



Kryogene Verdampfer-Systeme – Verhütung des Sprödbruchs von Ausrüstungen und Rohrleitungen

IGC Doc. 133 / 05 / D

**Cryogenic Vaporisation Systems – Prevention of brittle Fracture of
Equipment and Piping
IGC Doc. 133/05/E**

EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION

INDUSTRIEGASEVERBAND e.V.

Avenue des Arts 3-5 • B-1210 BRUSSELS
Tel: +32 2217 70 98 • Fax: +32 2219 85 14
E-mail: info@eiga.org • Internet: <http://www.eiga.be>

Komödienstr. 48 • D-50667 KÖLN
Tel: +49 221 9125750 • Fax: +49 221 912575 15
E-mail: Kontakt@Industriegaseverband.de
Internet: www.Industriegaseverband.de



Kryogene Verdampfer-Systeme- Verhütung des Sprödbruchs von Ausrüstung und Rohrleitungen

Erstellt von:

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| José Ballester Ricart | Praxair España S.L. |
| Martin Dennehy | Air Products Plc |
| Lennart Fredriksson | Linde AG |
| Grand Holland | BOC |
| Wolfgang Otte | AIR LIQUIDE Deutschland GmbH |
| Pierre Petit | Air Liquide S. A. |
| Hermann Puype | EIGA |

Dieses Dokument ist die deutsche Übersetzung des Original-EIGA-Dokumentes IGC 133/05 D (in englischer Sprache), die mit Erlaubnis der EIGA erstellt wurde.

Sollte der Text der deutschen Übersetzung teilweise unklar sein, so gilt in jedem Fall verbindlich der englischsprachige Text des EIGA-Originaldokumentes.

Die Informationen, die vom IGV herausgegeben werden, wurden mit größter Sorgfalt auf Basis der zur Zeit der Herausgabe vorhandenen Kenntnisse zusammengestellt. Der IGV schließt sich voll inhaltlich den nachfolgenden Haftungsausschlussklauseln der EIGA an.

Haftungsausschlussklauseln

Alle technischen Veröffentlichungen der EIGA oder im Namen der EIGA einschließlich Verfahrensbestimmungen, Sicherheitsvorschriften und aller sonstigen technischen Informationen, die in den Veröffentlichungen enthalten sind, stammen aus Quellen, die als zuverlässig betrachtet werden, und basieren auf technischen Informationen und Erfahrungen, die zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung von EIGA-Mitgliedern und anderen erhältlich waren.

Zwar empfiehlt die EIGA ihren Mitgliedern die Bezugnahme auf ihre Veröffentlichungen oder deren Verwendung, aber die Bezugnahme auf EIGA-Veröffentlichungen oder deren Verwendung durch EIGA-Mitglieder oder durch Dritte ist rein freiwillig und nicht bindend..

Daher übernehmen die EIGA und ihre Mitglieder keine Garantie für die Ergebnisse, und sie übernehmen keine Haftung oder Verantwortung hinsichtlich der Bezugnahme auf Informationen oder Vorschläge, die in Veröffentlichungen der EIGA enthalten sind, oder deren Verwendung.

Die EIGA hat keinerlei Kontrolle über die Tauglichkeit oder Untauglichkeit, Fehldeutungen, korrekte oder falsche Verwendung von in EIGA-Veröffentlichungen enthaltenen Informationen oder Vorschlägen durch Personen oder Instanzen (einschließlich EIGA-Mitgliedern), und die EIGA schließt ausdrücklich jegliche Haftung in diesem Zusammenhang aus.

EIGA-Veröffentlichungen werden regelmäßig überarbeitet, und den Anwendern wird dringend empfohlen, sich stets die neueste Ausgabe zu beschaffen.

© EIGA 2001/IGV 2001 - EIGA/IGV gestatten die Vervielfältigung dieser Veröffentlichung unter der Voraussetzung, dass sie als Urheber angegeben werden.

EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION
Avenue des Arts 3-5 - B 1210 Brussels
Tel +32 2 217 70 98 Fax +32 2 219 85 14
E-Mail: info@eiga.org Internet: http://www.eiga.be

INDUSTRIEGASEVERBAND e.V.
Komödienstr. 48 - D 50667 Köln
Tel +49 221 9125750 Fax +49 22191257515
E-Mail: Kontakt@Industriegaseverband.de
Internet: http://www.Industriegaseverband.de

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einführung..... | 5 |
| 2 | Zweck..... | 5 |
| 3 | Definitionen | 6 |
| 3.1 | Spröbruch | 6 |
| 3.2 | Duktil..... | 6 |
| 3.3 | Ausfallsichere Systeme | 6 |
| 3.4 | Strömungsreduzierte Systeme | 6 |
| 3.5 | Strömungsbeschränkte Systeme..... | 6 |
| 3.6 | Zähigkeit | 6 |
| 3.7 | Nicht unterbrechbare Versorgungssysteme | 6 |
| 3.8 | Hilfsenergiequelle und Hilfsenergiequellen | 7 |
| 3.9 | Verdampfer | 7 |
| 3.10 | Druck | 7 |
| 4 | Ursachen und Folgen von tiefer Temperatur | 7 |
| 4.1 | Ursachen von tiefer Temperatur..... | 7 |
| 4.2 | Folgen von tiefer Temperatur | 9 |
| 5 | Verdampfertypen | 10 |
| 5.1 | Luftbeheizte Verdampfer | 10 |
| 5.2 | Verdampfer mit großem Wärmeverrat (GWV-Verdampfer)..... | 11 |
| 5.3 | Verdampfer mit kleinem Wärmeverrat (KWV-Verdampfer)..... | 11 |
| 6 | Design-Philosophie | 12 |
| 6.1 | Eigensicherheit | 12 |
| 6.2 | Gefährdungsbeurteilung..... | 12 |
| 6.3 | Zuverlässigkeit der Kundenversorgung..... | 13 |
| 7 | Klassifizierung der Risiken..... | 13 |
| 7.1 | Druck-Volumen-(PV)-Energie | 13 |
| 7.2 | Risiken durch das Fluid | 14 |
| 7.3 | Wahrscheinlichkeit des Auftretens tiefer Temperatur..... | 15 |
| 7.4 | Betriebsweise | 15 |
| 8 | Kriterien für sicheres Design..... | 16 |
| 8.1 | Materialien am Ausgang des Verdampfers | 16 |
| 8.2 | Luftbeheizte Verdampfer | 16 |
| 8.3 | Unabhängige Schutzsysteme..... | 16 |
| 8.4 | Abschalteinrichtungen und Ventile | 17 |
| 8.5 | Drosselventile | 17 |
| 8.6 | Temperatur-Überwachungseinrichtungen | 17 |
| 8.7 | Pumpensysteme | 18 |
| 8.8 | Verdampfer mit kleinem Wärmeverrat (KWV-Verdampfer)..... | 18 |
| 8.9 | Pufferbehälter und Aufstellung | 18 |
| 8.9.1 | Aufstellung von Pufferbehältern, die aus Kohlenstoffstahl bestehen..... | 18 |
| 8.10 | Unterschiedliche Verdampfer im Parallelbetrieb | 21 |
| 9 | Betrachtungen für den Tieftemperaturschutz | 21 |
| 9.1 | Nicht unterbrechbare Versorgungssysteme | 21 |
| 9.1.1 | Materialien | 21 |
| 9.1.2 | Redundantes System | 21 |
| 9.1.3 | Drosselblende..... | 21 |
| 9.1.4 | Drosselventil | 22 |
| 9.2 | Unterbrechbare Versorgungssysteme..... | 22 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.2.1 | Instrumenten-Abschaltsysteme | 22 |
| 9.2.2 | Temperatur-Sollwerte | 22 |
| 9.2.3 | TTSS für Verdampfer mit großem Wärmeverrat (GWV-Verdampfer)..... | 23 |
| 9.3 | IEC 61511 | 23 |
| 10 | Lösungen..... | 23 |
| 10.1 | Allgemeine Betrachtungen für TTSS | 23 |
| 10.2 | Reaktion auf Alarme | 24 |
| 10.3 | Empfohlene Lösungen für spezielle Situationen | 24 |
| 11 | Betrieb | 27 |
| 11.1 | Beobachtung des Verbrauchs | 27 |
| 11.2 | Periodische Inspektion | 28 |
| 12 | Periodische Prüfung | 29 |
| 13 | Training für das Personal der Gasgesellschaft | 29 |
| 14 | Unterrichtung des Kunden | 29 |
| 14.1 | Kundenvertrag | 29 |
| 14.2 | Training und Information des Kunden | 30 |
| 15 | Referenzen | 30 |

1 Einführung

Kryogene (oder tiefkalte) Flüssigkeiten können durch Fehlfunktion kryogener Verdampfersysteme versehentlich in Prozessanlagen und Ausrüstungen eindringen, wodurch es zu einem katastrophalen Versagen infolge Sprödbruchs kommen kann. Wenn bestimmte Metalle, typischerweise Kohlenstoffstahl, kalt werden, erleiden sie Änderungen ihrer Struktur, wobei sie weniger duktil (plastisch verformbar) werden, d. h., sie werden spröde. Andere Metalle, wie Edelstahl, Aluminium, Messing, Kupfer etc., zeigen diesen duktil/spröden Übergang nicht und bleiben auch bei tiefen Temperaturen duktil. Dieser duktil/spröde Übergang kann dazu führen, dass ein vorhandener Defekt im Material sich zu einem Riss ausweitet oder dass sogar ein Riss entsteht, ohne dass die Spannung weiter zunimmt. Das spröde Versagen eines Bauteils wirkt mehr zerstörend, da sich der Riss schnell ausbreitet und Teile des Materials sich lösen können, während bei einem duktilen Versagen das Material „reißt“ und der Druck in mehr kontrollierter Weise entspannt wird.

2 Zweck

Dieses Dokument gilt für Versorgungssysteme mit kryogener Flüssigkeit, die entweder in einer Kundenanlage oder in einem Produktionswerk installiert sind und in denen kryogene Flüssigkeit verdampft und als primäre oder sekundäre Quelle für gasförmiges Produkt dient.

Eine sekundäre Quelle dient normalerweise der Reserveversorgung in einer Produktionsanlage, wenn deren Leistung abfällt oder wenn sie abgestellt ist, oder um den Bedarf des Kunden zu ergänzen, wenn die Kapazität der Produktionsanlage überschritten wird („Spitzenlast“).

Kryogene Flüssigkeiten sind:

- Flüssiger Stickstoff
- Flüssiger Sauerstoff
- Flüssiges Argon
- Flüssiger Wasserstoff
- Flüssiges Methan
- Flüssiges Ethen

Die Versorgungssysteme arbeiten mittels Verdampfung von kryogener Flüssigkeit, typischerweise als Reaktion auf sinkenden Druck in der Rohrleitung.

Die Systeme bestehen aus folgenden Komponenten:

- Flüssigversorgung entweder aus einem Niederdrucktank mit einer Pumpenanlage oder direkt aus einem Hochdrucktank,
- Verdampfersystem, welches entweder durch die Umgebungsluft beheizt wird oder eine externe Energiequelle benutzt, z. B. Dampf, Heißwasser, Elektrizität, direkte Befeuerung etc.

Dieses Dokument gilt nicht für folgende Situationen:

- Luftzerlegung oder andere kryogene Verfahren mit Destillationssäulen, Trennapparaten oder Tanks, in denen ein Gasstrom aus einem Sumpf stromabwärts in eine Wärmetauscheranlage geleitet wird.
- Rohrleitungssysteme, in denen ein Fluid über ein Ventil oder eine Drosselstelle entspannt wird, wobei die entstehende Temperatur unter der duktil/spröde Übergangstemperatur (DBTT) des Rohrleitungssystems liegt.
- Behälter, die schnell entspannt werden – wenn in dem Behälter mittels expandierendem, durch ein Ventil ausströmendem Gas Arbeit geleistet wird, wobei die Temperatur im Behälter und der Behälterwand absinken kann.

Dieses Dokument ist erstellt worden, um die Risiken zu identifizieren, die bei Verdampfersystemen für kryogene Flüssigkeit entstehen können und um Sicherheitsmaßnahmen zu empfehlen. Das Dokument empfiehlt sichere Praktiken für die Gestaltung neuer kryogener Verdampfersysteme. Für bestehende Systeme muss eine Gefährdungsbeurteilung erstellt werden, um festzustellen, ob irgendwelche Änderungen erforderlich sind.

3 Definitionen

3.1 Spröbruch

Spröbruch ist das Versagen durch einen Riss, der sich durch das Material schnell ausbreitet. Ein sprödes Material hat geringen Widerstand gegen Versagen, wenn die Elastizitätsgrenze erreicht ist. Ein derartiges Versagen setzt eine große Energiemenge frei und ist gefährlich, weil Bruchstücke des Materials über große Entfernungen weggeschleudert werden können.

3.2 Duktil

Die Eigenschaft eines Metalls, welche eine Dehnung unter schnellem Anstieg örtlicher Spannungen erlaubt, bevor es versagt.

3.3 Duktil/spröde Übergangstemperatur (DSÜT)

Englischer Fachausdruck für Ductile/Brittle Transit Temperature (DBTT).

3.4 Ausfallsichere Systeme

Ein System gilt als ausfallsicher („fail-safe“), wenn bei allen vernünftigerweise beim Betrieb zu erwartenden Fehlfunktionen oder Versagen von Komponenten oder Steuerleitungen das System so reagiert, dass keine gefährliche Situation entsteht und ein sicheres Betriebsverhalten vernünftigerweise erwartet werden kann.

3.5 Strömungsreduzierte Systeme

Systeme mit Verdampfern, bei denen durch den Kunden oder durch den Prozess akzeptiert wird, dass die Durchflussmenge vermindert werden kann. Das Tieftemperatur-Schutzsystem (TTSS) muss so gestaltet sein, dass die Strömung entsprechend der für den Verdampfer verfügbaren Energie gedrosselt wird.

3.6 Strömungsbeschränkte Systeme

Eine geeignet gestaltete Drosselblende oder eine andere fest installierte Einrichtung, die unmittelbar stromabwärts von dem Verdampfer installiert ist, um die Durchflussmenge auf einen maximalen Wert zu begrenzen.

3.7 Zähigkeit

Die Fähigkeit eines Metalls, irgendwelche Spannungen, die durch eine plötzliche Belastung entstehen, im Innern zu verteilen; dies ist das Gegenteil von „Sprödigkeit“, was Anfälligkeit für plötzliches Versagen bedeutet.

3.8 Nicht unterbrechbare Versorgungssysteme

Das sind Systeme mit Verdampfern, wobei das System aus Sicherheitsgründen so gestaltet ist, dass die Strömung zum Prozess oder zum Endnutzer nicht unterbrochen werden kann, z. B.

- Inertgasschutz bei gefährlicher Atmosphäre oder gefährlichem Prozess.
- Sauerstoffversorgung in einer Einrichtung im Gesundheitswesen.

Die folgenden Standards sind für diese Situationen relevant:

NFPA 50 – Standard for Bulk Oxygen Systems at Consumer Sites [1]. (Standard für Sauerstoff-Tanksysteme in Verbraucheranlagen).

NFPA 86C – Standard for Industrial Furnaces Using a Special Processing Atmosphere [2]. (Standard für Industrieöfen, die eine spezielle Verfahrens Atmosphäre verwenden).

EN 737-3 1998 – Medical gas pipeline systems – Part 3: Pipelines for compressed medical gases and vacuum [3]. (to be replaced by EN ISO 7396-1 Medical gas pipeline systems, in due course [4]). (EN 737-3 1998 – Rohrleitungssysteme für medizinische Gase – Teil 3: Rohrleitungen für verdichtete medizinische Gase und Vakuum [3], soll ersetzt werden durch EN ISO 7396-1 – Rohrleitungssysteme für medizinische Gase [4]).

NFPA 99 – Standard for Health Care Facilities [5]. (Standard für Gesundheitseinrichtungen).

3.9 Hilfsenergiequelle und Hilfsenergiequellen

Die Ausdrücke „Hilfsenergiequelle“ und „Hilfsenergiequellen“, wie sie in diesem Dokument benutzt werden, bezeichnen die Mittel, mit denen ein Verdampfer mit Wärme für die Verdampfung kryogener Flüssigkeiten versorgt wird, wobei die folgenden Anwendungen gemeint sind:

- Elektrische Energie zum Antrieb von Heißluft- oder Umgebungsluft-Ventilatoren, Gebläsen, Wasser- oder Treibstoffpumpen sowie Tauch- oder Strahlungserhitzer oder elektrisch beheizte Metallblock-Verdampfer.
- Versorgung mit fossilen Brennstoffen, einschließlich Erdgas oder Heizöl, die zur Erzeugung von Wärme oder Dampf verbrannt werden.
- Dampf, der von einem Kunden oder aus einer anderen Quelle bereitgestellt wird.
- Andere Quellen für gepumpte oder umlaufende heiße Flüssigkeiten, wie Wasserbäder, Heißwasserströme, Glycol-Wasser-Ströme, Wärmeträgerflüssigkeiten oder ähnliche Formen der Versorgung mit Prozess- oder Abwärme.

Der Begriff „Hilfsenergiequellen“ schließt die durch natürliche Luftströmung beheizten Verdampfer nicht ein. „Hilfsenergiequellen“ schließen jedoch die durch erzwungene Luftströmung mittels Ventilator beheizten Verdampfer ein.

3.10 Verdampfer

Ein Wärmetauscher, der eine kryogene Flüssigkeit in den dampfförmigen Zustand umwandelt, indem Wärmeenergie von einer externen Quelle in die Flüssigkeit übertragen wird.

3.11 Druck

In diesem Dokument bezeichnet „bar“ den Überdruck, soweit nichts anderes angegeben ist – d. h. (bar, abs) für den Absolutdruck und (bar, dif) für den Differenzdruck.

4 Ursachen und Folgen von tiefer Temperatur

4.1 Ursachen von tiefer Temperatur

Einige der Ursachen von tiefer Temperatur am Ausgang eines Verdampfers sind in der folgenden Tabelle genannt:

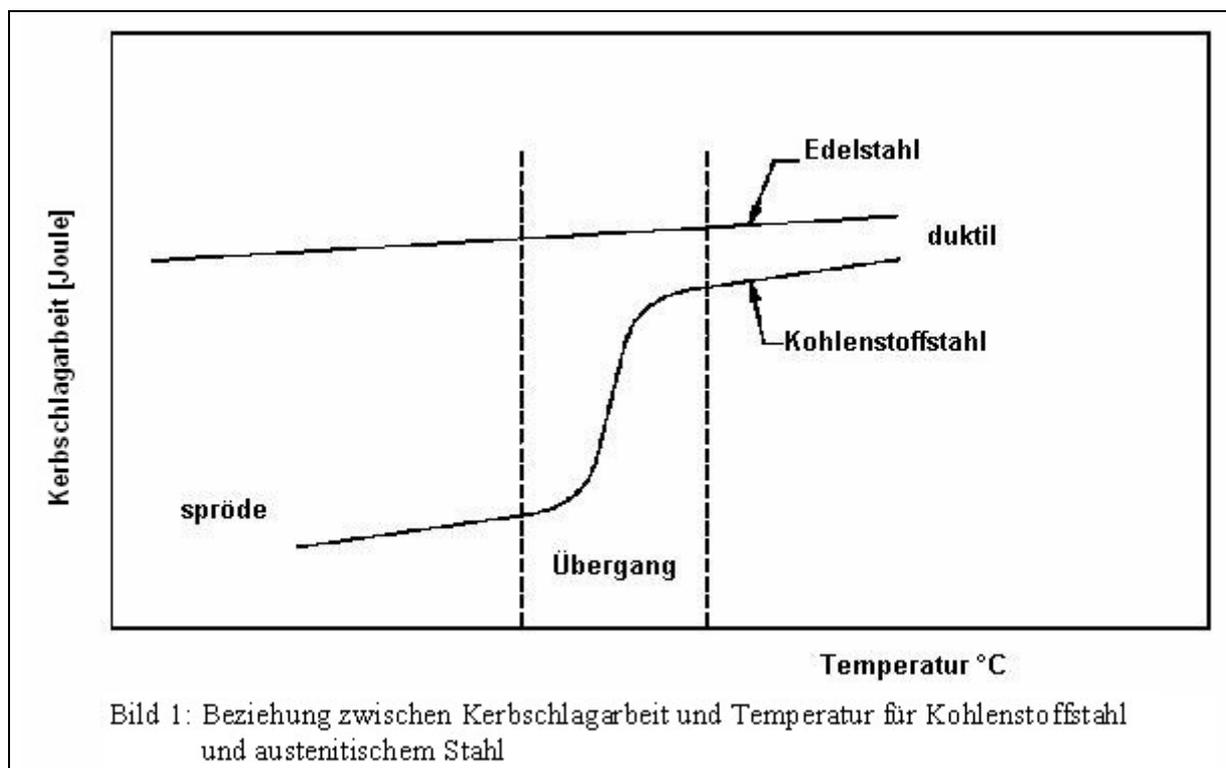
Tabelle 1 – Ursachen von tiefer Temperatur

| Verdampfertyp | Ursache von tiefer Temperatur | Beispiel |
|--|--|---|
| Alle Typen | Vermehrte Entnahme durch den Kunden übersteigt die Design-Kapazität, insbesondere für einen längeren Zeitraum. | Der Kunde schließt – ohne den Gaslieferanten zu informieren – zusätzliche Einrichtungen an, was einen größeren Durchsatz erfordert. |
| Alle Typen | Die Durchflussmenge übersteigt die veranschlagte Kapazität des Verdampfers. | Ein Entspannungsventil an der Rohrleitung öffnet und bleibt offen. Längere Entspannung stromabwärts vom Verdampfer. |
| Alle Typen | Ein Ventil zur Regelung des Rohrleitungsdruckes oder der Durchflussmenge öffnet vollständig. | Stellantrieb des Regelventils versagt. Stellglied des Regelventils funktioniert nicht. |
| Alle Typen | Das Regelventil versagt, so dass tiefe Temperatur im Verdampfer entsteht. | Versagen des Hauptsystems zur Regelung von Druck oder Durchflussmenge. |
| Luftbeheizter Verdampfer, mittels Ventilator luftbeheizter Verdampfer | Der Verdampfer ist durch große Abnahmemenge, Spitzenlast oder Ausfall der Haupt-Gasversorgungsanlage etc. stark vereist. | Verdampfer sind für eine bestimmte Durchflussmenge und Zeitdauer ausgelegt. Wenn diese Werte überschritten werden, kann die Gas-Austrittstemperatur sinken. |
| Luftbeheizter Verdampfer, mittels Ventilator luftbeheizter Verdampfer | Verdampfer stark vereist. | Diese Situation entsteht, wenn bei einem Verdampfer-Umschaltssystem das Umschaltventil nicht die korrekte Schaltposition einnimmt. |
| Luftbeheizter Verdampfer, mittels Ventilator luftbeheizter Verdampfer | Infolge niedriger Umgebungstemperatur für längere Zeit besteht keine Möglichkeit, den Verdampfer abzutauen. | Versagen des zeitabhängigen Umschalters, wenn vorhanden. Ungeeignete Aufstellung des Verdampfers, so dass er nicht abtauen kann. Veränderungen in der Umgebung des Verdampfers, die seine Leistungsfähigkeit beeinflussen (Errichtung von Wänden nahe am Verdampfer). |
| Alle Wasserbadverdampfer | Niedriger oder fehlender Wasserspiegel im Wasserbad. | Ablassventil geöffnet. Leck im Wasserbad. Versagen des Wasser / Dampf-Versorgungssystems. |
| Mit Dampf beheizte Verdampfer | Das Dampfregelventil öffnet nicht. Die Dampfversorgung vom Boiler versagt. | Versagen des Ventil-Stellantriebs. Fehlfunktion des Ventil-Stellglieds. Fehlfunktion des Reglers. Durch überhitzten Dampf wird der Inhalt des Wasserbades verkocht. |
| Elektrisch beheizte Verdampfer | Versagen der elektrischen Heizung. | Versagen der Stromversorgung. Versagen der Schalteinrichtung. Heizelement brennt durch. |
| Unterfeuerte Wasserbadverdampfer | Ausfall des Brenngases. | Fehlfunktion des Brenner-Regelsystems. Ausfall der Brenngasversorgung. |
| Mittels Ventilator luftbeheizter Verdampfer | Ausfall des Ventilators. Erhitzer zum Abtauen, soweit vorhanden, funktioniert nicht. | Versagen der Stromversorgung. Versagen der Schalteinrichtung. Mechanisches Versagen des Ventilators. |
| Luftbeheizter Verdampfer mit Zusatz-Erhitzer | Der Zusatz-Erhitzer ist nicht in der Lage, die Gastemperatur über der erforderlichen Minimal-Temperatur zu halten. | Versagen der Stromversorgung. Versagen der Schalteinrichtung. Heizelemente brennen durch. Übergroße Durchflussmenge. |

| | | |
|---|---|--|
| Verdampfer mit umgepumpter Wärmeträgerflüssigkeit | Versagen der Heizeinrichtung, geringer oder kein Umlauf von Wärmeträgerflüssigkeit. | Versagen der Stromversorgung. Versagen der Schalteinrichtung. Mechanisches Versagen der Pumpe. |
|---|---|--|

4.2 Folgen von tiefer Temperatur

Jedes Material, das für Sprödbbruch anfällig ist, hat eine zugeordnete „duktil/spröde Übergangstemperatur“ (DBTT). Die DBTT ist jene Temperatur, unterhalb der die Kerbschlagzähigkeit nach Charpy einen sehr steilen Abfall aufweist und das Material ohne plastische Verformung, d. h. ohne wesentliches Dehnen oder Fließen versagt. Die Beziehung zwischen Duktilität und Temperatur ist für einen typischen Kohlenstoffstahl in Bild 1 dargestellt. Stahl mit geringem Kohlenstoffgehalt zeigt eine Verminderung der Schlagarbeit bei abnehmender Temperatur. Gewöhnliche Konstruktionswerkstoffe wie Kohlenstoffstahl und niedriglegierte Stähle sind für Tieftemperatur-Anlagen nicht geeignet und sind anfällig für Sprödbbruch bei diesen tieferen Temperaturen.



Austenitische Edelstähle sind zäh und bleiben duktil bei tiefen Temperaturen.

Materialien wie Edelstähle, Aluminium, Messing und Kupfer zeigen keinen duktil/spröden Übergang und können bis zu kryogenen Temperaturen hinab benutzt werden.

Jedes Teil der Anlage (Rohre, Behälter, Ventile etc.), welches tiefen Temperaturen ausgesetzt sein kann, muss bewertet sein, um sicherzustellen, dass es diesen Temperaturen widerstehen kann.

Mit Bezug auf die Anwendung nichtmetallischer Materialien stromabwärts von Verdampfern ist das Verhalten der Materialien bei tiefen Temperaturen zu bewerten, bevor über die Verwendung entschieden wird.

Sprödbbruch kann zu folgenden gefährlichen Konsequenzen führen:

Freisetzung von Druck-Volumen-(PV)-Energie: Freisetzung der in der Anlage enthaltenen Druckenergie. Die Druckenergie kann durch die Kräfte der Druckwelle Schäden an Bauwerken und Verletzungen von Personen verursachen. An Verdampfer angeschlossene Pufferbehälter und Rohrleitungen großen Durchmessers, die aus Materialien bestehen, welche für Sprödbbruch anfällig

sind, stellen wegen der großen PV-Energie, die im Falle des Versagens freigesetzt wird und wegen des größeren Bereichs, in dem Verletzungen oder Todesfälle möglich sind, eine besondere Gefahr für das Personal dar.

Zertrümmerung von Anlagen: Bruchstücke und ganze Teile der versagenden Anlage, die mit großer Geschwindigkeit von ihrem ursprünglichen Ort weggeschleudert werden, können Personen verletzen und Einrichtungen in der Nähe der versagenden Anlage beschädigen.

Verlust des Einschlusses: Durch unkontrollierte Freisetzung des in der Anlage vorhandenen Prozess-Fluids können gefährliche Konsequenzen auch außerhalb der durch Trümmer und Überdruck gefährdeten Zone entstehen. Freigesetzte Prozess-Fluide können in Abhängigkeit von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Fluids Personen und Einrichtungen gefährden.

Ausströmende kryogene Flüssigkeiten können zu einem großen Flüssigkeitsaustritt aus der Anlage und zu einer Dampf Wolke führen. Kaltverbrennungen, Sichtbehinderungen und Schäden an angrenzenden Anlagen sind möglich.

Toxische Fluide können zu Gesundheitsschäden oder zum Tod von Personen führen, wenn diese einer toxischen Konzentration eines Prozess-Fluids ausgesetzt sind. Toxische kryogene Flüssigkeiten werden in diesem Dokument nicht behandelt, aber ein Spröbruch z. B. in einem Stickstoff-Verdampfersystem, das zum Spülen einer Chemieanlage benutzt wird, kann zur Freisetzung von toxischen Stoffen aus dem Prozess des Anwenders führen.

Brennbare Fluide, wie Wasserstoff, Ethen und Methan werden eine brennbare Dampf Wolke oder einen brennbaren Gasstrahl bilden. Die Entzündung der Wolke wird zu einem Überdruck führen, der zu den Wirkungen der Freisetzung von Druckenergie beiträgt. Flammenstrahlen, aufflammendes Feuer oder Flüssigkeitsbrände können nach der Freisetzung von Produkt entstehen und zu Verletzungen von Personen und Schäden an Einrichtungen führen.

Freisetzung von Sauerstoff wird zur Bildung einer sauerstoffangereicherten Atmosphäre führen, welche die schnelle Verbrennung vieler Materialien unterstützt.

Freisetzung von erstickenden Gasen (z. B. Stickstoff, Argon) wird zur Bildung einer Atmosphäre mit Sauerstoffmangel führen, mit dem Risiko des Todes oder der Verletzung von Personen, die sich in dieser Atmosphäre aufhalten.

Kaltverbrennungen: Ein sekundäres Risiko sind Kaltverbrennungen infolge des Kontakts der Haut mit kalten Rohrleitungen und Behältern nach der Freisetzung von Produkt.

Verfügbarkeit der Gasversorgung: Die Versprödung und das Versagen eines Systems führt auch zum Ausfall der Versorgung des Kunden, was in manchen Fällen ein zusätzliches Risiko für den Kunden darstellen kann. Bei Aktivierung eines Tieftemperatur-Abschaltsystems wird die Versorgung des Kunden ebenfalls unterbrochen, aber die Versorgung kann viel schneller wieder aufgenommen werden, als im Fall eines Spröbruchs.

5 Verdampfertypen

In diesem Dokument werden die folgenden Verdampfertypen behandelt:

5.1 Luftbeheizte Verdampfer

Mit Umgebungsluft beheizte Verdampfer sind solche, bei denen durch Konvektionsströme in der atmosphärischen Luft nahe an der Oberfläche von Rippenrohren die latente Wärme der Umgebungsluft genutzt wird, um Wärme für die Verdampfung bereitzustellen und die Gastemperatur am Verdampferausgang auf einen Wert unterhalb der Umgebungstemperatur anzuheben.

5.2 Verdampfer mit großem Wärmeverrat (GWV-Verdampfer)

Ein GWV-Verdampfer ist ein solcher, der eine bedeutende Menge an Wärme gespeichert hat, die bei Ausfall der Energie, beim Versagen der Energiezufuhr oder bei Überlastung zur Verfügung steht. Beim Versagen der Hilfsenergiequelle beträgt die Zeitspanne, in der die Austrittstemperatur bis zur Versprödungstemperatur abfällt, einige Minuten oder mehr. Die Energiezufuhr kann versagen durch fehlenden Dampf oder Brennstoff oder durch Ausfall der elektrischen Heizung eines Wasserbadverdampfers oder durch die Bildung von Eis und Reif an einem luftbeheizten Verdampfer oder an einem mittels Ventilator luftbeheizten Verdampfer. Beispiele für GWV-Verdampfer:

- **Wasserbadverdampfer** – ein Wasserbad wird durch Umlauf von Heißwasser, Injektion von Dampf, elektrische Heizelemente oder durch mit Kohlenwasserstoff-Brennstoff beheizte Erhitzer auf der gewünschten Temperatur gehalten. Eine Verdampferschlange oder ein Röhrenbündel in dem Wasserbad nutzt die Wasserwärme, um die kryogene Flüssigkeit zu verdampfen, das Gas zu überhitzen und die Temperatur am Ausgang des Verdampfers zu erhöhen. Der Wärmehalt des Wassers hilft, die Schwankungen der Austrittstemperatur zu vermindern.
- **Elektrisch beheizte Metallblock-Verdampfer** – elektrische Energie wird in Heizelementen angewendet, die in einen Metallblock eingebettet sind und diesen erhitzen. Die Verdampferschlange ist ebenfalls in den Block eingebettet und so wird die Wärme aus dem Block in die kryogene Flüssigkeit zur Verdampfung und Überhitzung übertragen.
- **Mittels Ventilator luftbeheizte Verdampfer** – ein Ventilator bläst Luft quer über die Oberfläche von Rippenrohren und so wird die latente Wärme der Umgebungsluft genutzt, um Wärme für die Verdampfung bereitzustellen und die Gastemperatur am Verdampferausgang auf Werte unterhalb der Temperatur der Umgebungsluft anzuheben. Der Verdampfer hat eine verminderte Verdampfungskapazität, wenn der Ventilator nicht in Betrieb ist.
- **Luftbeheizte Verdampfer mit Zusatzerhitzern** – elektrische Heizelemente sind stromabwärts von luftbeheizten Verdampfern installiert, um das Gas zu überhitzen und die Gastemperatur am Verdampferausgang über die mindestens erforderliche Temperatur für das stromabwärts liegende System anzuheben.
- **Luftbeheizte Verdampfer mit Umschaltsystem** – zwei Verdampfer oder Gruppen von Verdampfern, die parallel geschaltet sind, wobei die Strömung zwischen den Verdampfern oder Gruppen umgeschaltet wird, um einen Verdampfer oder eine Gruppe abzutauen.

5.3 Verdampfer mit kleinem Wärmeverrat (KWV-Verdampfer)

Ein KWV-Verdampfer ist ein solcher, der wenig oder keine Energie gespeichert hat, die bei Energieausfall, Versagen der Energiezufuhr oder Überlastung zur Verfügung stünde. Wenn die Hilfsenergiequelle versagt, kann die Austrittstemperatur in weniger als einer Minute auf die Versprödungstemperatur absinken. Die Konstruktionsmaterialien des Verdampfers und die zurückbleibende Menge an Wärmeträgermittel (z. B. Wasser) bestimmen den Wärmeverrat.

Beispiele sind:

- **Verdampfer mit umgepumpter Wärmeträgerflüssigkeit**, ohne Speicherung, z. B. Wasser von Umgebungstemperatur oder warmes oder heißes Wasser, wobei die latente Wärme des Wassers benutzt wird, um Wärme für die Verdampfung bereitzustellen und die Gastemperatur am Verdampferausgang zu erhöhen.
- **Verdampfer mit Dampfmantel** – Dampf wird in kontrollierter Menge in einen Wärmetauscher injiziert, wobei der Dampf an den Produktrohren kondensiert und die latente Wärme des Dampfes genutzt wird, um die kryogene Flüssigkeit zu verdampfen, das Gas zu überhitzen und die Temperatur am Ausgang des Verdampfers auf einen Wert bei oder über der Temperatur der Umgebungsluft zu erhöhen. Es gibt dabei keine wesentliche thermische Masse, die helfen könnte, die Schwankungen der Ausgangstemperatur zu vermindern, wenn die Dampfströmung sich ändert.

6 Design-Philosophie

6.1 Eigensicherheit

Hinsichtlich der Tieftemperatur-Versprödung ist ein eigensicheres Verdampfersystem ein solches, bei dem die Temperatur des austretenden Gases nicht unter die minimal zulässige Nenn-Temperatur des Rohrmaterials oder der angeschlossenen Ausrüstung sinken kann. In einem solchen Fall sind keine besonderen Maßnahmen zum Schutz vor tiefen Temperaturen erforderlich und daher ist dies die bevorzugte Option für das System.

Ein Beispiel wäre ein Verdampfersystem, bei dem alle Komponenten und Rohrleitungen stromabwärts bis zu den letzten Anwendungspunkten, einschließlich derselben, aus Materialien bestehen, die für kryogene Temperaturen geeignet sind (z. B. Edelstahl, Kupfer, Messing).

6.2 Gefährdungsbeurteilung

In allen anderen Fällen muss das gesamte System (einschließlich aller Prozess-Mess-Systeme, Temperatur- und Durchflussmengen-Überwachung und Regelsysteme) in einer Risikoprüfung bewertet und einer Gefährdungsbeurteilung unterzogen werden. Die Bewertung kann auf einer allgemeinen Grundlage erfolgen. Die Konsequenzen müssen bewertet werden, wenn ein Versagen des Drucksystems möglich ist und diese Konsequenzen sollten reduziert werden, wann immer das möglich ist (z. B. durch Beseitigung von Pufferbehältern, soweit nicht benötigt).

Die Gefährdungsbeurteilung sollte umfassen:

- Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von tiefer Temperatur, wobei der Verdampfertyp und die bestehende oder beabsichtigte Betriebsweise zu berücksichtigen sind.
- Die Konsequenzen von tiefer Temperatur, wobei die Art des Fluids, die gespeicherte Energie, die Örtlichkeit der Anlage und die Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit von Personen in der Nähe zu berücksichtigen sind.
- Das Vorhandensein von irgendwelchen Schutzvorkehrungen im allgemeinen Prozess-Design und im elementaren Prozess-Regelsystem.
- Das Vorhandensein von Alarmsignalen, auf die rechtzeitig und effektiv reagiert werden kann.
- Irgendwelche sonstigen Maßnahmen oder Faktoren, welche die Wahrscheinlichkeit oder die Folgen eines Schadensfalles mindern, z. B. die Häufigkeit von Inspektionen, um Eisbildung oder Reifansatz an Rohrleitungen etc. zu beobachten.

Diese Faktoren sollten bei der Bestimmung der zulässigen Wahrscheinlichkeit des Versagens bei Belastung eines verlangten Tieftemperatur-Schutzsystems betrachtet werden.

Der internationale Standard IEC 61511 [6] stellt eine Methode bereit, um die zulässige Wahrscheinlichkeit des Versagens bei Belastung eines Tieftemperatur-Schutzsystems für einen bestimmten Risikograd zu bestimmen.

Die Risikoprüfung und die Gefährdungsbeurteilung muss idealerweise das Kundensystem einbeziehen. Wo dies wegen mangelnder Informationen über das Kundensystem nicht möglich ist, muss eine eindeutige Liefergrenze mit normalen und abnormalen Prozess-Parametern festgelegt werden.

Die Spezifikation des Tieftemperatur-Schutzsystem kann jede beliebige Kombination der in den folgenden Abschnitten beschriebenen Schutzmaßnahmen nutzen. Nicht alle aufgeführten Schutzmaßnahmen müssen realisiert sein, aber das Design des Systems soll genügend Schutzmaßnahmen umfassen, so dass die Bewertung des Schutzsystems ein akzeptables niedriges Risiko ergibt.

Typischerweise bestehen die Schutzmaßnahmen aus Systemen und Komponenten, die so gestaltet sind, dass folgendes erreicht wird:

- Minimierung der Wahrscheinlichkeit für Belastungen oder Abweichungen des Prozesses, bei denen kalte Dämpfe oder Flüssigkeiten aus den Verdampfern in stromabwärts liegende Systeme mitgerissen oder weitergeleitet werden können, z. B. indem die Strömung auf einen Maximalwert gedrosselt oder indem eine fest installierte Einrichtung zur Strömungsbegrenzung benutzt wird.
- Überwachung und Feststellung tiefer Temperaturen, großer Durchflussmengen kalter Flüssigkeit oder des Ausfalls der Wärmeversorgung im Wärmetauscher.
- Abschaltvorrichtungen zum Absperrn von Prozess-Strömen.
- Bereithalten eines alternativen Verdampfers oder Gasversorgungs-Systems.

Typischerweise erfolgt die Überwachung mit zugehörigen Alarmen und Abschaltungen, wie sie durch die Gefährdungsbeurteilung gefordert werden, mit folgenden Einrichtungen:

- Messung tiefer Temperaturen in den Prozess-Strömen, die von den Verdampfern kommen.
- Feststellung des Ausfalls von Hilfsenergiequellen für Heizelemente der Verdampfer.
- Feststellung tiefer Temperaturen oder niedriger Drücke in der Hilfsenergiequelle für Heizelemente in einem Verdampfersystem.

Zu den Einrichtungen für die Sicherheitsabschaltung können gehören:

- Verriegelungen zur Absperrung des Prozess-Gasstroms aus einem Verdampfer oder Erhitzer.
- Verriegelungen zur Abschaltung von Pumpen.
- Absperrventile in den abführenden Leitungen von jeder der oben genannten Einrichtungen, einschließlich Lagertanks.

Die Wahrscheinlichkeit des Versagens bei Belastung von Sicherheitseinrichtungen muss bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden. Diese Angaben können vom Hersteller der Einrichtung oder von der Gasegesellschaft erhalten werden oder aus anerkannten veröffentlichten Quellen entnommen werden.

Irgendwelche Änderungen im Design oder im Betrieb müssen in einer Revision der Risikoprüfung und Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden.

6.3 Zuverlässigkeit der Kundenversorgung

Als Teil der Gefährdungsbeurteilung muss der Einfluss der vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen auf die Zuverlässigkeit der Kundenversorgung berücksichtigt werden. Dies ist besonders wichtig bei nicht unterbrechbaren Versorgungssystemen. Wenn erforderlich, ist die Versorgungssicherheit zu erhöhen, z. B. durch Redundanz von Komponenten oder Systemen (z. B. „Zwei-von-Drei-Auswahl“ bei Temperatur-Sensoren, parallel angeordnete Zwillings-Absperrventile, Zwillings-Verdampferreihen) oder Auswahl besseren Materials für ein eigensicheres System.

7 Klassifizierung der Risiken

Als Teil der Gefährdungsbeurteilung sind die Wahrscheinlichkeit und die Folgen des Auftretens tiefer Temperatur zu betrachten. Die relative Schwere der Folgen und die relative Wahrscheinlichkeit der auslösenden Ereignisse kann klassifiziert werden. In den folgenden Abschnitten wird eine Anleitung für eine umfassende Klassifizierung der Risiken gegeben.

7.1 Druck-Volumen-(PV)-Energie

Die Freisetzung von in der Anlage enthaltener Druckenergie kann durch örtliche Druckkräfte Schäden an Konstruktionen und Verletzungen von Personen verursachen. Bruchstücke oder ganze Teile, die mit hoher Geschwindigkeit von der versagenden Einrichtung weggeschleudert werden, können ebenfalls zur Verletzung von Personen im Werk oder zu Schäden bei angrenzenden Anlagen führen. Pufferbehälter und Rohrleitungen großen Durchmessers, die mit Verdampfern verbunden sind und aus sprödbruchanfälligem Material bestehen, stellen ein besonderes Risiko für das Personal dar - wegen der hohen Druck-Volumen-(PV)-Energie, die bei einem Versagen frei wird und wegen des größeren Bereichs, in welchem es zu Verletzungen oder Todesfällen durch die Druckwelle kommen

könnte. Die Risikograde können in einer absteigenden Skala wie folgt klassifiziert werden, wobei P der maximale Betriebsdruck in bar Überdruck und V das Volumen des Behälters in Liter ist.

Tabelle 2 – Klassifizierung nach der PV-Energie

| PV-Risikograd | Typ | Beispiel |
|----------------------|--|--|
| P3 | Verdampfer, bei dem das Produkt aus maximalem Betriebsdruck (bar Ü) und dem Volumen des Pufferbehälters (Liter) größer als 180 bar · Liter ist oder das Produkt aus maximalem Betriebsdruck (bar Ü) und dem Innendurchmesser der abführenden Rohrleitung (mm) größer als 3500 bar · mm ist. | Stromabwärts installierter Pufferbehälter. |
| P2 | Verdampfer, bei dem das Produkt aus maximalem Betriebsdruck (bar Ü) und dem Innendurchmesser der abführenden Rohrleitung (mm) größer als 1000 aber kleiner oder gleich 3500 bar · mm ist oder das Produkt aus maximalem Betriebsdruck (bar Ü) und dem Volumen des Pufferbehälters (Liter) gleich oder kleiner als 180 bar · Liter ist. | Stromabwärts installierte Rohrleitung großen Durchmessers. Beispiel: Maximaler Betriebsdruck 17,5 bar Ü, Rohrleitungsdurchmesser 200 mm (8 Zoll Nenndurchmesser). |
| P1 | Verdampfer, bei dem das Produkt aus maximalem Betriebsdruck (bar Ü) und dem Innendurchmesser der abführenden Rohrleitung (mm) kleiner oder gleich 1000 bar · mm ist. | Stromabwärts installierte Rohrleitung kleinen Durchmessers. Beispiel: Maximaler Betriebsdruck 10 bar Ü, Rohrleitungsdurchmesser 100 mm (4 Zoll Nenndurchmesser). |

Hinweis: Die oben genannten Werte beruhen auf den Gruppen und Kategorien, die in der Druckgeräterichtlinie PED 97/23/EC [7] im Detail erläutert sind.

7.2 Risiken durch das Fluid

Aus der Anlage auslaufende kryogene Flüssigkeit kann zur Freisetzung großer Flüssigkeitsmengen und zur Entstehung einer Dampfwolke führen. Kaltverbrennungen, Sichtbehinderung und Schäden an angrenzenden Einrichtungen sowie Verletzungen von Personen sind möglich. Die Risikograde können in einer absteigenden Skala wie folgt klassifiziert werden:

Tabelle 3 – Klassifizierung nach den Risiken durch das Fluid

| Risikograd | Art des Risikos, bezogen auf den PV-Risikograd | Beispiel |
|------------|---|---|
| H3 | Giftig oder Brennbar. Alle PV-Risikograde | Der Bruch einer Rohrleitung stromabwärts vom Verdampfer könnte dazu führen, dass aus dem Anwendungssystem giftiges Gas zurückströmt und freigesetzt wird oder dass brennbares Gas aus dem Anwendungssystem oder aus einem Verdampfer für flüssigen Wasserstoff, flüssiges Methan oder flüssiges Ethen freigesetzt wird. |
| H2 | Sauerstoff PV-Risikograde P3 und P2 | Die Freisetzung von Sauerstoff führt zur Bildung von sauerstoffangereicherter Atmosphäre, welche die schnelle Verbrennung vieler Materialien unterstützt. Personen in der Nähe, die rauchen, Fahrzeuge führen oder Feuerarbeiten ausführen, sind besonders gefährdet. |
| H1 | Inerte Gase – Alle PV-Risikograde; Sauerstoff – PV-Risikograd P1 | Die Freisetzung von erstickendem Gas (z. B. Stickstoff, Argon) verursacht die Bildung einer Atmosphäre mit Sauerstoffmangel, was zum Tod oder zur Verletzung von Personen in dieser Atmosphäre führen kann. |

7.3 Wahrscheinlichkeit des Auftretens tiefer Temperatur

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens tiefer Temperatur hängt von der Gestaltung des Prozesses und von dem Wärmeverrat des Verdampfers ab. Die Wahrscheinlichkeit des Risikos kann in einer absteigenden Skala wie folgt klassifiziert werden:

Tabelle 4 – Klassifizierung nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens tiefer Temperatur

| Wahrscheinlichkeitsgrad für tiefe Temperatur | Typ |
|--|---|
| L2 | Verdampfer mit großem Wärmeverrat (GWV-Verdampfer), wie z. B. Wasserbadverdampfer, die mit Dampf, mit einer Brennstoffflamme oder elektrisch beheizt werden. Verdampfer mit Ventilator oder luftbeheizte Verdampfer mit einem Zusatz-Erhitzer oder mit einem Umschaltsystem. |
| L1 | Luftbeheizte Verdampfer ohne Umschaltsystem. |

Hinweis: Verdampfer mit kleinem Wärmeverrat sind ausgeschlossen aus Tabelle 4 und aus den Tabellen 6.1, 6.2, 6.3. Gründe dafür sind im Abschnitt 8.8 erläutert.

7.4 Betriebsweise

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens tiefer Temperatur wird von der Betriebsweise des Verdampfers beeinflusst. Die Wahrscheinlichkeit des Risikos kann in einer absteigenden Skala wie folgt klassifiziert werden:

Tabelle 5 – Klassifizierung nach der Betriebsweise

| Betriebsweise | Typ |
|---------------|--|
| S2 | Kontinuierliche Versorgung oder Reserve-Versorgung bei Spitzenlast |
| S1 | Nur Reserve-Versorgung |

8 Kriterien für sicheres Design

8.1 Materialien am Ausgang des Verdampfers

Wenn die Rohrleitungen stromabwärts von einem kryogenen Verdampfer, einschließlich der Rohrleitungen für die Kundenversorgung und der angeschlossenen Verfahreneinrichtungen vollständig aus Materialien bestehen, die für kryogene Temperaturen geeignet sind, ist ein Tieftemperatur-Abschaltsystem nicht erforderlich.

Jedes Verdampfersystem benötigt am Ausgang des Verdampfers ein Stück Rohrleitung, das für kryogene Bedingungen geeignet ist. Dieses Stück kryogene Rohrleitung muss genügend lang sein, so dass die Gastemperatur bei kritischen Bedingungen, die möglicherweise zur Abschaltung des Systems führen, die Temperatur der Ausrüstung am Ende dieses Rohrstücks nicht unter die duktil/spröde Übergangstemperatur sinken lässt, bevor angemessene korrigierende Aktionen unternommen werden.

Beliebige Geräte, die bei diesem System zur Feststellung tiefer Temperaturen erforderlich sind, müssen am Eingang des kryogenen Rohrleitungsstücks installiert sein, damit die Instrumente in angemessener Zeit auf eine Änderung der Bedingungen am Ausgang reagieren können.

Alle Rohrleitungen und Ausrüstungen (z. B. Regler und Handventile), die an dem kryogenen Rohrleitungsstück installiert sind, müssen aus Material bestehen, das für kryogene Bedingungen geeignet ist.

Druckentlastungseinrichtungen am Ausgang des kryogenen Verdampfers, Zuführungsrohre zu den Druckentlastungseinrichtungen sowie die Abführungsrohre, soweit vorhanden, müssen aus Material bestehen, das für kryogene Bedingungen geeignet ist. Normalerweise müssen Druckentlastungseinrichtungen für die bei Normalbetrieb zu erwartenden Bedingungen warmen Gases dimensioniert sein, aber die Einrichtungen müssen so beschaffen sein, dass sie kryogenen Bedingungen widerstehen, z. B. bei Überlastung des Verdampfers oder bei Wärmeverlusten, die im abgesperrten Zustand entstehen können, bei dem die Druckentlastungseinrichtung ansprechen müsste.

Eine angemessene Flexibilität der Rohrleitungen muss für das gesamte System stromabwärts vom Verdampfer, bis zum Schnittpunkt, einschließlich desselben, erhalten bleiben.

8.2 Luftbeheizte Verdampfer

Luftbeheizte Verdampfer sind sicherer als Anlagen, die eine externe Wärmeversorgung benötigen. Bei der Auslegung der Anlage werden die erwarteten Umgebungsbedingungen, die erwartete ununterbrochene Betriebsdauer des Verdampfers, die zugesicherte Durchflussmenge und die Betriebsweise des Kunden beim Verbrauch berücksichtigt. Luftbeheizte Verdampfer, die korrekt dimensioniert sind, können mit größerer Wahrscheinlichkeit das Auftreten gefährlich tiefer Temperaturen bei den erwarteten Bedingungen verhindern als Verdampfer mit Hilfsenergiequelle. Es besteht jedoch ein gewisses Risiko, dass tiefe Temperaturen auftreten (z. B. bei kontinuierlichem Betrieb mit beträchtlichem Eisansatz ohne Abtauung).

Für Gasversorgungssysteme mit hoher Zuverlässigkeit werden, wann immer es möglich ist, luftbeheizte Verdampfer verwendet.

8.3 Unabhängige Schutzsysteme

Tieftemperatur-Schutzsysteme bestehen üblicherweise aus drei Komponenten:

- Temperatur-Messeinrichtung(en)
- Logik-Bausteine
- Abschalteinrichtung(en)

Ein Logik-Baustein kann aus einem System von Relais´ oder einem programmierbaren Logik-Regler oder einem anderen elektronischen Regelsystem bestehen.

Wenn zwei oder mehr TTSS vorhanden sind, sollten die Komponenten jedes Systems voneinander unabhängig sein, um die Möglichkeiten eines gemeinsamen Versagens zu vermindern, d. h. die TTSS sind unabhängige Schutzeinrichtungen.

8.4 Abschaltvorrichtungen und Ventile

Jede der folgenden Abschaltmöglichkeiten kann als Abschaltvorrichtung akzeptiert werden:

- Abschaltung durch ein Ventil am Verdampferausgang
- Abschaltung durch ein Ventil am Verdampfereingang
- Abschaltung des Pumpenmotors der Pumpen, welche die Flüssigkeit zum Verdampfer fördern

Wenn Absperrventile benutzt werden, müssen sie vorzugsweise so gestaltet sein, dass sie beim Versagen der Energieversorgung oder bei Mangel an Instrumentengas den Durchgang schließen. Ventile, die bei einer Fehlfunktion den Durchgang öffnen, sollen bei Verdampfersystemen nicht benutzt werden, sofern nicht eine detaillierte Gefährdungsbeurteilung zeigt, dass dies akzeptabel ist.

Es kann akzeptabel sein, dass eine Not-Abschaltfunktion in ein vorhandenes Regelventil integriert wird (z. B. durch einen Schaltmagneten in der Luftversorgung eines Regelventils, das bei Fehlfunktion schließt). Ein derartiges System muss diesem Zweck entsprechend konstruiert und so gestaltet sein, dass die Absperrfunktion regelmäßig geprüft werden kann und dass die Strömung über den Temperatur-Sensor nach einer Abschaltung wieder in Betrieb gehen kann. Wie jedoch in Tabelle 1 angegeben ist, kann das Versagen einer grundlegenden Prozess-Regelschleife auch die Ursache für tiefe Temperatur sein, was berücksichtigt werden muss, wenn man eine Lösung für das TTSS auswählt.

Verflüssigtes Gas darf nicht zwischen automatisch oder händisch betätigten Absperrventilen oder Rückschlagventilen eingesperrt werden, wenn dieser Teil des Systems kein Druckentspannungsventil hat.

8.5 Drosselventile

Drosselventile und Regelkreise müssen vorgesehen sein, um die Durchflussmenge für den Endverbraucher zu vermindern, wenn die für den Verdampfer verfügbare Energie vermindert ist.

Eine Temperatur-Regelfunktion wird oft benutzt, um das Rohrleitungs-Regelventil zu steuern. Dabei wird die Durchflussmenge verringert, wenn die Temperatur beginnt zu sinken, so dass ein Auftreten tiefer Temperatur und eine möglicherweise folgende Abschaltung vermieden werden.

Wenn die Drosselungsreaktion zur angemessenen Regelung der Austrittstemperatur am Verdampfer versagen sollte, muss eine Abschaltung der Strömung erfolgen, sofern nicht eine detaillierte Gefährdungsbeurteilung zeigt, dass dies nicht akzeptabel oder nicht nötig ist.

8.6 Temperatur-Überwachungseinrichtungen

Temperatur-Messeinrichtungen, die in Tieftemperatur-Schutzsystemen benutzt werden, sollten im Gasstrom dicht am Ausgang des Verdampfers installiert sein. Ein einzelner Sensor oder ein „Eins-von-Zwei-System“ kann erforderlich sein, abhängig von der geforderten Wahrscheinlichkeit des Ausfalls bei Belastung. Ein „Zwei-von-Drei-System“ kann aus Zuverlässigkeitsgründen nötig sein, um ein Abschaltsystem zu aktivieren.

Bei der Auswahl eines Gerätes und bei der Gestaltung des Systems sollten Erfordernisse der Wartung und Prüfung berücksichtigt werden. Bei passiven Geräten, wie Schalter, steht das Prüfintervall in direkter Beziehung zur Wahrscheinlichkeit des Versagens bei Belastung. Ein bekanntes Problem ist, dass z. B. Geräte vom Kapillartyp, die ohne Schutzrohr installiert sind, nur bei einem Anlagenstillstand getestet werden können.

8.7 Pumpensysteme

Wo Kryopumpen benutzt werden, um verflüssigtes Gas zum Verdampfer zu fördern, bestimmt die Pumpenleistung die maximal beim Kunden verfügbare Durchflussmenge und deshalb muss die Leistung des Verdampfersystems an die Pumpenleistung angepasst sein. Ein Tieftemperatur-Signal kann benutzt werden, um den Pumpenmotor abzuschalten, so dass auf diese Weise ein Tieftemperatur-Abschaltsystem vorhanden ist.

8.8 Verdampfer mit kleinem Wärmeverrat (KWV-Verdampfer)

Die Anwendung von dampfbeheizten Rohrbündelverdampfern und von Verdampfern mit umgepumptem Wärmeträger ohne Wärmeverrat bei Versagen der Hilfsenergiequelle wird für Neuanlagen wegen des extrem schnellen Abfalls der Temperatur des abströmenden Gases nicht empfohlen. Wo die Anwendung dieser Verdampfer wegen des beschränkten Platzangebots in Erwägung gezogen wird, ist eine detaillierte Risikoprüfung vorzunehmen, um die Anwendung zu rechtfertigen.

8.9 Pufferbehälter und Aufstellung

8.9.1 Aufstellung von Pufferbehältern, die aus Kohlenstoffstahl bestehen

Pufferbehälter, die stromabwärts von Verdampfersystemen installiert sind, sollten nur, wenn unbedingt nötig, benutzt werden, da sie wegen der großen Druck-Volumen-(PV)-Energie, die beim Versagen durch tiefe Temperatur frei wird und wegen des größeren Bereichs, in dem es durch die Druckwelle zu Todesfällen oder Verletzungen kommen kann, eine besondere Gefahr für Personen darstellen.

Wenn sie benutzt werden, soll durch angemessene Aufstellung der Pufferbehälter das Risiko des Eindringens von kaltem Fluid minimiert werden. Abhängig vom Typ der Anlage, sind verschiedene Aufstellungen in dem Versorgungssystem möglich:

8.9.1 a Installationstyp 1 – kontinuierliche Versorgung

Installationen mit Flüssigkeitstank, Verdampfersystem und Pufferbehälter: Wenn möglich sollte der Pufferbehälter nicht im Hauptzweig sondern in einem Nebenzweig installiert sein.

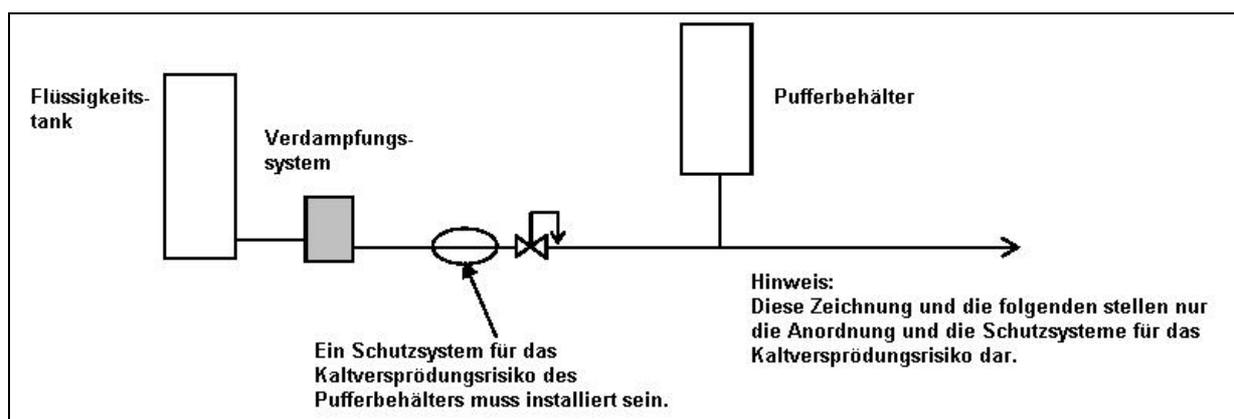


Bild 2: Schema 1 – Installation eines Pufferbehälters vorzugsweise für kontinuierlichen Betrieb

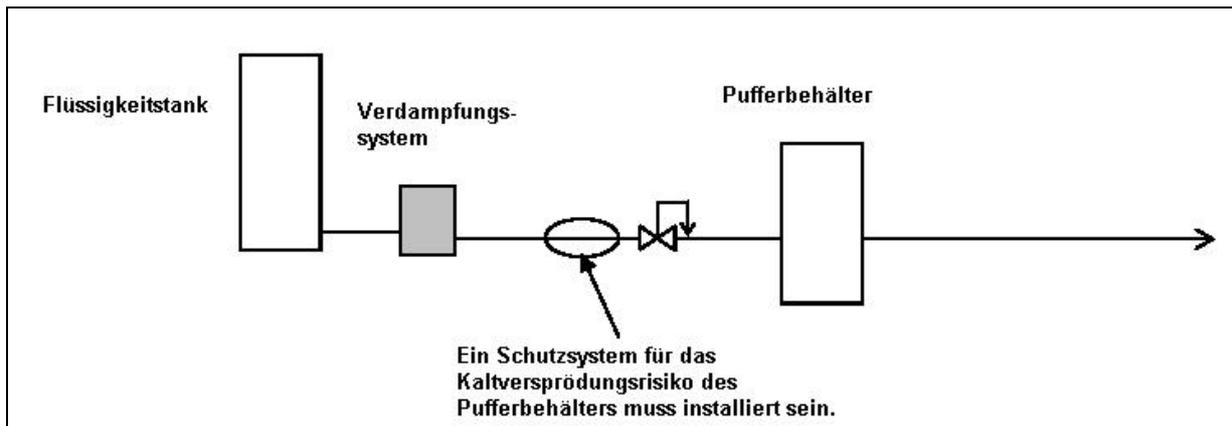


Bild 3: Schema 2 – Andere Installation des Pufferbehälters, möglich für kontinuierlichen Betrieb

In beiden Fällen (Pufferbehälter in einem Nebenzweig oder im Hauptzweig installiert) muss ein Schutzsystem wegen des Risikos der Kaltversprödung des Pufferbehälters diesem vorgeschaltet sein.

8.9.1 b Installationstyp 2: Nur Reserve-Versorgung oder Reserve-Versorgung bei Spitzenlast

Installationen mit einem Flüssigkeitstank, einem Verdampfersystem, einer on-site-Gasanlage und einem Pufferbehälter. Es gibt zwei mögliche Aufstellungspositionen für den Pufferbehälter:

1. Wann immer es möglich ist, sollte er im Zweig der on-site-Gasanlage stromaufwärts von der Einbindung in das Verdampfersystem, im Hauptzweig oder in einem Nebenzweig, geschützt durch ein Rückschlagventil, installiert sein. Siehe Schema 3 weiter unten. Bei dieser Aufstellung, mit dem Pufferbehälter auf der Ausgangsseite der on-site-Gasanlage, muss der Pufferbehälter nicht beachtet werden, wenn zu entscheiden ist, ob ein Schutzsystem stromabwärts vom Verdampfersystem zu installieren ist und wie dieses zu gestalten ist. Der Pufferbehälter ist durch seine Position geschützt.
2. Der Puffer kann stromabwärts vom Verdampfersystem (im Hauptzweig oder in einem Nebenzweig) installiert sein, aber in diesem Fall muss ein Schutzsystem wegen des Kaltversprödungsrisikos des Pufferbehälters stromaufwärts vom Pufferbehälter installiert sein. Siehe Schema 4 weiter unten.

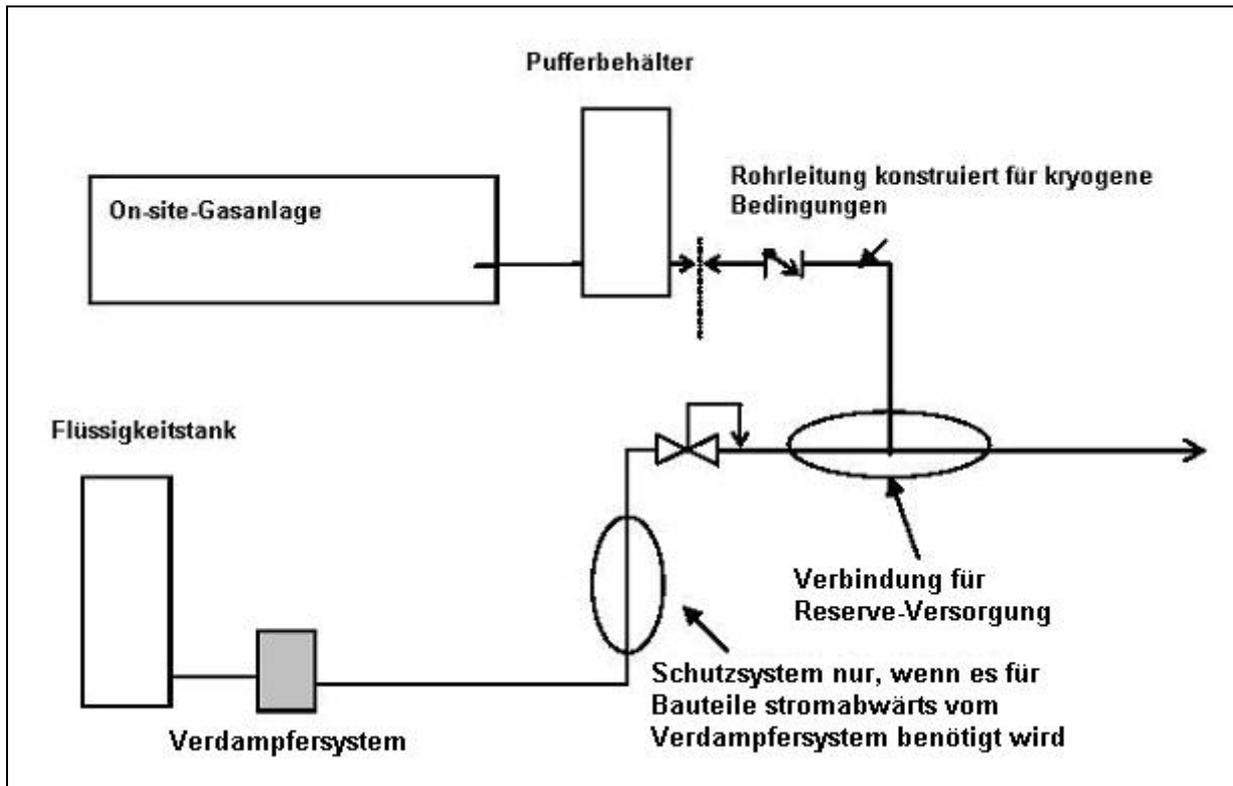


Bild 4. Schema 3 – Installation eines Pufferbehälters, vorzugsweise für die Reserve-Versorgung

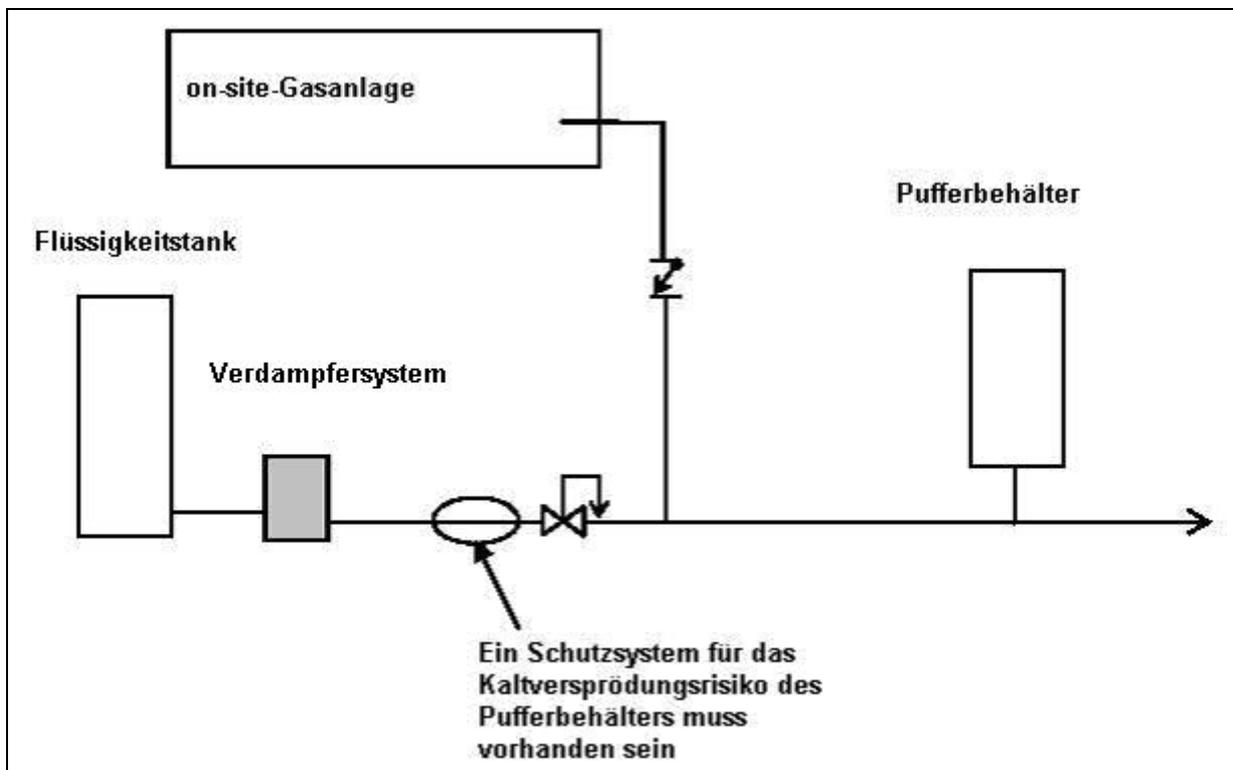


Bild 5: Schema 4 – Eine andere Installation des Pufferbehälters, möglich für die Reserve-Versorgung

8.10 Unterschiedliche Verdampfer im Parallelbetrieb

Unterschiedliche parallel geschaltete Verdampfer (z. B. luftbeheizte Verdampfer als Reserve für einen dampfbeheizten Wasserbadverdampfer, oder eine Ergänzung durch einen zweiten Verdampfer mit anderem Betriebsverhalten von einem anderen Hersteller etc.) können Situationen erzeugen, die zu einem Risiko führen.

Wenn die hydraulischen und thermischen Parameter der zwei Verdampfersysteme nicht identisch sind, strömt die kryogene Flüssigkeit vorzugsweise in den kleineren Verdampfer, der normalerweise einen geringeren Druckabfall hat.

Wenn dieser kleinere Verdampfer beginnt, kälter zu werden und die Verdampfungskapazität sinkt, vermindert sich der Druckabfall weiter (weil mehr Flüssigkeit in den Verdampferrohren vorhanden ist). Wenn dieser Prozess weiter geht, wird die gesamte Flüssigkeit nur in das kleinere Verdampfersystem strömen und das andere System ist vollständig ungenutzt.

Die Ausgangstemperatur kann dann unter die stromabwärts zulässige Design-Temperatur absinken, so dass ein Risiko entsteht. Deshalb ist es wichtig, die Durchflussmengen zwischen den Verdampfern bei der Inbetriebnahme auszugleichen, indem die Einlass- und Auslassventile entsprechend eingestellt werden, um dieses mögliche Risiko zu vermeiden.

9 Betrachtungen für den Tieftemperaturschutz

9.1 Nicht unterbrechbare Versorgungssysteme

Derartige Systeme werden bei Kunden oder bei einem Endverbraucher benutzt,

- wo eine Abschaltung, welche die Gasversorgung zum Kunden vollständig stoppt, aus Sicherheitsgründen nicht akzeptiert werden kann,
- falls eine Begrenzung der Strömung angewendet wird, die durch den Kunden zu akzeptieren ist.

Die Forderung nach nicht unterbrechbarer Gasströmung zum Anwendungspunkt kann auf vier Arten realisiert werden, siehe Abschnitte 9.1.1 bis 9.1.4.

Wegen der Wichtigkeit der kontinuierlichen Versorgung kann die Installation eines Hochalarms für die Durchflussmenge und/oder eines Tiefalarms für die Temperatur die Versorgungssicherheit in bestimmten Situationen erhöhen. In Abschnitt 10.2 sind die Forderungen bezüglich der Reaktion auf die Alarmer beschrieben.

9.1.1 Materialien

Im ganzen System bis zur Grenze der Kundenanlage sind Komponenten zu benutzen, die für kryogene Temperaturen geeignet sind (d. h. Edelstahl, nickelreiche Legierungen, Kupfer, geeignete Dichtungen etc.). Der Kunde muss entsprechend unterwiesen sein, dass das System bis zum Endpunkt der Anwendung, einschließlich desselben, für kryogenen Betrieb geeignet sein muss. Dieser Grundsatz schließt die Notwendigkeit ein, dass angemessene Flexibilität der Rohrleitungen für den gesamten Temperaturbereich vorhanden ist.

9.1.2 Redundantes System

Es sind redundante, unabhängige Versorgungssysteme zu benutzen, welche die Strömung zu den gleichen Anwendungspunkten gewährleisten. Jede unabhängige kryogene Versorgungsquelle muss mit einem TTSS-System ausgerüstet sein.

9.1.3 Drosselblende

Im Versorgungssystem kann eine Drosselblende benutzt werden. Die Blende ist so dimensioniert, dass die Strömung des Fluids für eine definierte maximale Zeitdauer so begrenzt wird, dass der Verdampfer niemals überlastet ist, aber dies erfordert sorgfältige Berechnung. Diese Lösung ist nur

für luftbeheizte Verdampfer anwendbar, wie in Abschnitt 5.1 definiert, und es wird empfohlen, dass die Anwendung auf Anlagen mit einem PV-Risikograd P1 oder P2 (Tabelle 2) und einem Risikograd H1 (Tabelle 3) beschränkt wird. Bei dieser Lösung braucht kein TTSS installiert zu werden.

9.1.4 Drosselventil

Ein Drosselventil, wie im Abschnitt 8.5 beschrieben, kann benutzt werden, um die Durchflussmenge des Fluids so zu begrenzen, dass die Kapazität der Verdampfer niemals überschritten wird, aber die Dimensionierung muss so sein, dass das Ventil nicht in die vollständig geschlossene Position gehen kann (z. B. durch Benutzung einer mechanischen Stop-Einrichtung). Diese minimale verbleibende Durchflussmenge soll klein genug sein, so dass die Austrittstemperatur am Verdampfer nicht unter die minimal zulässige Temperatur während einer festgelegten maximalen Zeitdauer fällt. Diese Lösung ist nur für luftbeheizte Verdampfer anwendbar, wie in Abschnitt 5.1 definiert, und es wird empfohlen, dass die Anwendung auf Anlagen mit einem PV-Risikograd P1 oder P2 (Tabelle 2) und einem Risikograd H1 (Tabelle 3) beschränkt wird. Bei dieser Lösung braucht kein TTSS installiert zu werden.

9.2 Unterbrechbare Versorgungssysteme

Jede der oben unter „Nicht unterbrechbare Strömung“ beschriebenen Tieftemperatur-Schutzmethoden kann benutzt werden, wenn die Strömung unterbrochen werden kann.

9.2.1 Instrumenten-Abschaltsysteme

Für unterbrechbare Versorgungssysteme gibt es zwei typische Möglichkeiten der Reaktion:

- Sofortige Abschaltung (d. h. keine Strömungsverminderung vor der Abschaltung).
- Drosselung und nachfolgende Abschaltung.

Der gewählte spezifische Tieftemperatur-Abschaltpunkt ist eine Funktion des Rohrleitungsmaterials und der angewendeten Design-Forderungen, wie oben beschrieben.

9.2.2 Temperatur-Sollwerte

9.2.2. a. Abschaltwert

Kohlenstoffstahl oder andere Materialien, die nicht für kryogene Temperaturen oder für ein kaltes Fluid geeignet sind, müssen vor dem Kontakt mit kryogenem Fluid geschützt werden. Nationale Druckbehälter- und Rohrleitungsstandards oder -richtlinien sollten bei der Eignungsbeurteilung von Materialien für Verdampfersysteme beachtet werden.

Zum Beispiel legt ASME B31.3, Verfahrensrohrleitungen, [8] die minimale Betriebstemperatur bestimmter Kohlenstoffstahl-Sorten mit -29 °C fest, wenn sie bei den vollen Spannungswerten nach dem ASME-Code ohne Durchführung der Kerbschlagprüfung nach Charpy, benutzt werden. Der Code erlaubt für andere Stahlsorten den Einsatz bei tieferen Temperaturen, wenn strengere Kriterien erfüllt sind.

Die Kerbschlagprüfung von Kohlenstoffstählen (insbesondere solche auf Kerbschlagzähigkeit getesteten Kohlenstoffstähle, die nur die minimalen Forderungen nach ASTM, ASME, API erfüllen), garantiert keinen Widerstand gegen Sprödbbruch, aber die feine Korngröße dieser „Tieftemperatur-Stähle“ gewährt einigen Widerstand gegen die Einleitung eines Sprödbruchs.

Die Materialauswahl und damit der Temperatur-Sollwert, bei dem die Tieftemperatureinrichtung betrieben wird, sollte in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen und den Toleranzen und Verzögerungen des Sensorsystems so gewählt werden, dass die minimal zulässige Temperatur nicht unterschritten wird. Dieses Kriterium soll als Minimum für die Rohrleitung bis zur Liefergrenze mit der Kundenanlage, einschließlich desselben, angewendet werden. Der Kunde muss auf seine

Verantwortung hingewiesen werden, dass angemessenes Design auf seiner Seite der Liefergrenze gewährleistet wird.

Wo andere Richtlinien anwendbar sind, sollten die TTSS-Abschaltwerte einer ähnlichen Praxis folgen.

Es ist nicht akzeptabel, den Temperatur-Abschaltwert tiefer als die stromabwärts zulässige Design-Temperatur festzulegen. Die Abschalttemperatur wird normalerweise bei einem höheren Temperaturwert festgelegt.

Wenn notwendig, sollte eine „Anti-Verstell-Einrichtung“ installiert werden, um sicherzustellen, dass der Temperatur-Abschaltwert nicht zwischen den periodischen Prüfungen manuell verändert werden kann.

9.2.2 b. Drosselung - Auslösewert

Die Drosselung der Strömung (wenn benutzt) wird bei einer festgelegten Temperatur ausgelöst, die höher als der gewählte TTSS-Abschaltwert ist. Die angewendete Auslösetemperatur für die Drosselung wird beeinflusst durch:

- Schwankungsbereich des Temperatur-Mess-Systems
- Einflüsse der Umgebungstemperatur
- Änderungsrate der Temperatur in Abhängigkeit von der Durchflussmenge.

9.2.3 TTSS für Verdampfer mit großem Wärmeverrat (GWV-Verdampfer)

„Langsam“ reagierende TTSS-Überwachungseinrichtungen, die an das Abklingverhalten der Austrittstemperatur des Verdampfers entsprechend angepasst sind, können - unter Berücksichtigung aller vorhersehbaren Fehlfunktionen – für solche Anwendungen akzeptiert werden. Der Abstand zwischen dem TTSS-Sensor und der Absperrereinrichtung muss unter Berücksichtigung der Reaktionszeit des TTSS-Systems und der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids festgelegt werden.

9.3 IEC 61511

Der Standard IEC 61511 Funktionssicherheit – Sicherheitsinstrumenten-Systeme für die Verfahrensindustrie - wurde im Jahre 2003 veröffentlicht, um den allgemeinen Standard IEC 61508 in den Verfahrensbereich einzuführen, welcher Sicherheitsinstrumenten-Systeme auf der Basis elektrischer / elektronischer / elektronisch programmierbarer Technologien behandelt. Der Standard unterstützt das Konzept, dass Sicherheitsinstrumenten-Funktionen auf der Basis einer Gefährdungsbeurteilung spezifiziert, gestaltet, integriert und bewertet werden. Ein Teil der Spezifikation ist die Festlegung des erforderlichen integrierten Sicherheitsniveaus (ISN) jeder Funktion.

Die im Abschnitt 10 dargestellten Lösungen beruhen auf dem Ansatz einer qualitativen Risiko-Klassifizierung unter Anwendung einer guten industriellen Design-Praxis und langjähriger Erfahrungen der Gaseindustrie und nicht so sehr auf dem Ansatz nach IEC 61511. Jedoch kann der Standard IEC 61511 als eine Methode zur Unterstützung der Gefährdungsbeurteilung und des Prozesses der Systemplanung benutzt werden, wie in diesem Dokument beschrieben.

10 Lösungen

Anforderungen an den Tieftemperaturschutz für Verdampfer sind in den Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3 enthalten.

10.1 Allgemeine Betrachtungen für TTSS

Frühere Gefährdungsbeurteilungen haben gezeigt, dass Tieftemperatur-Schutzsysteme vorgesehen werden müssen, wenn ein Risiko der Versprödung durch tiefe Temperatur besteht. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens bei Belastung des TTSS sollte auf einem angemessenen Niveau sein, entsprechend der Wahrscheinlichkeit des Auftretens tiefer Temperaturen, den Folgen einer

Versprödung und dem Vorhandensein irgendwelcher anderer Schutzeinrichtungen. Als allgemeine Regel gilt, dass das System vor einer zu starken Abkühlung der stromabwärts liegenden Rohrleitungen und Ausrüstungen zu schützen ist und zwar durch Feststellung tiefer Temperaturen am Verdampferausgang und entweder durch

- automatische Abschaltung des Verdampfersystems unter Benutzung einer oder mehrerer Abschalteinrichtungen und einer oder mehrerer Temperaturüberwachungseinrichtungen,
- oder, wie in den Tabellen beschrieben, durch Installation eines Tieftemperaturalarms als Schutz in bestimmten Situationen, auf welche mit den in Abschnitt 10.2 genannten Maßnahmen zu reagieren ist.

Ein oder mehrere Sensoren an der Hilfsenergiequelle (z. B. Schalter für Tiefsignal der Wasserströmung oder des Dampfdrucks etc.) können ebenfalls benutzt werden, um einen Alarm zu aktivieren, auf welchen mit den in Abschnitt 10.2 genannten Maßnahmen zu reagieren ist

10.2 Reaktion auf Alarmer

Wo die Tabellen 6.1, 6.2 oder 6.3 angeben, dass ein TTSS durch Alarmer realisiert werden kann, ist es wichtig, dass die Örtlichkeit durch einen Anlagenoperator, Wartungstechniker oder einen ausgebildeten Mitarbeiter des Kunden in angemessener Zeit erreicht werden kann, um auf einen Tieftemperaturalarm zu reagieren. Das Alarmsignal muss zu einem Ort übertragen werden, der rund um die Uhr besetzt ist. Ein Handlungsplan und administrative Verfahren müssen vorgesehen sein, um bei Aktivierung des Alarms einen Sprödruch zu verhindern. Das kann z. B. eine Umschaltung zwischen parallelen Gruppen von luftbeheizten Verdampfern, eine Begrenzung der Durchflussmenge zum Kunden, eine Leistungssteigerung der Hilfsenergiequelle, Starten eines redundanten Verdampfersystems etc. sein.

Wenn der Ort nicht in angemessener Zeit erreicht werden kann, oder keine entsprechende Reaktion vor Ort möglich ist, muss eine Tieftemperatur-Abschaltung vorhanden sein.

10.3 Empfohlene Lösungen für spezielle Situationen

Die Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3 enthalten qualitative Rangfolgen von Tieftemperatur-Schutzsystemen, bezogen auf das erkannte Risiko des Auftretens tiefer Temperatur, entsprechend den Erfahrungen der EIGA-Mitgliedsfirmen, wobei die sekundären Effekte der Gasfreisetzung und der Energie der Druckwelle, sowie die relative Wahrscheinlichkeit des Ereignisses sowie die Betriebsweise und der Typ des Verdampfers in die Betrachtungen einbezogen werden.

Eine dokumentierte Risiko-Einschätzung sollte in allen Fällen durchgeführt werden. Für standardisierte Designs und Aufstellungsplätze können allgemeine Risiko-Einschätzungen entwickelt werden. Die folgenden Tabellen enthalten empfohlene minimale Schutzsysteme für definierte Situationen.

Zusätzliche Alarmer können durch eine spezifische Risikoprüfung empfohlen werden, wobei die Anzahl und die Art der Alarmer vom Typ des Verdampfers abhängt. Bei Verdampfern mit Hilfsenergiequelle sollten Alarmer vorgesehen werden, wenn irgendeine Hilfsenergiequelle ausfällt.

Eine regelmäßige Überprüfung des Verbrauchs durch das Verdampfersystem, zusammen mit dem Kunden, kann erforderlich sein und das Tieftemperatur-Schutzsystem muss möglicherweise modifiziert werden, um Änderungen im Verbrauch zu berücksichtigen oder die Installation zusätzlicher Verdampferkapazität kann nötig sein.

Nicht alle Optionen für TTSS sind in den Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3 aufgeführt. Weitere Optionen sind im Abschnitt 9 aufgeführt, wie z. B. die Benutzung von Drosselventilen, Blenden etc. und diese Optionen können bei der Gefährdungsbeurteilung für die Installation ebenfalls berücksichtigt werden.

Tabelle 6.1 – Tabelle für die Auswahl des TTSS – PV-Risikograd P1

| Risikograd | Wahrscheinlichkeitsgrad für tiefe Temperatur | Betriebsweise | Lösung |
|------------|--|---------------|---|
| Tabelle 3 | Tabelle 4 | Tabelle 5 | Tieftemperatur-Schutzsystem |
| H1 | L1 | S1 und S2 | Wenn die spezifische Risikoprüfung zeigt, dass es notwendig ist, muss ein Tieftemperatur-Alarm oder Tieftemperatur-Sensor und eine Abschalteneinrichtung installiert sein. Wo das Risiko als gering angesehen wird, sind ein Alarm und/oder eine Abschalteneinrichtung möglicherweise nicht erforderlich. |
| H1 | L2 | S1 | Wasserbadverdampfer für die Reserve-Versorgung müssen in dieser Kategorie mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschalteneinrichtung ausgerüstet sein. Luftbeheizte Verdampfer mit Zusatz-Erhitzern oder Umschaltsystemen und mittels Ventilator luftbeheizte Verdampfer für die Reserve-Versorgung müssen in dieser Kategorie mindestens mit einem Tieftemperaturalarm ausgerüstet sein. |
| H1 | L2 | S2 | Wasserbadverdampfer, mittels Ventilator luftbeheizte Verdampfer sowie luftbeheizte Verdampfer mit Zusatz-Erhitzern oder Umschaltsystemen, jeweils für kontinuierlichen Betrieb oder Spitzenlast, müssen in dieser Kategorie mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschalteneinrichtung ausgerüstet sein. |
| H3 | L1 | S1 und S2 | Diese Kategorie der luftbeheizten Verdampfer muss mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschalteneinrichtung ausgerüstet sein. |
| H3 | L2 | S1 und S2 | Diese GWV-Verdampfer müssen mindestens mit zwei Tieftemperatursensoren und zwei unabhängigen Abschalteneinrichtungen ausgerüstet sein. |

Hinweis: Die Definitionen P1 bis P3, H1 bis H3, L1 und L2 sowie S1 und S2 sind in den Tabellen 2, 3, 4 und 5 enthalten.

Tabelle 6.2 – Tabelle für die Auswahl des TTSS – PV-Risikograd P2

| Risikograd Tabelle 3 | Wahrscheinlichkeitsgrad für tiefe Temperatur Tabelle 4 | Betriebsweise Tabelle 5 | Lösung Tiefemperatur-Schutzsystem |
|-------------------------|---|----------------------------|---|
| H1 | L1 | S1 | Für luftbeheizte Verdampfer in der Reserve-Versorgung muss in dieser Kategorie mindestens ein Tieftemperaturalarm installiert sein. Wenn die spezifische Risikoprüfung zeigt, dass es notwendig ist, muss ein Tieftemperatursensor und eine Abschaltvorrichtung hinzugefügt werden. |
| H1 | L1 | S2 | Für luftbeheizte Verdampfer für kontinuierlichen Betrieb oder Spitzenlast muss in dieser Kategorie mindestens ein Tieftemperatursensor und eine Abschaltvorrichtung installiert sein. Zusätzliche Tieftemperaturalarme können durch die spezifische Risikoprüfung empfohlen werden. |
| H1 | L2 | S1 und S2 | Wasserbadverdampfer, mittels Ventilator luftbeheizte Verdampfer, luftbeheizte Verdampfer mit Zusatz-Erhitzern oder Umschaltsystemen müssen in dieser Kategorie mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschaltvorrichtung ausgerüstet sein. Ein Sensor an der Hilfsenergiequelle muss alarmieren. |
| H2 | L1 | S1 und S2 | Diese luftbeheizten Verdampfer müssen mindestens mit einem Temperatursensor und einer Abschaltvorrichtung ausgerüstet sein. |
| H2 | L2 | S1 | Wasserbadverdampfer, mittels Ventilator luftbeheizte Verdampfer, luftbeheizte Verdampfer mit Zusatz-Erhitzern oder Umschaltsystemen, jeweils für die Reserve-Versorgung, müssen in dieser Kategorie mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschaltvorrichtung ausgerüstet sein. Ein Sensor an der Hilfsenergiequelle muss alarmieren. |
| H2 | L2 | S2 | Wasserbadverdampfer, mittels Ventilator luftbeheizte Verdampfer, luftbeheizte Verdampfer mit Zusatz-Erhitzern oder Umschaltsystemen, jeweils für kontinuierlichen Betrieb oder Spitzenlast, müssen mindestens mit zwei oder mehr unabhängigen Tieftemperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder eine einzelne Abschaltvorrichtung schließt. |
| H3 | L1 | S1 und S2 | Diese Kategorie der luftbeheizten Verdampfer muss mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder eine einzelne Abschaltvorrichtung schließt. |
| H3 | L2 | S1 und S2 | Diese GWV-Verdampfer müssen mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder zwei unabhängige Abschaltventile schließt. |

Hinweis: Die Definitionen P1 bis P3, H1 bis H3, L1 und L2 sowie S1 und S2 sind in den Tabellen 2, 3, 4 und 5 enthalten.

Tabelle 6.3 – Tabelle für die Auswahl des TTSS – PV-Risikograd P3

| Risikostufe Tabelle 3 | Wahrscheinlichkeitsgrad für tiefe Temperatur Tabelle 4 | Betriebsweise Tabelle 5 | Lösung Tieftemperatur-Schutzsystem |
|--------------------------|---|----------------------------|---|
| H1 | L1 | S1 und S2 | Diese luftbeheizten Verdampfer in dieser Kategorie müssen mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschalteneinrichtung ausgerüstet sein. Der Sensor muss bei Tieftemperatur alarmieren. |
| H1 | L2 | S1 | Diese GWV-Verdampfer müssen mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder eine Abschalteneinrichtung schließt. |
| H1 | L2 | S2 | Diese GWV-Verdampfer müssen mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder eine Abschalteneinrichtung schließt. Ein Sensor an der Hilfsenergiequelle muss alarmieren. |
| H2 | L1 | S1 und S2 | Diese luftbeheizten Verdampfer müssen mindestens mit einem Tieftemperatursensor und einer Abschalteneinrichtung ausgerüstet sein. Der Sensor muss bei Tieftemperatur alarmieren. |
| H2 | L2 | S1 | Diese GWV-Verdampfer müssen mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder eine einzelne Abschalteneinrichtung schließt. Ein Sensor an der Hilfsenergiequelle muss alarmieren. |
| H2 | L2 | S2 | Diese GWV-Verdampfer müssen mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder zwei unabhängige Abschalteneinrichtungen schließt. |
| H3 | L1 | S1 und S2 | Diese Kategorie der luftbeheizten Verdampfer muss mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder zwei unabhängige Abschalteneinrichtungen schließt. |
| H3 | L2 | S1 und S2 | Diese GWV-Verdampfer müssen mit mindestens zwei Temperatursensoren ausgerüstet sein, von denen jeder zwei unabhängige Abschalteneinrichtungen schließt. Ein Sensor an der Hilfsenergiequelle (z. B. Strömungs- oder Drucksensor) muss alarmieren. |

Hinweis: Die Definitionen P1 bis P3, H1 bis H3, L1 und L2 sowie S1 und S2 sind in den Tabellen 2, 3, 4 und 5 enthalten.

11 Betrieb

11.1 Beobachtung des Verbrauchs

Die Beobachtung des Verbrauchs kann wesentlich zum sicheren Betrieb eines Verdampfersystems beitragen. Wenn das Geschäft des Kunden wächst, wird er oft, abweichend von der ursprünglichen vertraglichen Vereinbarung und der Auslegung des Systems, seinen Verbrauch erhöhen.

Es gibt zwei Veränderliche, die beobachtet werden sollten:

- Erstens die Durchflussmenge, die einer der Schlüsselparameter bei der Auslegung eines Verdampfersystems ist; jede Erhöhung des Verbrauchs durch den Kunden kann den Verdampfer überlasten, was zu einer gefährlichen Situation führen kann.
- Zweitens die Betriebsweise, die ebenfalls wesentlichen Einfluss auf das Leistungsvermögen des Verdampfers hat, und dieser Parameter sollte bei der Auslegung berücksichtigt aber auch beim Betrieb beobachtet werden, um sicherzustellen, dass jede Änderung in der Betriebsweise beachtet und untersucht wird, soweit erforderlich.

Die Wirkung von Verbrauchszunahmen kann bei Verdampfersystemen oft verdeckt sein, besonders bei luftbeheizten Systemen, wenn günstige Umgebungsbedingungen erhöhten Verbrauch ausgleichen, und ein Problem kann erst bei kälteren Umgebungsbedingungen auftauchen.

Die Beobachtung des Verbrauchs kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, einschließlich örtliche Durchflussmengen-Messung und Summierung der Durchflussmenge oder durch Beobachtung des Bedarfs an Flüssigkeit.

Die Durchflussmengen-Messung erlaubt eine detailliertere Analyse des Flüssigkeitsverbrauchs. Die Durchflussmengen-Messung kann einen Alarm auslösen bei momentan oder durchschnittlich hohem Strömungswert oder sie kann einen Impuls für eine strömungsbegrenzende Regelfunktion auslösen.

Die Beobachtung des Flüssigkeitsverbrauchs erfolgt üblicherweise durch Registrierung der planmäßigen Lieferung von Flüssigkeit zum Lagertank des Kunden. Die Fernbeobachtung des Lagertanks kann mit Fernmess-Systemen erreicht werden, die den Flüssigkeitsstand messen und die Änderungsgeschwindigkeit des Flüssigkeitsstandes berechnen können. Die Beobachtung kann auch erreicht werden durch manuelles Messen des Flüssigkeitsstandes in einem Lagertank oder durch Erfassung der Häufigkeit der Flüssigkeitslieferungen. Automatische Alarme mit Beobachtungs-Software können installiert oder regelmäßige Überprüfungen des Flüssigkeitsverbrauchs können durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass der Verbrauch des Kunden nicht die Design-Parameter des Systems übersteigt.

Wenn der Verbrauch beobachtet wird, sollten die folgenden Parameter betrachtet werden:

- Leistungsvermögen des Verdampfersystems
- angemessene Alarmstufen zur Alarmierung hohen Verbrauchs
- Zeitspanne für welche die Alarmierung hohen Verbrauchs festzulegen ist (sofort, stündlich, täglich, wöchentlich etc.), die von der Anwendung beim Kunden und von der Betriebsweise abhängt
- zu ergreifende Maßnahmen, wenn hoher Verbrauch festgestellt wird; ob eine Überprüfung des Designs oder eine dringendere Maßnahme durchzuführen ist, wenn die Zunahme des Verbrauchs deutlich über den Design-Parametern liegt.

Wenn der sichere Betrieb des Verdampfersystems nur davon abhängt, dass der Betrieb innerhalb der Auslegungsgrenzen des Verdampfersystems erfolgt (so wie bei luftbeheizten Verdampfern, die kein Tieftemperatur-Abschaltsystem oder keinen Tieftemperaturalarm haben und bei denen keine strömungsbegrenzende Einrichtung installiert ist), sollte eine Methode für die Beobachtung des Verbrauchs vorhanden sein.

11.2 Periodische Inspektion

Eine Sichtprüfung des Verdampfersystems sollte in festgelegten Intervallen erfolgen. Bei der Inspektion sollte folgendes erfasst werden:

- Übermäßige Eisbildung
- Reifbildung an Rohrleitungen
- Mechanische Beschädigungen
- Leck von Prozess-Fluid oder bei Hilfsenergiequellen
- Änderungen in der Umgebung des Verdampfers, z. B. Errichtung von Wällen oder Bauwerken bei einem luftbeheizten Verdampfer
- Änderungen bezüglich der Exposition des Personals, der Einhausung des Systems oder anderer Faktoren der Gefährdungsbeurteilung
- Hinzufügung eines Pufferbehälters oder anderer zusätzlicher Einrichtungen durch den Kunden.

Die Häufigkeit der Inspektionen sollte durch die folgenden Faktoren beeinflusst werden:

- Typ des Verdampfers
- Durchflussmengen und Betriebsweisen
- Häufigkeit von Tieftemperaturalarmen oder Abschaltungen, die im Betrieb aufgetreten sind

Der Kunde muss über die gewählte Methode und deren Konsequenzen für die Versorgungssicherheit sowie über die Gestaltung des Systems auf der Kundenseite der Schnittstelle informiert sein. Dem Kunden sollte auch die Forderung nach regelmäßiger Prüfung jeder installierten Schutzeinrichtung klar gemacht werden, was die Unterbrechung der Versorgung notwendig machen kann.

Der Gaseversorger soll seinen Kunden in jedem Fall schriftlich informieren, wenn der Vertrag für eine Tank-Gasversorgung vorsieht, dass ein Tieftemperaturschutz nicht Teil des Projektes ist und dass ein Risiko des Versagens für stromabwärts liegende Installationen und Rohrleitungen besteht, wenn der Kunde die Auslegungskapazität des Verdampfers überzieht. Die Projektberichte müssen Kopien der Dokumentation über die vereinbarte Auswahl des Tieftemperatur-Schutzsystems enthalten.

14.2 Training und Information des Kunden

Der Gaseversorger muss dem Kunden angemessene Informationen und Informations-/ Trainingsmaterial, einschließlich der relevanten Sicherheitsdatenblätter übergeben. Es wird dringend empfohlen, dass der Gaseversorger auch das Kundenpersonal ausbildet, das in die Beobachtung und Wartung der Verdampferanlage eingebunden ist. Die Ausbildung sollte folgendes beinhalten:

- Information über die Eigenschaften des Gases, einschließlich der kryogenen Gefahren
- Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Material, das tiefen Temperaturen ausgesetzt ist
- Konsequenzen einer zufälligen Freisetzung von Gas oder Flüssigkeit
- Geeignete Notfallmaßnahmen, einschließlich solcher Aktionen wie Evakuierung des unmittelbaren Bereichs
- Alle vertraglich festgelegten Maßnahmen der Wartung und der Inspektion.

15 Referenzen

1. NFPA 50 – Standard for Bulk Oxygen Systems at Consumer Sites, 2001 Edition, National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, Ma 02269-9101, USA (Standard für Sauerstoff-Tanksysteme in Verbraucheranlagen).
2. NFPA 86C- Standard for Industrial Furnaces Using a Special Processing Atmosphere, National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, Ma 02269-9101, USA (Standard für Industrieöfen, die eine spezielle Verfahrens Atmosphäre verwenden).
3. EN 737-3 1998 – Medical gas pipeline systems – Part 3: Pipelines for compressed medical gases and vacuum, CEN European Committee for Standardization 36, rue de Stassart, B –1050 Brussels, Belgium (Rohrleitungssysteme für medizinische Gase – Rohrleitungen für verdichtete medizinische Gase und Vakuum).
4. PrEN ISO 7396-1 – Medical gas pipeline systems, - intended to supersede EN 737-3, CEN European Committee for Standardization 36, rue de Stassart, B – 1050 Brussels, Belgium (Rohrleitungssysteme für medizinische Gase).
5. NFPA 99 – Standard for Health Care Facilities, 2002 Edition, National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, Ma 02269-9101, USA (Standard für Gesundheitseinrichtungen).
6. IEC 61511 – 2004 – Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector – all parts, International Electrotechnical Commission (IEC) 3 , rue de Varembe, P. O. Box 131, CH – 1211 Geneva 20, Switzerland (Sicherheitsinstrumenten-Systeme für den Bereich der Verfahrensindustrie).
7. Directive 97/23/EC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment, European Commission, DG Enterprise – G4. (Europäische Richtlinie über die Angleichung der Gesetze der Mitgliedsstaaten für Druckgeräte).

8. B31.3 – 2002 Process Piping, The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Three, Park Avenue, New York, NY 10016-5990, USA (Verfahrensrohrleitungen).
9. ANSI / ISA – 84.01-1996 Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries, 67 Alexander Drive, Research Triangle Park, NC 27709 USA (Anwendung von Sicherheitsinstrumenten-Systemen in der Verfahrensindustrie).
10. EN 13480-2 – 2002 – Metallic Industrial Piping – Part 2: Materials, particularly Annexe B, CEN European Committee for Standardization 36, rue de Stassart, B –1050 Brussels, Belgium (Industrielle Rohrleitungen aus Metall, Teil 2 Materialien).