Sicherheitshinweis #12

Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen

1. Vorbemerkungen

Diese Sicherheitshinweise sind Empfehlungen für den sicheren Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen. Verbindliche Sicherheitsvorschriften werden hierdurch nicht ersetzt, sondern ergänzt. Ein Gas oder eine Flüssigkeit befindet sich in tiefkaltem (oder kryogenem) Zustand, wenn deren Temperatur deutlich unter der Siedetemperatur liegt. In der Tabelle sind einige der Gase aufgeführt, mit denen häufig in tiefkaltem Zustand umgegangen wird.

2. Allgemeines über tiefkalt verflüssigte Gase

Die chemischen Eigenschaften der Gase sind im tiefkalt verflüssigten Zustand grundsätzlich die gleichen wie im „warmen" Zustand. Im tiefkalten Zustand kommt die physikalische Eigenschaft „tiefkalt" hinzu.

Aus dieser zusätzlichen Eigenschaft resultieren Besonderheiten, die beim Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen beachtet werden müssen:

- Berührung: Direkter Kontakt mit tiefkalten Flüssigkeiten kann starke Erfrierungen bzw. Kaltverbrennungen verursachen. Insbesondere Augen können durch Spritzer geschädigt werden.
- Berührung mit Gegenständen: Kryogene Gase enthaltende Leitungen usw. sind extrem kalt. Dadurch können nackte oder unzureichend geschützte Körperteile bei Berührung mit nicht isolierten und mit kryogenen Gasen gefüllten Leitungen oder Gefäßen sehr schnell durch die Hautfeuchtigkeit an diesen festfrieren. Ein Wegziehen der Körperteile ist nicht möglich. Deshalb ist das Tragen feuchter Kleidung zu vermeiden.
- Versprödung: Werkstoffe (z. B. die meisten Kunststoffe, Baustahl) verspröden sehr stark bei tieferen Temperaturen.

3. Vorsichtsmaßnahmen

Die Vorsichtsmaßnahmen in diesem Abschnitt sind anwendbar für alle tiefkalt verflüssigten Gase. Sie sind zusammen mit den Vorsichtsmaßnahmen anzuwenden, die in den Sicherheitsdatenblättern für Gase und weiteren zutreffenden Sicherheitshinweisen enthalten

Physikalische Eigenschaften einiger tiefkalter Gase

Gas	Sauerstoff	Stickstoff	Argon	Wasserstoff	Helium	LNG	Kohlendioxid
Chem. Symbol	O_2	N_2	Ar	H_2	He	CH_4	CO_2
Siedetemperatur bei 1013 mbar (°C)	–183	–196	–186	–253	–269	–161	–78,5*
Dichte der Flüssigkeit bei 1013 mbar (kg/l)	1,142	0,808	1,40	0,071	0,125	0,42	1,178**
Dichte des Gases bei 15 °C, 1013 mbar (kg/m)	1,34	1,17	1,67	0,084	0,167	0,72	1,85
Relative Dichte gegenüber Luft bei 15 °C, 1013 mbar	1,09	0,95	1,36	0,0685	0,136	0,55	1,5
Aus 1 l Flüssigkeit entstandene Gasmenge [l]	853	691	839	845	749	587	632

* Sublimationstemperatur ** bei 5,18 bar

sind. (Vgl. Linde-Sicherheitshinweis Nr. 10 „Sauerstoffmangel“ und Nr. 11 „Sauerstoffanreicherung“)

Persönliche Schutzausrüstungen:
Konsequent getragen schützen persönliche Schutzausrüstungen vor dem Kontakt mit tiefkalten Gasen, Flüssigkeiten oder Anlageteilen, so dass Gesundheitsschäden praktisch ausgeschlossen sind. Die Kleidung soll sauber, trocken und aus Naturfasern hergestellt sein. Sie soll nicht eng anliegen, damit sie leicht und schnell ausgezogen werden kann, wenn eine Benetzung mit dem tiefkalten Gas oder der Flüssigkeit erfolgt ist. Arme und Beine sollen vollständig bedeckt sein. Offene Taschen, umgeschlagene Hosenbeine oder Ärmel sind zu vermeiden.

Gut isolierende Handschuhe aus trockenen versprödungsarmen Materialien sind zu tragen, wenn kalte Anlagenteile gehandhabt werden und wenn mit Spritzern gerechnet werden muss. Die Handschuhe sollen ebenfalls locker sitzen, damit sie schnell ausgezogen werden können, falls tiefkalte Flüssigkeit in die Handschuhe eingetreten ist. Stulpen oder Manschetten sollten ein Eindringen des tiefkalten Gases in den Handschuh verhindern. Wenn tiefkalte Flüssigkeiten in die Augen spritzen können, muss ein Gesichtsschutz getragen werden, z. B. wenn tiefkalte Flüssigkeit umgegossen wird, wenn Schläuche an- oder abgeschlossen werden oder wenn Teile in die tiefkalte Flüssigkeit eingetaucht werden. Brillen können nur unvollständig schützen. Wenn mit tiefkalten Flüssigkeiten umgegangen wird, sollen Sicherheitsschuhe in gutem Zustand getragen werden. Wenn mit brennbaren tiefkalten Gasen oder Flüssigkeiten umgegangen wird (z. B. mit flüssigem Wasserstoff, Flüssig-Erdgas, LNG) sind Sicherheitsschuhe mit leitfähigen (sogenannten antistatischen) Sohlen zu tragen. Wenn Stiefel benutzt werden, sollten die Hosen über die Stiefel reichen.

Von der Umgebungsatmosphäre unabhängige Atemschutzgeräte können dann erforderlich sein, wenn durch verdampfte, tiefkalte Gase der Sauerstoff der Luft verdrängt wird. (Vgl. Linde-Sicherheitshinweis Nr. 10 „Sauerstoffmangel“)

Besonderheiten beim Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen:
Tiefkalt verflüssigte Gase befinden sich in der Regel bei Atmosphärendruck im Siedezustand. Beim Umfüllen in Gefäße, die noch Umgebungstemperatur haben, nimmt das Sieden zunächst außerordentlich heftig zu. Hierbei werden leicht Spritzer des tiefkalt verflüssigten Gases mit dem in großer Menge verdampfenden tiefkalten Gas ausgetragen. Gesicht und Hände müssen deshalb geschützt sein. Gleiches gilt für das Eintauchen von Gegenständen mit Umgebungstemperatur (oder wärmer) in tiefkalt verflüssigte Gase.



Wenn tiefkalt verflüssigte Gase als Spritzer auf die menschliche Haut treffen, können schmerzhafte „Kaltverbrennungen“ entstehen.



Das Tragen von Schutzkleidung ist notwendig.

Haben die Gefäße oder Gegenstände die Temperatur des tiefkalt verflüssigten Gases angenommen, lässt die Heftigkeit der Verdampfung nach, jedoch bleibt das tiefkalt verflüssigte Gas im Siedezustand. Der Wärmeeinfall bewirkt, dass ständig tiefkaltes Gas aus dem Behälter austritt, sofern dieser offen ist (z. B. Dewar-Gefäß). Bei geschlossenen Gefäßen wird der Druck ansteigen. Je besser die Isolierung des Gefäßes, desto langsamer ist der Druckanstieg.

Aus einem Liter tiefkalt verflüssigtem Gas entstehen beträchtliche Gasemengen (siehe Tabelle Seite 1). Es ist daher erforderlich, dass dort, wo mit tiefkalt verflüssigten Gasen in offenen Gefäßen umgegangen wird, eine Lüftung vorhanden ist, die mindestens die entstehende Gasmenge sicher abführt. Eine ausreichende Lüftung soll vermeiden, dass der Sauerstoffgehalt der Luft wesentlich verändert wird: Eine Sauerstoffanreicherung der Luft von (normal) 21 Vol.-% auf mehr als ca. 23 Vol.-% erhöht die Brandgefahr erheblich. Tiefkalt verflüssigter Sauerstoff gehört daher nicht in offene Gefäße. Die in der Tabelle aufgeführten tiefkalten Gase führen nicht zu Vergiftungen. Dennoch können diese Gase (außer Sauerstoff) den Luftsauerstoff verdrängen, was unterhalb von 17 Vol.-% Sauerstoff in der Luft zu Erstickungen führen kann. Es sollte beachtet werden, dass Kohlendioxid bei geringen Konzentrationen in der Luft zu erheblichen Atemstörungen führen kann. CO_2-Konzentrationen ab 5 Vol.-% sind bereits gefährlich für den Menschen. Ab etwa 20 Vol.-% wirkt CO_2 innerhalb von Sekunden tödlich. Abgesehen von der Erhöhung des Brandrisikos ist eine Sauerstoffanreicherung in der Luft auf deutlich mehr als 23 Vol.-% für den Körper ungefährlich. (Vgl. Linde-Sicherheitshinweis Nr. 10 „Sauerstoffmangel“ und Nr. 11 „Sauerstoffanreicherung“)

Der Aufenthalt in durch tiefkalte Gase unterkühlter Luft kann zu einer Unterkühlung des Körpers führen, es kann aber auch zu einer Störung der Lungentätigkeit beim Einatmen der durch das tiefkalte Gas unterkühlten Luft kommen.

Wenn sich tiefkalte Gase mit Luft mischen, können sich Nebel bilden, weil die Luftfeuchtigkeit infolge der Abkühlung kondensiert. Im Falle eines größeren Austritts tiefkalt verflüssigter Gase kann die Nebelbildung so umfangreich sein, dass die Sichtbehinderung die Orientierung erschweren kann.

Es ist zu beachten, dass auch außerhalb der Nebelwolke mit einer deutlichen Veränderung der Luftzusammensetzung gerechnet werden muss.

Alle in der Tabelle aufgeführten Gase sind bei der angegebenen Siedetemperatur deutlich schwerer als Luft. Wo mit dem Freiwerden großer Mengen von tiefkalt verflüssigten Gasen gerechnet werden muss, dürfen sich keine Kanaleinläufe ohne Flüssigkeitsverschluss, keine offenen Kellerfenster oder andere offenen Zugänge zu tieferliegenden Räumen, Kanälen etc. befinden, weil sich die schweren Gase dort ansammeln könnten. In solchen Bereichen bestünde also u. U. besondere Erstickungs- bzw. Brandgefahr. Beim Umgang mit inerten Gasen (z. B. Stickstoff, Argon, Helium, CO_2) existiert kein Brandrisiko. Diese Gase könnten sogar zum Löschen von Bränden verwendet werden. Feuer- oder Explosionsgefahr kann dann entstehen, wenn brennbare tiefkalt verflüssigte Gase (z. B. flüssiger Wasserstoff, LNG) austreten, weil diese verdampfen und dadurch mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden.

Eine besonders wirksame natürliche oder künstliche Lüftung ist daher in der Regel unabdingbar. Sauerstoff, obwohl selbst nicht brennbar, unterstützt die Verbrennung. Werkstoffe, die unter atmosphärischen

Bedingungen als unbrennbar oder schwer entflammbar gelten, können in mit Sauerstoff angereicherter Luft und erst recht in reinem Sauerstoff brennbar sein, und sind diese einmal gezündet, verbrennen sie bemerkenswert heftig und mit erheblicher Wärmeentwicklung. In Luft brennbare Materialien (z. B. Öl, Asphalt, Kunststoffe, ...) reagieren in Gegenwart von sauerstoffangereicherter Luft und in reinem Sauerstoff explosionsartig und der Kontakt ist daher zu vermeiden. Siehe auch Sicherheitshinweis Nr. 11 „Sauerstoffanreicherung".



Der Aufenthalt in durch tiefkalte Gase unterkühlter Luft kann zur Unterkühlung des Körpers führen, bzw. zu Störung der Lungentätigkeit beim Einatmen dieser Luft.



Gase können sich bei Entweichen auch an Böden ansammeln, je nach schwere des Gases.

Beim Umgang mit allen tiefkalten Gasen, deren Temperatur niedriger als der Siedepunkt des Sauerstoffs liegt (siehe Tabelle Zeile 2), besteht die Möglichkeit, dass Luftsauerstoff kondensiert und dass es zu einer örtlichen Sauerstoffanreicherung kommen kann. Siehe Sicherheitshinweis Nr. 11 „Sauerstoffanreicherung". Die Werkstoffe, die mit tiefkalt verflüssigten Gasen in Berührung kommen können, müssen für deren tiefe Temperaturen geeignet sein, d. h. sie dürfen in der Kälte nicht verspröden. Geeignet sind z. B. Kupfer, austenitische Stähle, manche Aluminiumlegierungen. Von den Kunststoffen ist PTFE unter bestimmten Bedingungen geeignet. Welche Werkstoffe für welchen Einsatzfall geeignet sind, sollte mit unseren Gase-Anwendungstechnikern geklärt werden.

Wenn tiefkalt verflüssigte Gase z. B. zwischen 2 Ventilen eingeschlossen werden können, sind Druckentlastungseinrichtungen mit genügend großem Durchmesser vorzusehen. Auch bei bester Isolierung werden diese Flüssigkeiten verdampfen. Das dabei entstehende Gas muss durch die Druckentlastungseinrichtungen abgeführt werden, um ein Bersten der Rohrleitung etc. zu vermeiden.

Bevor tiefkalt verflüssigte Gase in Apparate, Behälter, Rohrleitungen, Armaturen etc. gelangen, müssen diese sorgfältig getrocknet sein. Durch die tiefkalt verflüssigten Gase würde es sonst zum Ausfrieren der Feuchtigkeit kommen, wodurch Funktionsstörungen (z. B. von Sicherheitsventilen, Manometern, ...) verursacht werden können.

Zu beachten ist, dass jedes Material schrumpft, wenn es tieferen Temperaturen ausgesetzt wird. Das Ausmaß der Schrumpfung ist abhängig vom Material und vom Grad der Temperaturabsenkung. Unterschiedliche Schrumpfungen unterschiedlicher Materialien können zu Leckagen oder auch zu Brüchen z. B. an verschraubten Flanschen oder ähnlichen Verbindungen führen.

4. Umweltschutz

Die in der Tabelle aufgeführten Gase (außer Wasserstoff und LNG) sind sämtlich in der Luft in unterschiedlichen Mengen vorhanden. Wenn relativ kleine Mengen (einige Liter) tiefkalt verflüssigter Gase in die Atmosphäre verdampfen, so wird sie dadurch auf Dauer weder belastet noch verändert. Wenn versehentlich tiefkalt verflüssigte Gase verschüttet werden, entsteht keine Verunreinigung des Erdreiches, weil tiefkalt verflüssigte Gase schnell verdampfen und somit nicht oder nur in geringem Maße in das Erdreich eindringen. Die vorübergehende lokale Bodenfrostung hinterlässt keine Dauerschäden des Erdreiches.

5. Erste Hilfe

- Der Verletzte ist an einen warmen Ort (ca. 22 °C) zu bringen. Direkte Wärme ist nicht anzuwenden.
- Sollte eine qualifizierte medizinische Behandlung nicht sofort verfügbar sein, ist dafür zu sorgen, dass der Verletzte sofort in eine Krankenhaus gebracht wird.

In der Zwischenzeit ist folgendes zu beachten:

- Alle Kleidungsstücke, die die Blutzirkulation an der betroffenen Stelle behindern könnten, sind zu lösen.
- Die betroffenen Hautstellen sind mit großen Mengen lauwarmem Wasser zu übergießen.
  Achtung: Die Anwendung von heißem Wasser oder einer anderen Form von direkter Wärme ist unzulässig!
- Die betroffenen Stellen sind mit einer umfangreichen Abdeckung aus trockenem, sterilem Verbandszeug zu schützen. Dieses darf nicht so fest angebracht werden, dass die Blutzirkulation beeinträchtigt wird. Der betroffene Körperteil ist ruhigzustellen.
- Die übliche Behandlung gegen einen Schock ist anzuwenden.
- Alkohol- und Tabakgenuss ist wegen der nicht abschätzbaren Beeinflussung der Blutzirkulation zu unterbinden.

6. Behandlung durch den Arzt oder im Krankenhaus

- Der Körperteil, der der tiefen Temperatur ausgesetzt war, ist in ein Wasserbad mit einer Temperatur, die im Idealfall nicht weniger als 40 °C aber auf keinen Fall mehr als 42 °C beträgt, einzutauchen.
  Achtung: Niemals heißes Wasser oder trockene Hitze anwenden! Temperaturen oberhalb 42 °C verursachen auf der erfrorenen Haut zusätzliche Verbrennungen!
- Wenn größere Körperpartien den tiefkalten Temperaturen ausgesetzt waren, sodass die gesamte Körpertemperatur abgesunken ist, muss der Patient unverzüglich wieder aufgewärmt werden. Der Patient sollte dazu in ein Warmwasserbad zwischen 40 und 42 °C gebracht werden. Für eine möglichst rasche Wiedererwärmung ist es wichtig, dass die Bad-Temperatur bei mindestens 40 °C gehalten wird.
- Sind für diese Behandlungsart keine Möglichkeiten gegeben, kann der Patient hilfsweise an einem warmen Ort (ca. 22 °C) ruhiggestellt und mit Wolldecken leicht zugedeckt werden.
- Während des Wiederaufwärmens kann ein Schock eintreten.
- Erfrorene Haut sieht wachsartig aus (blasse, gelbe Farbe) und ist oft schmerzfrei. Wenn sie auftaut, beginnt sie zu schmerzen, schwillt an und ist anfällig für Infektionen. Das Auftauen kann 15 bis 60 Minuten dauern und sollte fortgesetzt werden, bis die Hautfarbe

sich in rosa oder rot gewandelt hat. Der Auftauvorgang kann je nach Grad der Einwirkung sehr schmerzhaft sein. Es kann erforderlich sein, Schmerzmittel zu verabreichen.
- Sind die erfrorenen Körperstellen vor dem Eintreffen medizinischer Hilfe bereits aufgetaut, sollte nicht weiter aufgewärmt werden. In diesem Fall sind diese Stellen mit einer großen Abdeckung aus trockenem, sterilem Verbandszeug zu schützen.
- Eine Tetanus-Impfung ist empfehlenswert.
- Es sollte die Überführung des Patienten in ein Unfallkrankenhaus mit besonderer Erfahrung und Einrichtung, z. B. Verbrennungsabteilung, erwogen werden.

7. Schlussbemerkung

Der sichere Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen ist nur möglich, wenn die spezifischen Eigenschaften dieser Gase bekannt sind. Unsachgemäß angewandte tiefkalte Gase können z. B. Erfrierungen verursachen, während die sachgerechte Anwendung des gleichen Effektes in der Kryochirurgie segensreich wirkt.

Mit anderen Worten: Tiefkalt verflüssigte Gase haben weder gute noch schlechte Eigenschaften. Es kommt einzig darauf an, die Eigenschaften richtig zu nutzen. Unsere Gase-Anwendungstechniker sagen Ihnen wie.

Diese Veröffentlichung entspricht dem Stand des technischen Wissens zum Zeitpunkt der Herausgabe. Der Betreiber muss die Anwendbarkeit der Sicherheitshinweise auf seine spezielle Situation im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung prüfen und die Aktualität der vorliegenden Fassung in eigener Verantwortung sicherstellen.

8. Vorschriften und Regeln

- Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 407 „Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung“

Linde GmbH
Gases Division, Seitnerstraße 70, 82049 Pullach
Telefon +49 89 7446-0, linde-gas.de

Das Linde Logo und das Wort Linde sind Marken oder registrierte Marken der Linde plc oder der mit ihr verbundenen Unternehmen. Copyright © 2020–2026. Linde plc.

Making our world more productive

LBSS03_0626