

SICHERHEITSHINWEISE

Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen

1. Vorbemerkungen

Diese Sicherheitshinweise sind Empfehlungen aus der Praxis 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 cryogenem) Zustand, wenn deren Temperatur deutlich unter z. B. -50°C liegt. In der Tabelle sind einige der Gase aufgeführt, mit denen häufig in tiefkaltem Zustand umgegangen wird.

Eine Gefährdungsbeurteilung für den Arbeitsbereich bzw. die Arbeitsmittel ist vor dem Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen durchzuführen.

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, z. B.:

- **Berührung:** Direkter Kontakt mit tiefkalten Flüssigkeiten kann starke Erfrierungen bzw. Kaltverbrennungen verursachen. Insbesondere Augen können durch Spritzer geschädigt werden.
- **Versprödung:** Werkstoffe (z. B. die meisten Kunststoffe, Baustahl) verspröden sehr stark bei tiefen Temperaturen.

In einer Betriebsanweisung sind die wichtigsten Schutzmaßnahmen zu beschreiben und zu beachten.

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 sind, z. B. in den Sicherheitshinweisen **Sauerstoffmangel**, **Sauerstoffanreicherung**, usw.



3.1 Persönliche Schutzausrüstung

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.



Physikalische Eigenschaften einiger tiefkalter Gase

Gas	Sauerstoff	Stickstoff	Argon	Wasserstoff	Helium	LNG	Kohlen- dioxid
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	1,4	0,071	0,125	0,42	1,178 **)
Dichte des Gases bei 15°C, 1013 mbar [kg/m ³]	1,34	1,17	1,67	0,084	0,167	0,72	1,85
Rel. 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

Gut isolierende **Schutzhandschuhe** aus trockenen versprödungsarmen Materialien (z. B. Leder, Kevlar®) 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 so ausgeführt sein, dass sie den leichten Eintritt von Flüssigkeit verhindern.

Wenn spritzende tiefkalte Flüssigkeit die Augen erreichen könnte, soll 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, soll **Schuhwerk** in gutem Zustand getragen werden. Die Sohlen sollten profiliert sein. Wenn mit brennbaren tiefkalten Gasen oder Flüssigkeiten umgegangen wird (z. B. mit flüssigem Wasserstoff, Flüssig-Erdgas, LNG), sind Schuhe mit leitfähigen (s. g. antistatischen) Sohlen zu tragen. Alle Schutzschuhe nach EN 345 erfüllen diese Anforderungen, sofern die Originalsohlen vorhanden sind. Stiefel sind deswegen nicht empfehlenswert, weil sie nicht schnell genug ausgezogen werden können.



Atemschutzgeräte können dann erforderlich sein, wenn durch verdampfte, tiefkalte Gase der Sauerstoff der Luft verdrängt wird. Siehe auch Sicherheitshinweise **Sauerstoffmangel**.

3.2 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.

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 dieses 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 Gasmengen (siehe Tabelle Zeile 6). 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.

Durch die in der Tabelle aufgeführten tiefkalten Gase können zwar Vergiftungen nicht auftreten, weil die dort genannten Gase ungiftig sind. Durch diese Gase (außer durch Sauerstoff) könnte jedoch der Luftsauerstoff verdrängt werden, was unterhalb von 15 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. CO₂-Konzentrationen ab etwa 8 Vol.-% wirken innerhalb von Sekunden tödlich.



Weitere Informationen hierüber in den Sicherheitshinweisen:

Sauerstoffmangel bzw. **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 **Sichtbehinderungen** die Orientierung erschweren können. 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, CO₂) existiert kein Brandrisiko. Diese Gase können 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 notwendig. **Sauerstoff**, obwohl selbst nicht brennbar, unterstützt die Verbrennung jedoch erheblich. Werkstoffe, die unteratmosphärischen Bedingungen als unbrennbar oder schwer entflammbar gelten, können in mit Sauerstoff angereicherter Luft - und erst recht in reinem Sauerstoff - brennbar sein. Und sind sie einmal gezündet, verbrennen sie extrem 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 da-

her zu vermeiden. Siehe auch Sicherheitshinweise **Sauerstoffanreicherung**.



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 Sicherheitshinweise **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 dem Gaslieferanten geklärt werden.

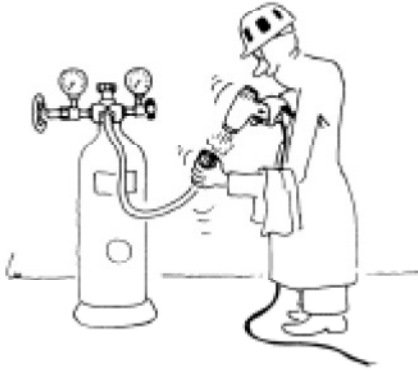


Wenn tiefkalt verflüssigte Gase z. B. zwischen zwei Ventilen eingeschlossen werden können, sind **Druckentlastungseinrichtungen** mit genügend großem Durchmesser vorzusehen.

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. Transport

Auch bei dem Transport von tiefkalt verflüssigten Gasen sind die schon vorher beschriebenen Vorsichtsmaßnahmen im besonderen einzuhalten.

Wenn ein mit flüssigem Stickstoff gefüllter Transportbehälter in einem nicht belüfteten geschlossenen Fahrzeug umkippt, werden schlagartig große Mengen an gasförmigen Stickstoff frei, die den Luftsauerstoff im Fahrzeug verdrängen. Außerdem führt die auskondensierende Luftfeuchtigkeit (Nebelbildung) zu Sichtbehinderungen im fahrzeuginneren.

Daher muss bei dem Transport von tiefkalt verflüssigten Gasen in Fahrzeugen der Ladungssicherung und der Belüftung ein sehr hoher Stellenwert beigemessen werden.

5. 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 Bodenfröschung hinterlässt keine Dauerschäden des Erdreiches.



6. Schlussbemerkung

Der sichere Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen ist nur möglich, wenn die spezifischen Eigenschaften dieser Gase bekannt sind und bewusst genutzt werden. Unsachgemäß angewandte tiefkalte Gase können z. B. Erfrierungen verursachen, während die sachgerechte Anwendung des gleichen Effektes in der Cryochirurgie segensreich wirkt. Mit anderen Worten:

Tiefkalt verflüssigte Gase haben weder gute noch schlechte Eigenschaften. Es kommt einzig darauf an, die Eigenschaften richtig zu nutzen.

Ihr Gaselieferant sagt Ihnen, wie.

Diese Veröffentlichung entspricht dem Stand des technischen Wissens zum Zeitpunkt der Herausgabe. Der Verwender muss die Anwendbarkeit auf seinen speziellen Fall und die Aktualität der ihm vorliegenden Fassung in eigener Verantwortung prüfen. Eine Haftung des IGV und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.



Industriegasverband e.V. – Komödienstr. 48 – 50667 Köln

Telefon: 0221-9125750 – Telefax: 0221-912575-15 – e-mail: Kontakt@Industriegasverband.de

Internet: www.Industriegasverband.de