



**IGV-MB-01S-Rev0**

Stand 30.08.2021

erstellt von

Expertengruppe "Sicherheit" (EG-S)

# Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen

**Haftungsausschluss:** 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.

© Der IGV genehmigt hiermit die Vervielfältigung dieses Dokuments, vorausgesetzt, der Verband wird als Quelle angegeben.

## 1. Einführung und Geltungsbereich

Dieses Merkblatt ist eine Empfehlung 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.  $-50^{\circ}\text{C}$  liegt. Eine Gefährdungsbeurteilung für den Arbeitsbereich bzw. die Arbeitsmittel ist vor dem Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen durchzuführen und zu erstellen.



In der folgenden Tabelle sind einige der Gase aufgeführt, mit denen häufig in tiefkaltem Zustand umgegangen wird.

Physikalische Eigenschaften einiger tiefkalter Gase

Gas	Sauerstoff	Stickstoff	Argon	Wasserstoff	Helium	LNG	Kohlendioxid
chem. Symbol	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	H <sub>2</sub>	He	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
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 [mg/m <sup>3</sup> ]	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

## 2. Allgemeines über tiefkalt verflüssigte Gase

Beim Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen müssen besondere physikalische Eigenschaften berücksichtigt werden, z. B. können folgende Gefahren auftreten:

- **Berührung:** Direkter Kontakt mit tiefkalt verflüssigten Gasen/Armaturen kann starke Erfrierungen bzw. Kaltverbrennungen verursachen. Insbesondere Augen können durch Spritzer irreversibel geschädigt werden.
- **Versprödung:** Werkstoffe (z. B. die meisten Kunststoffe, Baustahl) verspröden sehr stark bei tiefen Temperaturen. Dies ist bei der Werkstoffauswahl zu beachten.
- **Verdampfung:** Durch die Verdampfung von tiefkalt verflüssigten Gasen, bei Temperaturen oberhalb des Siedepunktes, entsteht schnell ein Vielfaches an Gasmenge. Eingeschlossene tiefkalte Gase können bei Verdampfung zu hohen Druckanstiegen in Leitungen führen.

In einer Betriebsanweisung sind die wichtigsten Schutzmaßnahmen festzulegen und jeweils zu unterweisen.

## 3. Vorsichtsmaßnahmen

Die Vorsichtsmaßnahmen in diesem Abschnitt sind anwendbar für alle tiefkalt verflüssigten Gase.

Sie sind zusammen mit den Maßnahmen anzuwenden, die in den Sicherheitsdatenblättern für Gase und weiteren zutreffenden Sicherheitshinweisen enthalten sind, z. B. in den Sicherheitshinweisen des Industriegaseverbandes e.V.

### 3.1 Persönliche Schutzausrüstung

Konsequent getragen, schützt die persönliche Schutzausrüstung vor dem Kontakt mit tiefkalten Gasen, Flüssigkeiten oder Anlageteilen, so dass Gesundheitsschäden praktisch ausgeschlossen sind.

Die Kleidung soll sauber, trocken und je nach Gasart ggf. auch Schutz gegen Hitze und Flammen bieten. 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 Schutzhandschuhe (sog. Cryo-Handschuhe) aus trockenen versprödungsarmen Materialien sind zu tragen, wenn kalte Anlagenteile gehandhabt werden und wenn mit Spritzern gerechnet werden muss. Die Cryo-Handschuhe sollen ebenfalls locker sitzen, damit sie schnell ausgezogen werden können, falls tiefkalt verflüssigtes Gas in die Handschuhe eingetreten ist. Stulpen oder Manschetten sollten so ausgeführt sein, dass sie den leichten Eintritt von Flüssigkeit verhindern.

Wenn spritzende tiefkalt verflüssigte Gase die Augen erreichen könnte, soll eine geschlossene Schutzbrille bzw. ein Gesichtsschutz mit Vollvisier getragen werden, z. B. wenn tiefkalt verflüssigte Gase umgegossen wird, wenn Schläuche an- oder abgeschlossen werden oder wenn Teile in die tiefkalt verflüssigten Gase eingetaucht werden.

Augenschutzbrillen können nur unvollständig schützen.

Wenn mit tiefkalt verflüssigten Gasen umgegangen wird, sollen geschlossene Sicherheitsschuhe getragen werden.

Gaswarngeräte/Gaswarnanlagen können dann erforderlich sein, wenn durch verdampfte, tiefkalte Gase, z. B. der Sauerstoff aus der Luft verdrängt oder andere Gase angereichert werden.



### 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 Gas ausgebracht. 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 dieser offen ist (z. B. Dewar-Gefäß).

Bei geschlossenen Gefäßen führt die Verdampfung zu einem Druckanstieg. Je besser die Isolierung des Gefäßes, desto langsamer ist der Druckanstieg und desto langsamer erwärmt sich das tiefkalt verflüssigte Gas.

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 Be- und Entlüftung vorhanden sind, die mindestens die entstehende Gasmenge sicher abführt.

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.

Beim Umgang mit tiefkalten Gasen kann sich Nebel bilden, da die Luftfeuchtigkeit der Umgebung 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, CO<sub>2</sub>) existiert kein Brandrisiko. Brand- oder Explosionsgefahr kann dann entstehen, wenn entzündbare tiefkalt verflüssigte Gase (z. B. Wasserstoff, LNG) austreten, weil diese verdampfen und dadurch mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden können. Eine besonders wirksame natürliche oder technische Be- und Entlüftung ist daher in der Regel notwendig.

Sauerstoff, obwohl selbst nicht entzündbar, unterstützt die Verbrennung jedoch erheblich. Werkstoffe, die unter atmosphärischen Bedingungen als nicht-brennbar oder schwer entflammbar gelten, können bei Benetzung mit tiefkalt verflüssigtem Sauerstoff oder in mit Sauerstoff angereicherter Luft und erst recht in reiner Sauerstoffatmosphäre brennbar sein oder sogar explosionsartig verbrennen. 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.

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. Welche Werkstoffe für welchen Einsatzfall geeignet sind, sollte mit dem jeweiligen Lieferanten geklärt werden.

Wenn tiefkalt verflüssigte Gase z. B. zwischen zwei Ventilen eingeschlossen werden können, sind ausreichend dimensionierte Druckentlastungseinrichtungen vorzusehen. Auch bei bester Isolierung werden diese tiefkalt

verflüssigten Gase verdampfen. Das dabei entstehende Gas muss durch die Druckentlastungseinrichtungen sicher abgeführt werden, um ein Bersten der Rohrleitung etc. zu vermeiden.

Bevor tiefkalt verflüssigte Gase in Apparate, Behälter, Rohrleitungen, Armaturen, etc. gelangen, müssen diese Einrichtungen 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 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. Generell sind die Anforderungen des Gefahrgutrechtes zu beachten.

#### 5. Umweltschutz

Sämtliche in der Tabelle aufgeführten Gase (außer Wasserstoff und LNG) sind in unterschiedlichen Mengen in der Luft 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 berücksichtigt werden.

## 7. Literaturhinweise / Quellenangaben

- TRGS 407 Tätigkeiten mit Gasen - Gefährdungsbeurteilung
- TRGS 510 Lagerung von Gefahrstoff in ortsbeweglichen Behältern
- TRBS 3145/TRGS 745 Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren
- TRBS 3146/TRGS 746 Ortsfeste Druckanlagen für Gase
- TRBS 2141 Gefährdungen durch Dampf und Druck
- BGRCI Merkblatt T029 Füllen von Druckbehältern mit Gasen