

# Industrie armaturen

The Industrial Valve Journal

<http://www.industriearmaturen.de>

## Auslegung von Sicherheitsventilen und Berstscheiben für Behälter zur Lagerung von kryogenen Gasen

Design of safety valves and rupture disks for storage tanks for  
cryogenic gases

Olaf Schulenberg, Leiter Neuentwicklung Sicherheitsventile, Herose GmbH, 23843 Bad Oldesloe

**erschienen in Industriearmaturen Heft 2, Mai 2009**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Ansprechpartner: W. Mönning Tel. 0201/82002-25, E-Mail: [w.moenning@vulkan-verlag.de](mailto:w.moenning@vulkan-verlag.de)

# Auslegung von Sicherheitsventilen und Berstscheiben für Behälter zur Lagerung von kryogenen Gasen

## Design of safety valves and rupture disks for storage tanks for cryogenic gases

Olaf Schulenberg

*Durch den zunehmenden Grad der Standardisierung von Anlagen für tiefkalte Gase ist insbesondere im Hinblick auf die Auswirkungen eines möglicherweise falsch ausgelegten Sicherheitsventils oder einer zu gering dimensionierten Zuleitung eine genaue Auslegung der Druckentlastungseinrichtung notwendig. Fatal sind die Kosten, wenn aufgrund eines falsch dimensionierten Ventils eine nicht geplante Austauschaktion erforderlich wird. Die Lebensdauer der Sicherheitsventile wird sich deutlich erhöhen, wenn sie im Hinblick auf die maximalen Massenströme für die Brandlast und die minimalen Massenströme bei ausschließlich thermischer Expansion getrennt voneinander ausgelegt werden – was dem normalen Betrieb am nächsten kommt. Der folgende Beitrag zeigt, wie dabei vorzugehen ist.*

*The increasing level of standardization of systems for cryogenic gases means that precise design of pressure-relief systems is vital, particularly in view of the potential effects of an incorrectly designed safety valve or a supply line of inadequate dimensions. The costs when an unscheduled replacement campaign becomes necessary as a result of an incorrectly dimensioned valve can be horrendous. The service-lives of safety valves will increase significantly if these elements are designed separately from one another for maximum mass flows for the fire load, and minimum mass flows in case of entirely thermal expansion - the practice which most closely approximates to normal operation. The following article outlines the necessary procedure.*

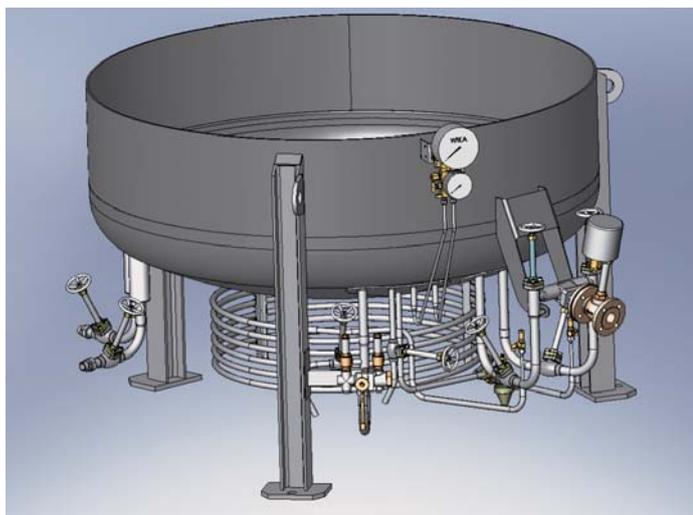
### Allgemein

Lagerbehälter für tiefkalte verflüssigte Gase (Kryo-Behälter; **Bild 1**) werden nach EN 13458 dimensioniert. Zur Absicherung gegen Drucküberschreitung wird die Normenreihe EN 13648 „Kryo-Behälter – Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“ herangezogen. Darin sind die anwendungsspezifischen Anforderungen an Sicher-

heitsventile (Teil 1) und Berstscheiben (Teil 2) festgelegt. Im Teil 3 werden die Berechnungsverfahren für die Ermittlung des erforderlichen Ausflussmassenstroms beschrieben. Die Berechnungsgrundlagen werden im Anwendungsbereich für vier unterschiedliche Bedingungen formuliert:

1.1. vakuum-isolierte Behälter mit einem unbeschädigten Isoliersystem,

- 1.2. vakuum-isolierte Behälter mit einem unbeschädigten Isoliersystem, jedoch ohne Vakuum, oder nicht vakuum-isolierte Behälter,
- 1.3. vakuum-isolierte Behälter mit einem unbeschädigten oder teilweise beschädigten Isoliersystem. Mit Vakuumverlust und Brandeinwirkung und
- 1.4. Behälter mit völlig defektem Isoliersystem und unter Brandeinwirkung.



**Bild 1:**  
Lagerbehälter für  
tiefkalte verflüssigte  
Gase

**Fig. 1:**  
Storage tank for  
liquefied cryogenic  
gases

Weiter schreibt die Norm vor, dass die Druckentlastungseinrichtung unter Berücksichtigung aller möglichen Drucküberschreitungen auszulegen ist. Dazu gehören insbesondere:

- Wärme- und Vakuumverluste
- Pumpen
- auftretende Druckspitzen durch zurückschlagendes Gas und Flüssigkeit aus Rohrleitungen

Die Kombinationen dieser möglichen Bedingungen ist durch eine selbstschließende Sicherheitseinrichtung (Sicherheitsventil) auf maximal 110 Prozent des höchstzulässigen Druckes zu begrenzen.

Die Anforderung zur Auslegung der Druckentlastungseinrichtung mit Berücksichtigung eines von außen auf den Behälter wirkenden Brandes muss nur dann berücksichtigt werden, wenn im Umfeld des Behälters eine entsprechende Brandlast vorhanden ist. Außerdem ist insbesondere zu berücksichtigen, dass der Druckabfall in der Zuleitung zur Entlastungseinrichtung den Wert von 3 Prozent des Ansprechdruck einer selbstschließenden Sicherheitseinrichtung nicht überschreitet.

Im Anhang D der EN 13458-2 sind zwei Beispiele genannt die ein mögliches Druckentlastungssystem darstellen (**Bild 2**).

Im Bild oben ist nach dem Grundsatz unterschiedlicher Fehlermechanismen (Verschiedenartigkeit) ein Umschaltventil in Verbindung mit jeweils einem Sicherheitsventil und einer Berstscheibe dargestellt. Hierbei erfolgt die Absicherung des Behälters stets nur auf einer Seite, während die andere Seite nicht druckbeaufschlagt ist. Damit kann zum Beispiel für Wartungs- und Prüfzwecke auf das zweite System umgeschaltet werden und das Behältersystem bleibt voll abgesichert. In diesem Fall muss dann, zum Beispiel durch eine Verriegelungseinrichtung (Schloss) sichergestellt werden, dass der Hebel des Umschaltventils nicht fehlbedient werden kann.

Im Bild unten erfolgt die Absicherung des Behälters nach dem Grundsatz der Redundanz. Im Betrieb ist das Drei-Wegeventil in Mittelstellung und beide Sicherheitsventile werden druckbeauf-

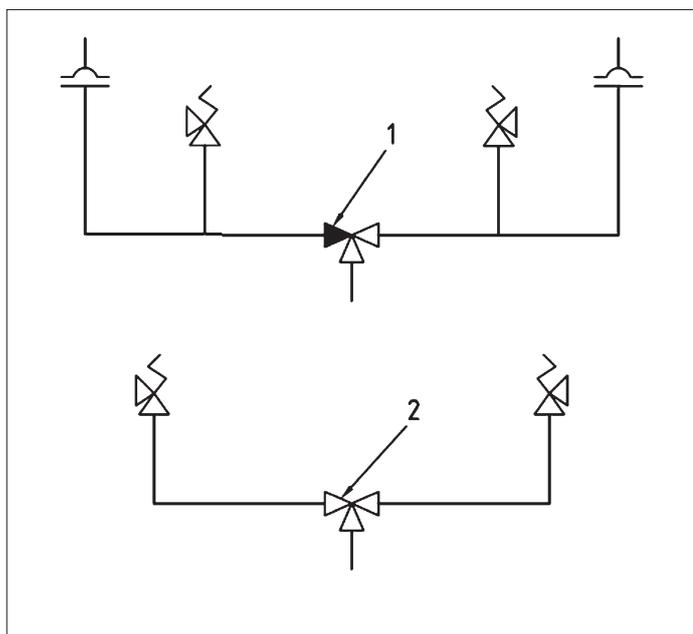
Unter Berücksichtigung dieser vier Voraussetzungen und des in der Norm zur Bemessung, Herstellung und Prüfung von Kryo-Behältern, EN 13458-2 vorhandenen Spielraums soll im Folgenden aus Sicht eines Herstellers von Sicherheitsventilen und Wechselarmaturen die Auslegung und Berechnung interpretiert und dargestellt werden.

### Beschreibung der Normanforderungen

Im Abschnitt 4.2.6 der Kryo-Behälternorm wird auf Druckentlastungseinrichtungen eingegangen. Beschrieben wird, dass das System folgenden Grundsätzen entsprechen muss:

- 1.6. fehlersicheres Verhalten
- 1.7. redundante Eigenschaften
- 1.8. nicht gleichartig wirkende Fehlermechanismen (Verschiedenartig).

Die gestellten Anforderungen werden damit nicht konkreter als im Anhang I der Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (DGRL). In der DGRL sind die genannten Anforderungen beispielhaft als geeignete Auslegungsgrundsätze genannt und nicht gleichzeitig zu erfüllen, sondern können „entweder oder“ angewendet werden. Die Norm hingegen schreibt mit „Das System muss:“ eine wesentlich verschärfte Anforderung vor, die so in der allgemeinen Praxis nicht ausgeführt wird.



**Bild 2:**  
Entlastungssysteme  
nach EN 13458-2

**Fig. 2:**  
Relief systems in  
accordance with  
EN 13458, Part 2



**Bild 3:** Selbstschließende und fehlersichere Sicherheitsabsperrramatur MG 97

**Fig. 3:** MG 97 self-closing failsafe safety shut-off valve

schlagt. Auch hier kann für Wartungs- und Prüfarbeiten das Drei-Wegeventil entsprechend geschaltet werden und der Hebel ist wie oben beim Umschaltventil zu sichern.

## Auslegung in der Praxis

Die Auslegung der Druckentlastungseinrichtungen erfolgt in der Praxis weitgehend unter den folgenden Voraussetzungen: Mögliche Drucküberschreitungen durch Überfüllen werden in der Praxis durch den Einsatz einer selbstschließenden und fehlersicheren Sicherheitseinrichtung sicher verhindert (zum Beispiel durch die Sicherheitsabsperrramatur MG 97, **Bild 3**).

Auftretende Druckspitzen können je nach Einsatzzweck des Lagerbehälters nur anwendungsspezifisch auftreten und sind zum Beispiel durch Einsatz einer zusätzlichen Sicherheitseinrichtung in der Rohrleitung entsprechend zu berücksichtigen.

Der verbleibende Massenstrom aufgrund von Wärme- und Vakuumverlusten darf nach EN 13648-3 ermittelt werden. Wie schon weiter oben beschrieben, berücksichtigt diese Norm

die Auslegung aufgrund thermischer Ausdehnung unter verschiedenen Voraussetzungen. Zum Teil wenden die Betreiber und Hersteller von kryogenen Gaslagerbehältern diese Norm auch an. Jedoch erfolgt erfahrungsgemäß die Berechnung in den meisten Fällen nach den Regeln der nordamerikanischen Compressed Gas Association (CGA) S-1.2 und S-1.3, auf denen die Bemessungsgrundlagen der EN Norm basieren.

Durch eine immer stärkere Standardisierung der Behältersysteme (einschließlich aller notwendigen Ausrüstungsteile) wird die Druckentlastungseinrichtung in fast allen Fällen mit Berücksichtigung von Brandlasten ausgelegt. Daraus folgt, dass die sich im ungünstigsten Fall ergebenden Massenströme (siehe 1.4. Behälter mit völlig defektem Isoliersystem und unter Brandeinwirkung) immer maximal sind. Für den wesentlich häufiger auftretenden Betriebsfall (siehe 1.1. vakuum-isolierte Behälter mit einem unbeschädigten Isoliersystem), wenn zum Beispiel vom Gasverbraucher keine ausreichende Gasmenge abgenommen wird und durch die Verdampfung des Gases im Behälter der Druck ansteigt, muss diese im Vergleich geringe Menge auch abgeführt werden können. Die für den großen Massenstrom im Brandfall ausgelegten Sicherheitsventile sind hierfür überdimensioniert und neigen dadurch eher zu unstabilem Verhalten

(Flattern). Dies hat wiederum zur Folge, dass die Sicherheitsventile eher undicht werden und schneller verschleifen.

Die Absicherung der geringen Massenströme kann mit entsprechend kleinen leistungsangepassten Sicherheitsventilen erfüllt werden. Der Ansprechdruck muss bei diesen Sicherheitsventilen um etwa 2 % unterhalb des Ansprechdrucks der Sicherheitsventile für den Brandfall (worst case) liegen. Wenn der Massenstrom entsprechend hoch ist, wird dieser durch die größeren Sicherheitsventile sicher abgeführt.

Damit der zugelassene Maximaldruck des Behälters ausgenutzt werden kann, ist es empfehlenswert, für die Absicherung der Brandlasten Vollhubventile mit einer Öffnungsdruckdifferenz von 5 % einzusetzen. Diese Sicherheitsventile werden 5 % höher als der Auslegungsdruck des Behälters eingestellt. Somit bleibt gewährleistet, dass der maximal zulässige Behälterdruck um nicht mehr als 10 % überschritten wird. In anderen Branchen wird die Absicherung der Druckbehälteranlagen bereits erfolgreich nach dieser Vorgehensweise praktiziert. Damit diese Auslegungsmethode jedoch angewendet werden kann, ist Rücksprache mit den für die Baumusterprüfungen zuständigen benannten Stellen und für den Betrieb zuständigen Überwachungsstellen zu halten.

**Bild 4:** Wechselventil Typ 06510 montiert mit zwei Sicherheitsventilen 06418

**Fig. 4:** Type 06510 three-way valve installed with two 06418 safety valves



## Wechselarmaturen mit Sicherheitsventilen

Die zwei im Anhang D der Norm EN 13458 dargestellten Druckentlastungssysteme werden in der Praxis wie genannt verwendet. Eine Priorität für eines der beiden dargestellten Systeme lässt sich im Markt nicht feststellen. Die Entscheidung, welches der beiden Systeme angewendet wird, scheint eine Frage der Sicherheitsphilosophie des Betreibers zu sein. Die in **Bild 4** dargestellte Druckentlastungseinrichtung zeigt einen HEROSE Wechselkugelhahn 06510 in Verbindung mit zwei aufgebauten Sicherheitsventilen der Type 06418, wie es der Darstellung 2 der Abbildung im Anhang D der Norm EN 13458 (Drei-Wegeventil) entspricht (siehe Bild 2). Es besteht bei diesem Wechselkugelhahn an den unteren Anschlüssen die Möglichkeit, zusätzlich Berstscheiben zu installieren. So ausgerüstet kann das Entlastungssystem dann entsprechend der 1. Darstellung (Umschaltventil) eingesetzt werden.

Damit die Sicherheitsventile bei redundanter Anordnung, oder zusätzlich ausgerüstet mit Berstscheiben (verschiedenartig) sicher funktionieren, sollten sich die Ansprechdrücke der aufgebauten Sicherheitsventile, bzw. der Sicherheitsventile und Berstscheiben voneinander unterscheiden. Für den Einsatz mit Berstscheiben ist die Differenz abhängig von der vom Hersteller angegebenen Einstelldrucktoleranz. Bei der Anwendung in Verbindung mit Vollhub-Sicherheitsventilen (maximal. 5 % Öffnungsdruckdifferenz) ist es empfehlenswert, den Ansprechdruck der Berstscheiben min-

destens 8 % höher als den Einstelldruck der Sicherheitsventile zu wählen.

## Druckabfall in der Zuleitung

Um eine stabile (flutterfreie) Funktion der Sicherheitsventile zu gewährleisten, ist in EN 13648-3 Abschnitt 5 der Wert für den maximalen Druckabfall in der Zuleitung festgelegt. Dieser Wert soll 2 % geringer sein als die Mindest-Schließdruckdifferenz des Sicherheitsventils. Ist die Schließdruckdifferenz nicht bekannt, so wird der maximale Druckabfall in der Zuleitung mit 3 % vom Sicherheitsventilansprechdruck definiert. Da die Schließdruckdifferenz generell mit den Federbereichen und den Ansprechdrücken der Sicherheitsventile variiert, ist die für die sichere Funktion zwar hilfreichere 2%-Regel kaum erfüllbar. Der zweite Wert nach der 3%-Regel ist scheinbar aus den bisherigen Regelwerken (AD2000-Merkblatt A2 und früheren Ausgaben des AD Regelwerkes) übernommen worden und funktioniert auch nur dann sicher, wenn die Schließdruckdifferenz generell größer ist. Die Schließdruckdifferenz von Sicherheitsventilen darf nach AD2000-Merkblatt A2 maximal 10 % betragen (15 % nach DIN EN ISO 4126).

Der Druckabfall in der Zuleitung zur Druckentlastungseinrichtung wird bei der Auslegung oft nicht ausreichend berücksichtigt. Schließlich ist die Rohrleitung von oben nach unten durch den Behälter geführt, damit relativ lang und soll aufgrund eines zu hohen Wärmeverlustes keinen großen Durchmesser haben. Zusätzlich wird der Druckabfall durch die Wechselarmatur beeinflusst.

## Ausblick

Durch den zunehmenden Grad der Standardisierung der Lagerbehälteranlagen bei den großen Betreibern wie zum Beispiel Air Liquide, Linde, Air Products und Praxair ist insbesondere im Hinblick auf die Auswirkungen eines möglicherweise falsch ausgelegten Sicherheitsventils oder einer zu gering dimensionierten Zuleitung eine genaue Auslegung der Druckentlastungseinrichtung notwendig. Hier sind die Hersteller der Lagerbehälteranlagen genauso gefordert, wie die Betreiber, die in ihren internen und weltweit geltenden Standards diese Anforderungen übernehmen. Fatal sind die Kosten, wenn aufgrund eines falsch dimensionierten Ventils eine nicht geplante Austauschaktion erforderlich wird.

Erfolgt die Auslegung der Sicherheitsventile im Hinblick auf die maximalen Massenströme für die Brandlast und die minimalen Massenströme bei ausschließlich thermischer Expansion getrennt voneinander – was dem normalen Betrieb am nächsten kommt – wird sich die Lebensdauer der Sicherheitsventile deutlich erhöhen.

### ACHEMA 2009:

Halle 8.0, Stand K38-K41



#### Olaf Schulenberg

Leiter Neuentwicklung  
Sicherheitsventile  
Herose GmbH  
23843 Bad Oldesloe  
Tel. +49 4531 509-162  
Olaf.Schulenberg@herose.de