigen Einlaufs (i.d.R. $\zeta = 0,5$) nicht berücksichtigt werden.

- ▷ Zum Nachweis der Funktion mit Gegendruck wurde bei einem Eigengendruck von 20 % vom Ansprechdruck für D/G Funktion und Erreichen des notwendigen Hubes für die zertifizierte Ausflussziffer nachgewiesen. Die Prüfbedingung in Bild 3 zeigt, wie der Gegendruck in der Ausblaseleitung des Sicherheitsventils mittels einer Düse am Ende der Leitung angedrosselt wurde. Bild 4 zeigt einen Funktionsversuch mit Luft, bei welchem der Gegendruck nicht durch die

Drossel zusätzlich erhöht wurde. Infolge der großen Ausblaseleistung stellt sich bereits ein Eigengegendruck von 15 % ein. Das Hub-Druck-Diagramm zeigt schlagartiges Öffnen bei einer Drucksteigerung von nur 2% und einen stabilen Hubanschlag mit großer Kraftreserve bis zum Schließen bei ca. 10 % Druckabsenkung. **Bild 5** zeigt den Funktionsversuch, bei dem als einzige Änderung mit der Drossel am Ende der Leitung ein Eigengegendruck bis 27,5 % angestaut wurde. Das Ergebnis ist immer noch stabiles Funktionsverhalten mit vollem Hub, d.h. ohne Leistungseinbußen. Die Schließdruckdifferenz ist dabei auf ca. 3 % zurückgegangen und gibt einen Hinweis auf die Qualität der Strömungskraftkurven und der Abstimmung mit der Feder, was ein

Ergebnis der Entwicklungsmethode mit der Kraft-Kennfeld-Messung ist [1].

- ▷ Typenschild nach DGRL und EN ISO 4126-1 und zusätzlich Angabe des Bauteilkennzeichens „TÜV.SV.02-1094.d.o.D/G(F). α_w .p“. Hierdurch ist auch der allgemeine Zugriff zum veröffentlichten VdTÜV-Merkblatt möglich.

Schlussbemerkung

Wer im Kraftwerksbau sowohl in Deutschland wie auch in Europa und auch außerhalb Europa auf dem Gebiet Sicherheitsventile als Hersteller tätig ist, muss unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden. Aber auch der Planer muss gründlicher und genauer spezifizieren, was erforderlich ist, und in der

Anlagenplanung entsprechend berücksichtigen.

Das vorgestellte neue EN-Sicherheitsventil Typ Si 41/43/44 vereinigt Vorteile für den Anwender, die in dieser Kombination völlig neuartig sind. Ferner werden gleichzeitig Anforderungen nach DGRL und AD-/TRD- Regelwerk erfüllt.

Literatur

- [1] Fischer, G.; Föllmer, B.; Schnettler, A.: Moderne API-Sicherheitsventilbaureihe entwickelt nach neuesten Erkenntnissen. Industriearmaturen, Mai 1997, 5. Jahrgang, Heft 2, S. 124-130.
- [2] Bung, W.; Föllmer, B.: Gesteuerte Sicherheitsventile in Kraftwerken gemäß deutschem Regelwerk. VGB Kraftwerkstechnik 75. (1995), Heft 9, S. 771-776

ACHEMA:

Halle 8.0, Stand F33-634