Gegendruckbeaufschlagte Sicherheitsventile

1. Einleitung
2. Das Sicherheitsventil in der Anlage
3. Einfluss des Gegendruckes auf das Funktionsverhalten
4. Grenzen des zulässigen Gegendruckes (ohne Metallfaltenbalg)
5. Gegendruckkompensation durch Edelstahl-Faltenbalg
6. Grenzen des zulässigen Gegendruckes (mit Metallfaltenbalg)
7. Besonderheiten der Konstruktion mit Edelstahl-Faltenbalg
8. Zusammenfassung
9. Literatur

Dipl.-Ing. Erhard Stork, ARI-Armaturen Albert Richter GmbH & Co. KG, D-33756 Schloß Holte-Stukenbrock
Tel.: 05207/994-0, Fax: 05207/994-297, E-Mail: info.vertrieb@ari-armaturen.de, Internet:: http://www.ari-armaturen.de

1. Einleitung

Bei der Dimensionierung und Auswahl der Sicherheitsventile für Behälter und Anlagen ist es wichtig, dass diese Armatur nicht losgelöst von den Zuführungs- und Abblaseleitungen betrachtet wird. Die Druckverhältnisse und Strömungswiderstände in den angrenzenden Rohrleitungen und Anlagenkomponenten können auf die Funktion der Sicherheitsventile erheblichen negativen Einfluss haben. Eine hierdurch bedingte Reduzierung des Massenstromes führt zu unzulässigem Druckanstieg. Instabiles Funktionsverhalten in Form von Flattern und Schlagen kann im Extremfall zum Abriss des Ventils führen. Die genaue Kenntnis des Verhaltens der Sicherheitsventile und der zulässigen Grenzen in Bezug auf Gegendruck ist eine Vorraussetzung, die beschriebenen Probleme zu vermeiden. Verschiedene Regelwerke [1,2,3] schreiben entweder den zulässigen Gegendruck vor oder verweisen auf die Hersteller der Sicherheitsventile.

2. Das Sicherheitsventil in der Anlage

Die einfachste Variante der Installation eines Sicherheitsventils ist die direkte Anordnung auf einem Behälter ohne angeschlossene Abblaseleitung wie in Bild 1 dargestellt. Diese kommt zum Einsatz bei unkritischen Medien wie z.B. Luft und kleinen Ventilgrößen. Durch das freie Abblasen in die Umgebung entsteht hierbei kein zusätzlicher Gegendruck, der berücksichtigt werden muss.

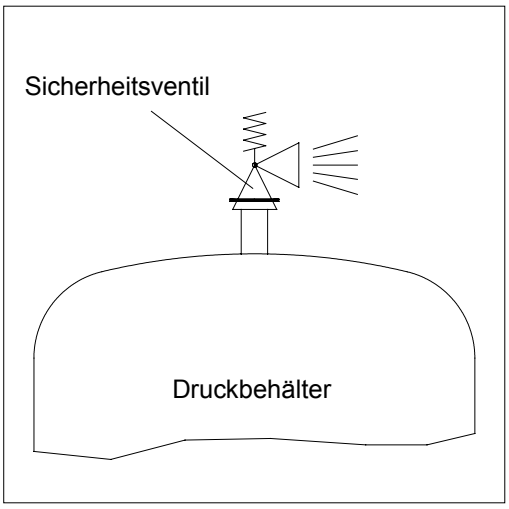

Bild 1: Freies Abblasen ohne Leitung

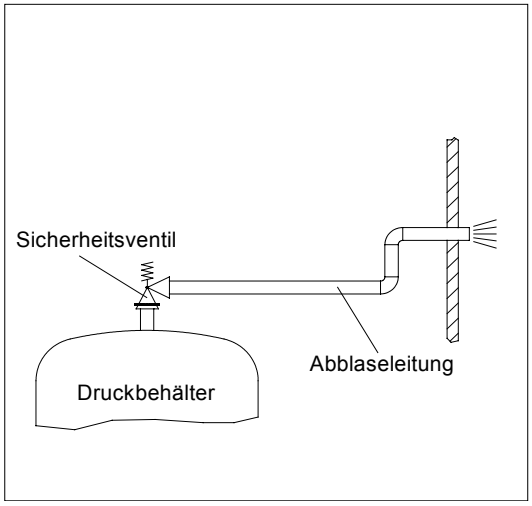

Bild 2: Abblaseleitung führt ins Freie

In den meisten Fällen ist jedoch eine Abblaseleitung an das Sicherheitsventil angeschlossen, die ins Freie führt (siehe Bild 2). Von der Länge dieser Leitung, der Anzahl der Bögen und eventuell zusätzlicher Verlustelemente (z.B. Schalldämpfer) ist der Gegendruck abhängig, der auf der Austrittsseite des Sicherheitsventils beim Abblasen entsteht. Dieser wird als Eigengegendruck bezeichnet.

Bei kritischen Medien, die toxisch oder stark korrosiv sind, ist es unerlässlich, die abgeblasene Menge in geschlossenen Behältersystemen aufzufangen (siehe Bild 3). Der hierbei entstehende Druck ist auch bei wieder geschlossenem Sicherheitsventil auf der Austrittsseite vorhanden und wird als Fremdgegendruck bezeichnet. Beim

Abblasen addiert sich hierzu der durch die Widerstände der Rohrleitung entstehende Eigengegendruck.

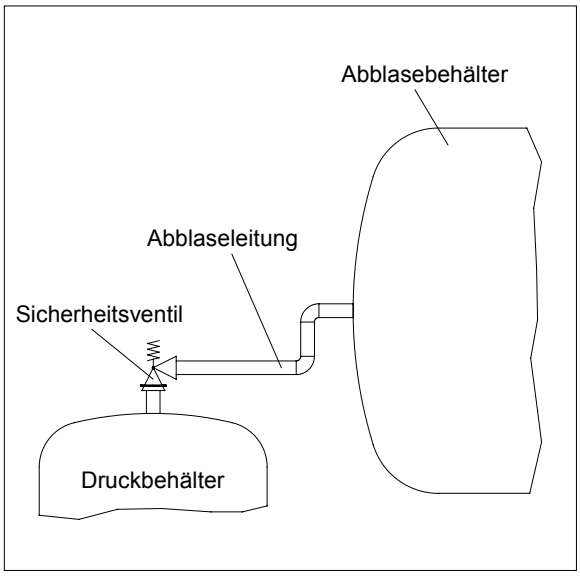

Bild 3: Abblasen in geschlossene Behältersysteme

3. Einfluss des Gegendruckes auf das Funktionsverhalten

Entscheidend für die Funktion eines Sicherheitsventils ist die korrekte und ungestörte Hubbewegung des Kegels, auch Teller genannt. Als Abschlusskörper gibt dieser die erforderliche Abblasemenge des Mediums frei. Wird der erforderliche Hub nicht erreicht oder entsteht hier eine unkontrollierte Schwingung (Flattern), kann das Ventil den erforderlichen Massenstrom nicht abführen und der abzusichernde Druck vor dem Ventil steigt weiter an. Der hierdurch entstehende zusätzliche Gegendruck lastet auf der Kegelrückseite (siehe Bild 4). Wenn die hierdurch entstehende Kraft in Schließrichtung zu groß ist, kann der Kegel den erforderlichen Hub nicht mehr erreichen.

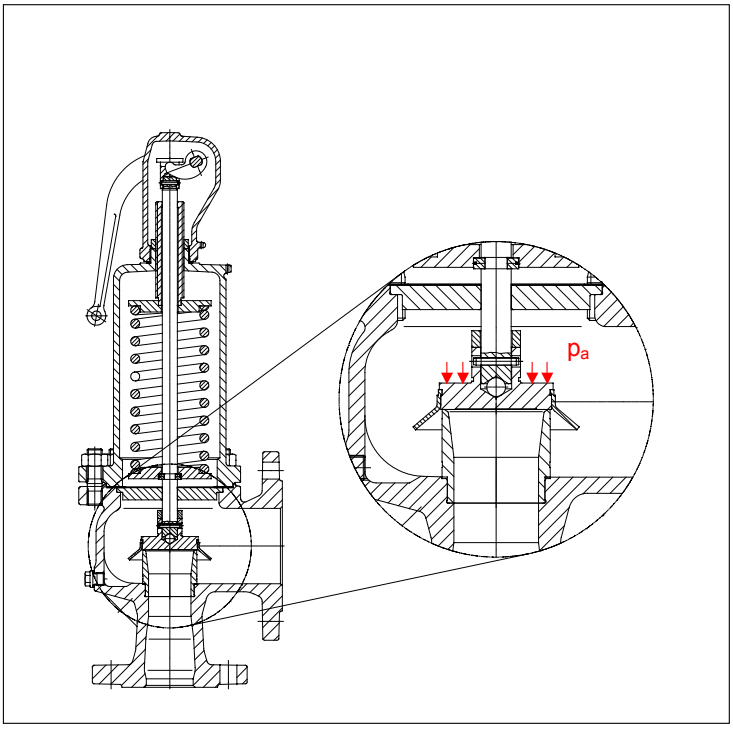

Bild 4:
Wirkung des Gegendruckes im Ventil

4. Grenzen des zulässigen Gegendruckes (ohne Metallfaltenbalg)

Für die Ermittlung des maximal zulässigen Gegendruckes sind Prüfstandsmessungen durchgeführt worden (siehe Bild 5). Die transienten Messgrößen "Druck vorm Ventil", "Gegendruck" und "Hub" wurden über eine schnelle computergesteuerte Messdatenerfassung gespeichert und anschließend ausgewertet. Die Druckentnahmestelle für den Gegendruck befand sich im Abstand 10 x DN hinter dem Ventil.

Bild 5: Versuchsaufbau

Die Erzeugung des gewünschten Gegendruckes erfolgte über eine Drosselarmatur, deren Einstellung zwischen den einzelnen Versuchen empirisch so gefunden wurde, dass bei einer Erhöhung des Druckes vor dem Sicherheitsventil um 10 % über dem Ansprechdruck (zulässige Öffnungsdruckdifferenz) noch der vorgeschriebene Hub erreicht wurde und die Funktion stabil (d.h. kein Schwingen/ Flattern) war. Der bei diesem Versuchsaufbau erzeugte Gegendruck ist somit ein Eigengegendruck.

Bild 6 zeigt den Versuch am Anfang eines Federbereichs. Hier reagiert ein Sicherheitsventil empfindlicher auf Gegendruck als am Ende des Federbereichs, da am Ende des Bereiches die Strömungskräfte zwar größer sind, die Feder jedoch die gleiche Federkonstante hat wie am Anfang und somit die Zunahme der Federkraft (der Strömungskraft entgegengerichtet) bei steigendem Hub gleich groß ist wie am Bereichsanfang.

Aus diesem Grunde ist der Versuch mit dem gleichen Ventil am Ende des Federbereiches mit einem höheren Gegendruck durchgeführt worden (siehe Bild 7).

Dipl.-Ing. Erhard Stork, ARI-Armaturen Albert Richter GmbH & Co. KG, D-33756 Schloß Holte-Stukenbrock
Tel.: 05207/994-0, Fax: 05207/994-297, E-Mail: info.vertrieb@ari-armaturen.de, Internet:: http://www.ari-armaturen.de

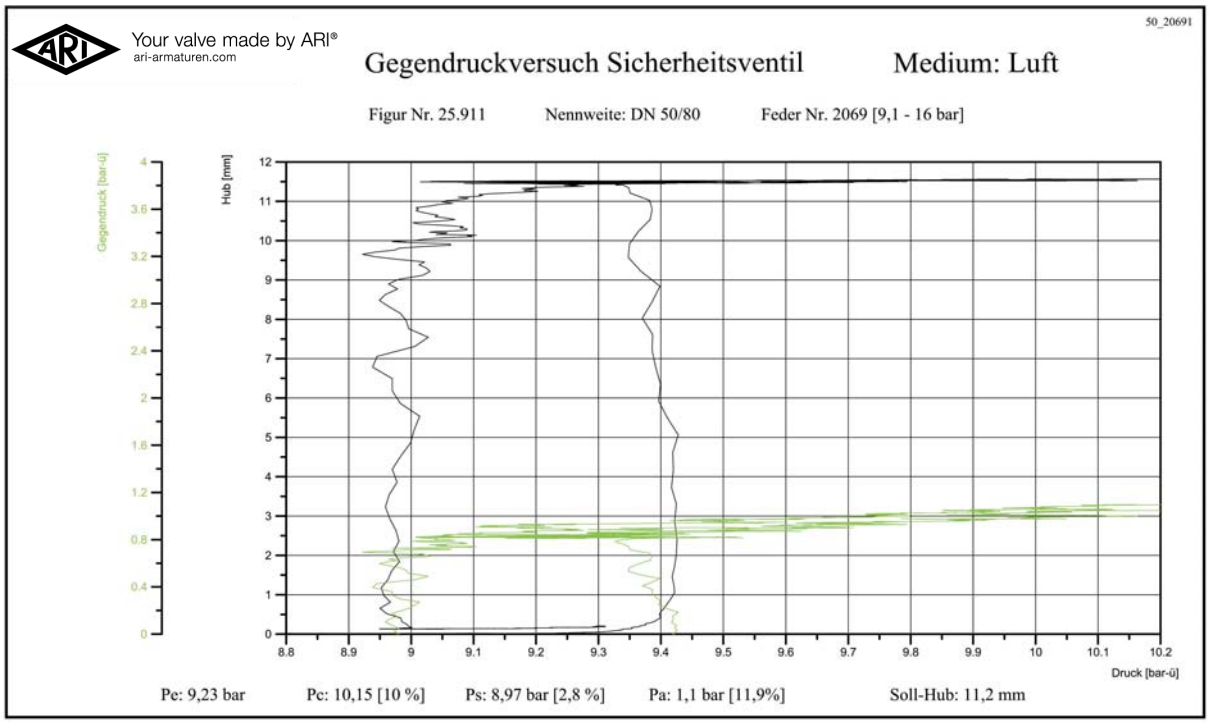

Bild 6: Zulässiger Eigengegendruck (Anfang Federbereich)

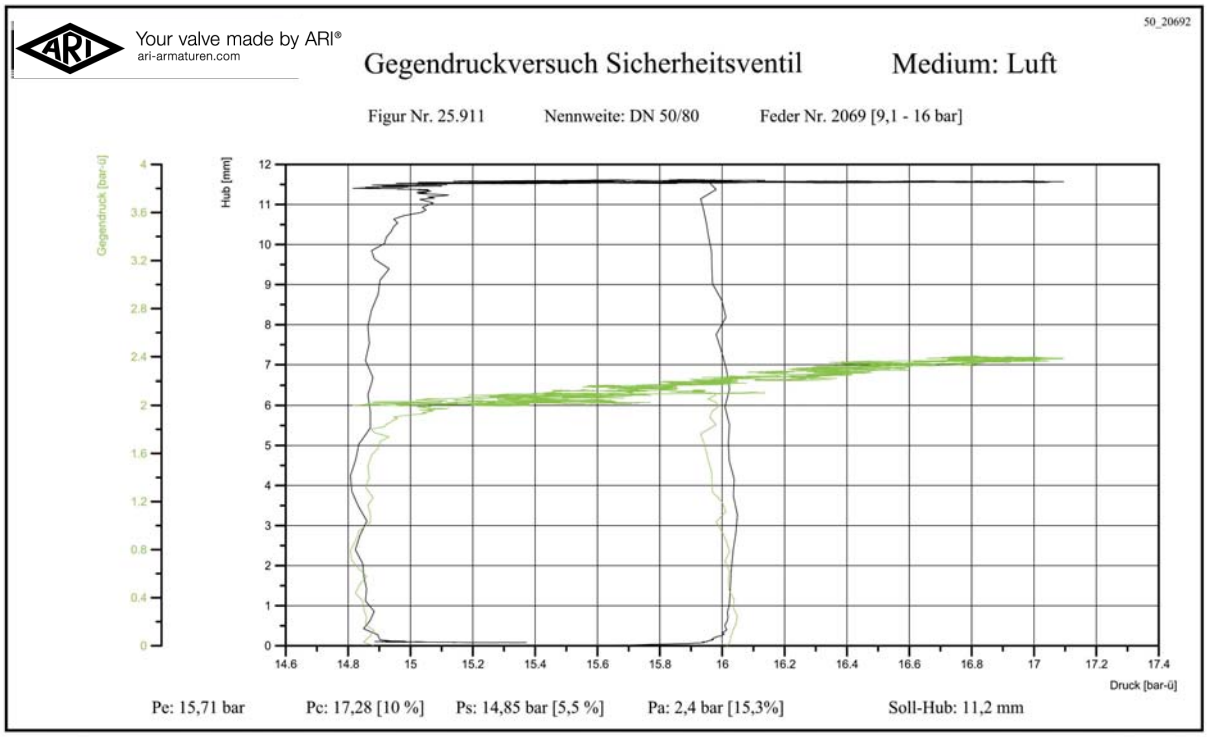

Bild 7: Zulässiger Eigengegendruck (Ende Federbereich)

Der maximal zulässige Gegendruck wird nicht nur von Lage des Ansprechdrucks im jeweiligen Druckeinstellbereich der Feder bestimmt, sondern auch noch von der Gestaltung des Stutzens auf dem Behälter oder der Rohrleitung, auf dem das Ventil montiert ist. Hier wirkt sich ein zusätzlicher Druckverlust negativ auf den maximal möglichen Gegendruck aus. Gemäß AD 2000 A2 [4] ist ein zusätzlicher Druckverlust im Eintritt von max. 3% der Druckdifferenz zwischen Ansprechdruck und Fremdgegendruck zulässig, der bei der Festlegung der zulässigen Grenzen berücksichtigt werden muss. Bild 8 zeigt einen Versuch im Anfangsbereich der Feder, wobei vor dem Ventil ein Stutzen mit 3% Druckverlust angeordnet war. Die Ventilfunktion war stabil und der erforderliche Hub wurde unterhalb der maximal zulässigen Öffnungsdruckdifferenz von 10% erreicht.

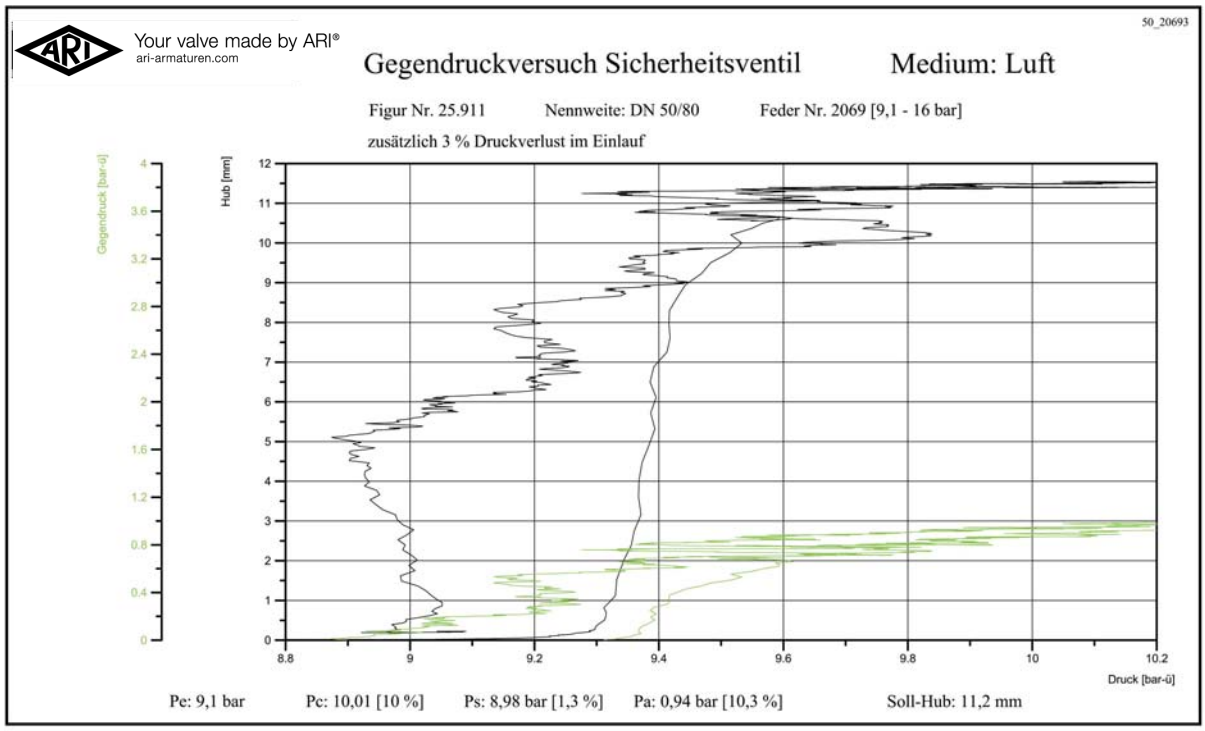

Bild 8: Einfluss eines zusätzlichen Druckverlustes im Einlauf

Die Versuche ergaben für ARI-Sicherheitventile folgende zulässige Grenzen für den Gegendruck und der Ausführung "ohne Metallfaltenbalg":

- Eigengegendruck grundsätzlich maximal 10 % vom Ansprechüberdruck.
- Abhängig von der Konstruktion (Type) und Federvorspannung kann 15 % Eigengegendruck zugelassen werden.
- Statische Gegendrücke (Fremdgegendrücke) sind nicht zulässig.

Die entsprechenden Grenzen im Bereich von 10-15 % stehen in Form von Tabellen für alle Typen und Größen der ARI-Sicherheitsventile zur Verfügung. Einen Auszug zeigt Bild 9.

Your valve made by ARI®
ari-armaturen.com

TI-BR900 Zulässiger Gegendruck
Sicherheitsventile

Blatt 2/4

Ohne Edelstahl-Faltenbalg											
DN 50			DN 65			DN 80			DN100		
pe	pa	Feder	pe	pa	Feder	pe	pa	Feder	pe	pa	Feder
0.2	0.03	0061	0.2	0.03	0071	0.2	0.03	0081	0.2	0.03	0091
0.5	0.08		0.5	0.08		0.5	0.08		0.5	0.08	
0.52	0.08	0062	0.52	0.08	0072	0.52	0.08	0082	0.52	0.08	2092
1.0	0.15		1.0	0.15		1.0	0.15		1.0	0.15	
1.05	0.16	0063	1.05	0.16	0073	1.05	0.16	0083	1.05	0.16	2093
1.5	0.23		1.5	0.23		1.5	0.23		1.5	0.23	
1.55	0.19	0064	1.55	0.19	0074	1.55	0.19	0084	1.55	0.19	2094
1.75	0.24		1.75	0.24		1.75	0.24		1.75	0.24	
2.0	0.3		2.0	0.3		2.0	0.3		2.0	0.3	
2.05	0.23	0065	2.05	0.23	0075	2.05	0.23	0085	2.05	0.23	2095
2.4	0.29		2.4	0.29		2.4	0.29		2.3	0.28	
2.7	0.35		2.7	0.35		2.7	0.35		2.5	0.33	
2.75	0.28	0066	2.75	0.28	0076	2.75	0.28	2086	2.55	0.26	2096
3.2	0.35		3.2	0.35		3.2	0.35		2.8	0.3	
3.6	0.4		3.6	0.4		3.6	0.4		3.0	0.35	
3.7	0.35	0067	3.7	0.35	0077	3.7	0.35	2087	3.05	0.3	2097
4.0	0.45		4.0	0.45		4.0	0.45		3.3	0.35	
4.5	0.5		4.5	0.5		4.5	0.5		3.6	0.4	
5.0	0.6		5.0	0.6		5.0	0.6		3.7	0.35	

Bild 9: Tabelle für zulässigen Gegendruck (ohne Edelstahl-Faltenbalg) [5]

5. Gegendruckkompensation durch Edelstahl-Faltenbalg

Wenn die Abblaseleitungen der Sicherheitsventile zu lang sind oder diese zu viele Bögen beinhalten, ist die Gegendruck-Grenze von 10-15 % schnell erreicht. In diesen Fällen besteht zunächst die Möglichkeit, die Nennweite dieser Leitung zu vergrößern. Oft führt dieses zu großen Kostensteigerungen oder es ist anlagentechnisch gar nicht möglich. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit, das Sicherheitsventil mit einem Ausgleichs-Faltenbalg auszustatten. Dieser aus Edelstahl bestehende Balg gewährleistet dann gleichzeitig die wartungsfreie Spindelabdichtung nach Außen. In Bild 10 ist die Funktion des Faltenbalges gezeigt, in dem die durch den Gegendruck wirkenden Kräfte auf der Kegelrückseite durch die entgegengesetzt wirkenden Kräfte auf der Querschnittsfläche des Metall-Balges so kompensiert werden, dass sie sich aufheben.

In Bild 10 ist auch der Ausgleichskolben gezeigt, der bei einem eventuellen Versagen des Faltenbalges die Kräftekompensation übernimmt. Dieses ist eine Forderung der neuen DIN EN ISO 4126-1 [6] die im Mai 2004 in Kraft getreten ist. Diese Sekundär-Kompensation kann jedoch nicht die Abdichtungs-Funktion des Faltenbalges übernehmen. Durch den Kolben-Spalt strömt dann bei einem Defekt des Balges Medium in die Federhaube und von dort in die Umgebung. Die richtige Funktion des Kolbens kann nur erfolgen, wenn diese Leckströmung vorhanden ist und ein Druckgefälle zwischen Ventil-Innenraum und Federhaube existiert. Deshalb muss die Federhaube entlüftet sein. Bei toxischen oder umweltgefährdenden Medien kann an der Haube eine Entlüftungsleitung zur gefahrlosen Ableitung angebracht werden, so dass ein Entweichen von Medium direkt in die Umgebung vermieden wird.

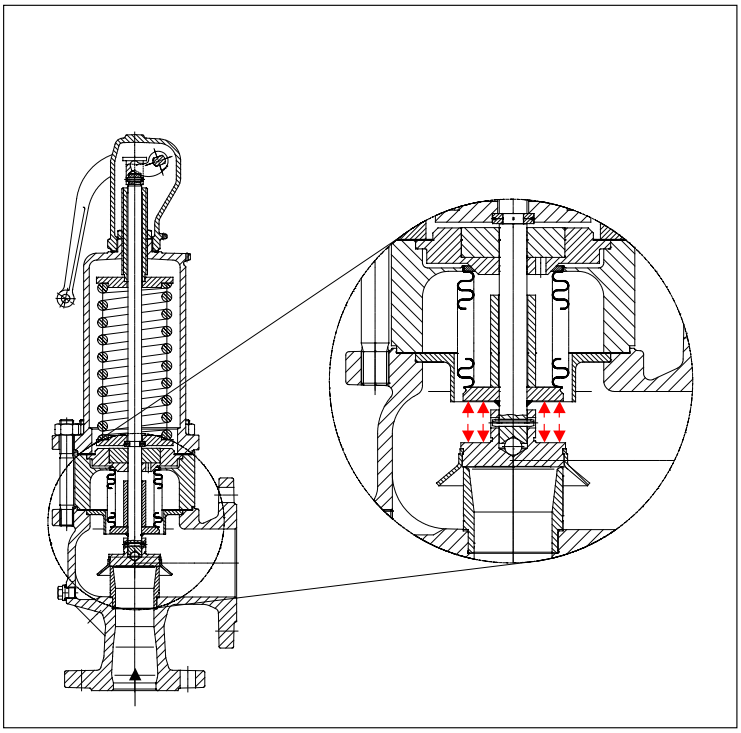

Bild 10:
Gegendruckkompensation durch Edelstahl-Faltenbalg

Bei Einsatz eines Edelstahl-Faltenbalges erhöhen sich die maximal zulässigen Gegendrücke. Bild 11 zeigt den Abblaseversuch bei einem Gegendruck von ca. 30%.

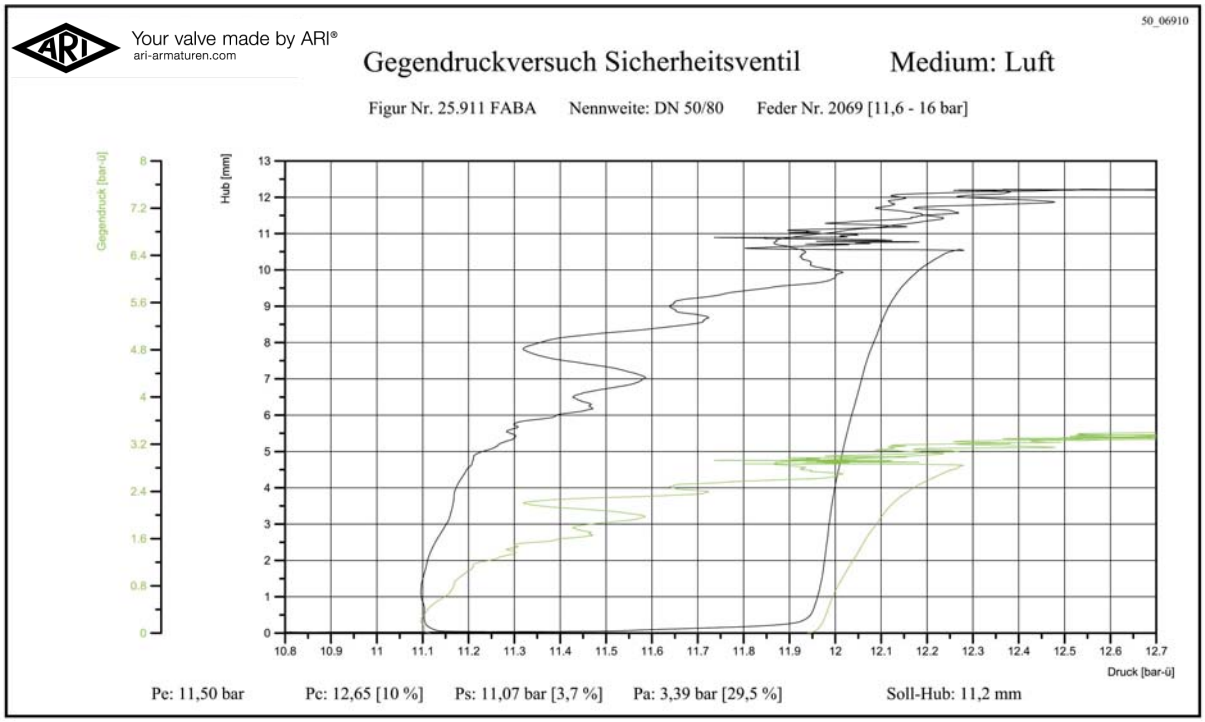

Bild 11: Sicherheitsventil-Funktion mit Edelstahl-Faltenbalg

6. Grenzen des zulässigen Gegendruckes (mit Metallfaltenbalg)

Die erhöhten Grenzen für die Ausführung mit Edelstahl-Faltenbalg stehen in Form von Tabellen zur Verfügung, Bild 12 zeigt auch hier einen Auszug. An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass sich diese Grenzen im Gegensatz zu der Ausführung ohne Faltenbalg auch auf Fremdgegendrücke beziehen, da der Faltenbalg eine Veränderung des Ansprechdruckes durch ständig anliegenden Fremdgegendruck verhindert.
Wichtig: Bei der Größenbemessung der Sicherheitsventile ist der Gegendruck immer zu berücksichtigen, da sonst unter Umständen ein zu kleines Ventil bestimmt wird. Hier ist nach Bedarf iterativ vorzugehen. Nach der ersten Größenbemessung muss der Gegendruck in der Abblaseleitung berechnet und bei einer erneuten Größenbemessung jeweils berücksichtigt werden. Mit dem Computer-Auslegungsprogramm ARI-VASI® [7] steht dem Anwender hierfür ein leistungsfähiges Werkzeug zur Verfügung.

Your valve made by ARI® ari-armaturen.com | TI-BR900 Zulässiger Gegendruck | Sicherheitsventile | Blatt 4/4

Mit Edelstahl-Faltenbalg											
DN 50			DN 65			DN 80			DN100		
pe	pa	Feder	pe	pa	Feder	pe	pa	Feder	pe	pa	Feder
2.8	0.7	30614	2.5	0.6	0073	2.5	0.6	3083	2.5	0.6	30914
3.0	0.9		2.7	0.7		2.7	0.8		2.7	0.7	
3.2	1.0		3.0	0.9		3.0	1.0		3.0	0.9	
3.4	1.2		3.3	1.1		3.3	1.2		3.3	1.1	
3.5	0.9	0064	3.7	1.3		3.4	0.9	0084	3.5	1.2	
4.0	1.2		3.8	1.0	30714	3.7	1.0		3.6	0.9	2094
4.5	1.5		4.0	1.1		4.0	1.2		3.8	1.1	
4.6	1.2	30615	4.3	1.4		4.3	1.4		4.0	1.3	
5.0	1.3		4.6	1.6		4.5	1.6		4.2	1.5	
5.5	1.5		4.7	1.2	30715	4.6	1.2	30813	4.3	1.1	2095
6.0	1.7		5.0	1.4		5.0	1.4		4.6	1.4	
6.5	2.0		5.5	1.7		5.4	1.7		4.9	1.7	
7.0	2.2		5.9	2.1		5.8	2.0		5.0	1.2	2096
7.5	2.4		6.0	1.5	0076	5.9	1.5	2086	5.3	1.6	
8.0	2.7		6.5	1.8		6.5	1.8		5.6	2.0	
8.4	2.9		7.0	2.1		7.0	2.2		5.7	1.4	30915
8.5	2.1	30616	7.5	2.4		7.5	2.6		6.0	1.7	
9.0	2.6		8.0	2.8		7.6	1.9		6.5	2.1	
9.5	3.0		8.1	2.0		8.0	2.3		7.0	2.5	

Bild 12: Tabelle für maximalen Gegendruck (mit Edelstahl-Faltenbalg) [5]

7. Besonderheiten der Konstruktion mit Edelstahl-Faltenbalg

In der Tabelle ist zu erkennen, dass die untere Grenze des möglichen Ansprechdruckes höher liegt, als beim Ventil ohne Faltenbalg. Der Grund liegt in der Federsteifigkeit des Faltenbalges. Da sich die Federrate des Balges zur Federrate der Ventilfeder addiert, hat dieses direkten Einfluss auf das Funktionsverhalten. Hierdurch bedingt sind extra Federtabellen und extra Kegeleinheiten erforderlich. Dieser Punkt ist in den Service-Werkstätten von großer Wichtigkeit, da durch die nachträgliche Ausrüstung eines Sicherheits-ventils mit einem Edelstahl-Faltenbalg ohne Austausch der Kegeleinheit und der Feder das Ventil in der Funktions-Charakteristik so verändert wird, dass es nicht mehr wie vorgeschrieben funktionieren kann. Der Abblaseversuch in Bild 13 zeigt die Funktion eines derartigen fehlerhaft montierten Ventils, wo der vorgeschriebene Hub nicht erreicht wird. In Bild 14 ist dagegen die Funktion eines korrekt montierten Ventils bei gleichen Versuchsparametern dargestellt.

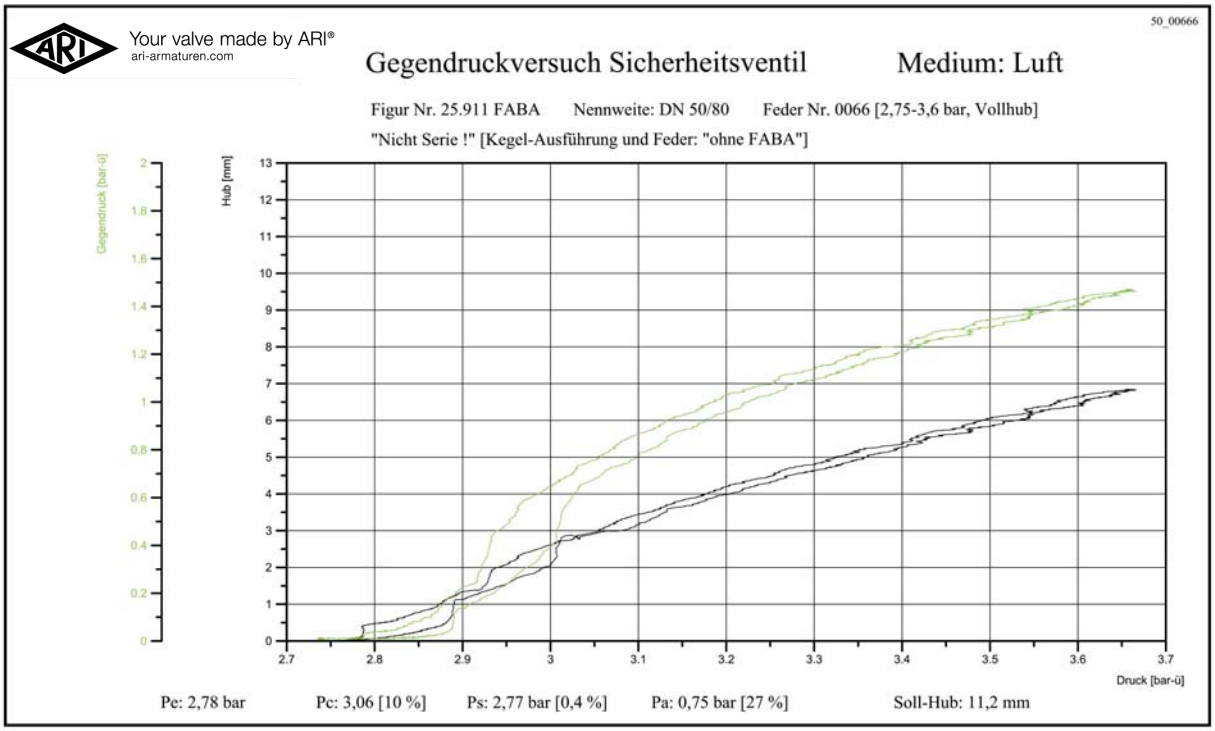

Bild 13: Unzulässige Ventilfunktion durch **falsch** montiertes Ventil mit Edelstahl-Faltenbalg (niedriger Ansprechdruck)

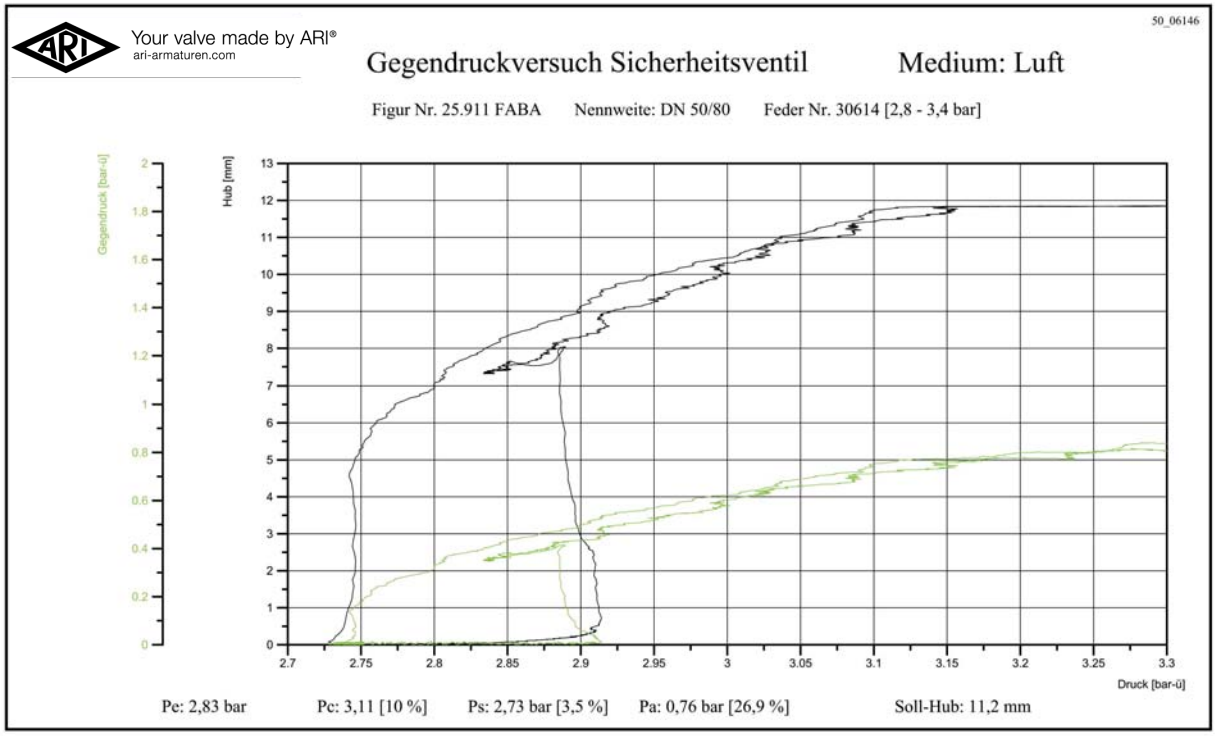

Bild 14: Korrekte Ventilfunktion bei **richtig** montiertem Ventil mit Edelstahl-Faltenbalg (niedriger Ansprechdruck)

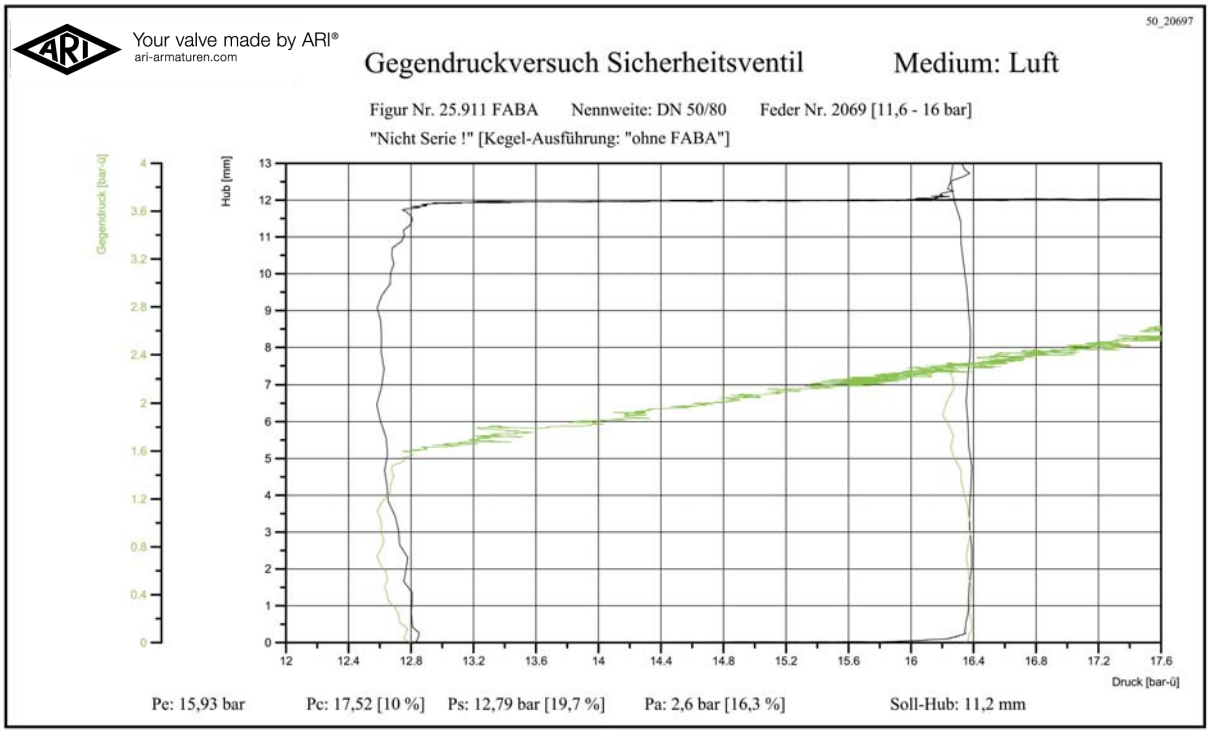

Bild 15: Unzulässige Überschreitung der zulässigen Schließdruckdifferenz bei **falsch** montiertem Ventil mit Edelstahl-Faltenbalg (höherer Ansprechdruck)

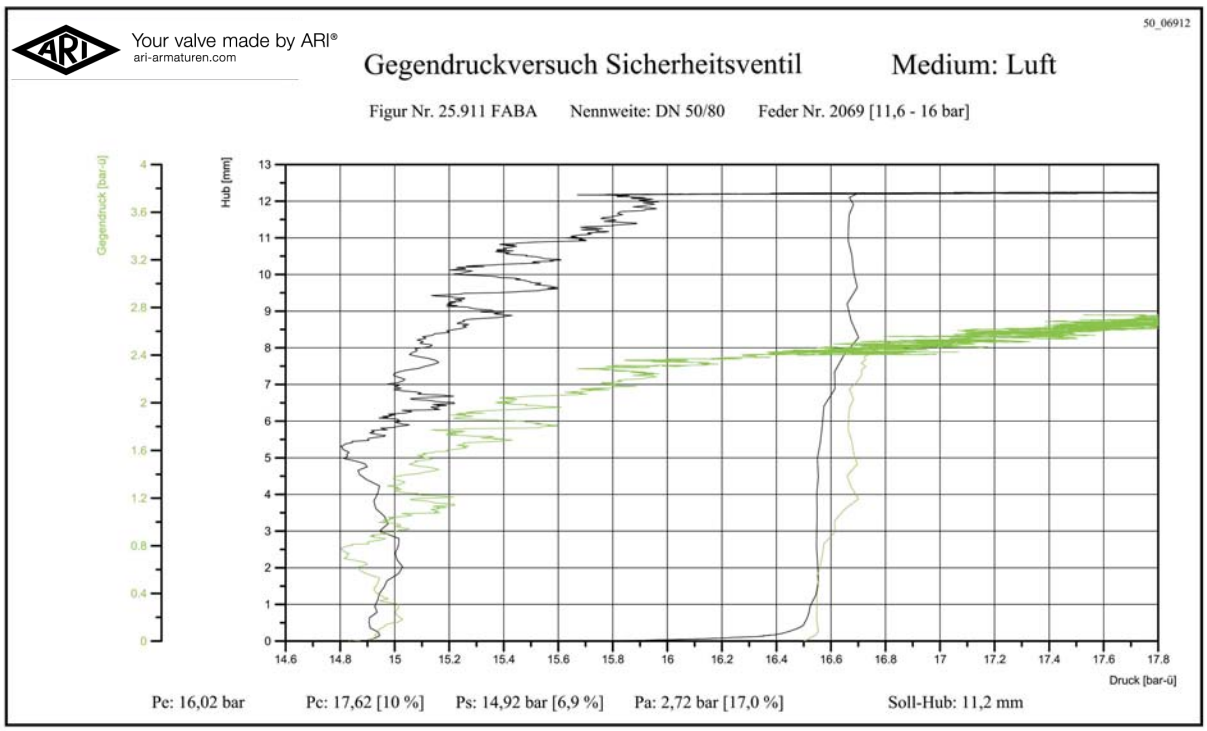

Bild 16: Korrekte Ventilfunktion bei **richtig** montiertem Ventil mit Edelstahl-Faltenbalg (höherer Ansprechdruck)

Zu höheren Drücken hin verliert die Federsteifigkeit des Faltenbalges an Einfluss, da unabhängig vom Druck immer der gleiche Faltenbalg zum Einsatz kommt, die Federrate der Ventilfedern von Einstellbereich zu Einstellbereich jedoch zunimmt und somit der Anteil des Balges an der Gesamt-Federrate geringer wird. Bei höheren Drücken tritt jedoch ein anderer Effekt auf: Die Schließdruckdifferenz nimmt durch die Entlastung des Kegels zu, so dass der Arbeitsdruck der Anlage unter Umständen höher liegt als der Schließdruck. Das Sicherheitsventil kann in diesem Fall nicht mehr schließen und bläst auch nach Beseitigung der Ursache des Druckanstieges, der zum Ansprechen des Sicherheitsventils geführt hatte, weiterhin ab. In Bild 15 ist die Schließdruckdifferenz eines fehlerhaft montierten Ventils mit fast 20 % erheblich überschritten, wobei Bild 16 die korrekte Funktion mit der extra Kegeleinheit für die Faltenbalgausführung zeigt.

8. Zusammenfassung

Der sich beim Abblasen von Sicherheitsventilen aufbauende Eigengegendruck führt, wenn gewisse Grenzen überschritten werden, zu unzulässiger Veränderung der vorgeschriebenen Funktions-Charakteristik der Sicherheitsventile. Die Gegendrücke können durch Einsatz eines Ausgleichsfaltenbalges teilweise kompensiert werden.

Die Grundlage für die Festlegung der Grenzen bilden Funktions-Versuche, deren Durchführung an Hand von Beispielen vorgestellt werden. Die Ergebnisse für die Standardventil-Ausführung und die Ausführung mit Edelstahl-Faltenbalg werden in Form von Tabellen vorgestellt.

Die Ausführung mit Edelstahl-Faltenbalg erfordert extra Kegel-Einheiten und extra Federtabellen. Bei Nichtbeachtung kann das Sicherheitsventil nicht mehr in der vorgeschriebenen Weise funktionieren. Versuchs-Ergebnisse von falsch montierten Ventilen werden den korrekt montierten gegenübergestellt.

9. Literatur

[1] DIN EN 12952-10: Wasserrohrkessel - Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung

[2] DIN EN 12828: Heizungssysteme in Gebäuden

[3] DIN EN 767-7: Druckgeräte - Sicherheitsgeräte für unbefeuerte Druckgeräte

[4] AD 2000 A2: Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung - Sicherheitsventile -

[5] ARI-Armaturen: Herstellerunterlagen

[6] DIN EN ISO 4126-1: Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck Teil 1: Sicherheitsventile

[7] ARI-Armaturen: Computer-Auslegungsprogramm ARI-VASI®

Dipl.-Ing. Erhard Stork, ARI-Armaturen Albert Richter GmbH & Co. KG, D-33756 Schloß Holte-Stukenbrock
Tel.: 05207/994-0, Fax: 05207/994-297, E-Mail: info.vertrieb@ari-armaturen.de, Internet:: http://www.ari-armaturen.de