

213-115

## DGUV Information 213-115



## Tätigkeiten mit Trockeneis – Herstellung, Lagerung und Verwendung

## Impressum

Herausgegeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)  
Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet Gefahrstoffe des Fachbereichs Rohstoffe  
und chemische Industrie der DGUV

Ausgabe: Juni 2023

Satz und Layout: Atelier Hauer + Dörfler, Berlin

Bildnachweis: Titelbild: © Clerence/stock.adobe.com  
Abb. 2, 3, 11, 12, 14, 16: © Steimer  
Abb. 5, 6, 8: © Neumann/BG Verkehr  
Abb. 4, 9: © Industriegasverband e. V. (IGV)  
Abb. 10: © Real GmbH  
Abb. 13: © Fritz Fuchs  
Abb. 15: © Dr. Wiesemeier

Copyright: Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.  
Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit  
ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Bezug: Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) › Webcode: p213115

# **Tätigkeiten mit Trockeneis – Herstellung, Lagerung und Verwendung**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1</b> <b>Vorwort</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b> <b>Geltungsbereich dieser DGUV Information</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b> <b>Begriffsbestimmungen</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b> <b>Allgemeine Informationen</b> .....	<b>10</b>
4.1   Physikalische und chemische Eigenschaften .....	10
4.2   Rechtliche Grundlagen .....	11
4.2.1   Gefahrstoffrecht .....	11
4.2.2   Gefahrgutrecht .....	13
4.3   Gefährdungen .....	15
4.4   Schutzmaßnahmen („STOP-Prinzip“) .....	17
4.4.1   Substitution .....	18
4.4.2   Technische Maßnahmen .....	18
4.4.3   Organisatorische Maßnahmen .....	18
4.4.4   Persönliche Schutzmaßnahmen .....	19
<b>5</b> <b>Herstellung und Anwendungsbereiche von Trockeneis</b> .....	<b>20</b>
5.1   Herstellung von Trockeneis .....	20
5.1.1   Beschreibung der Herstellung .....	20
5.1.2   Spezifische Gefährdungen .....	21
5.1.3   Spezifische Schutzmaßnahmen .....	22
5.2   Lagerung und Konfektionierung von Trockeneis .....	23
5.2.1   Beschreibung von Lagerung und Konfektionierung .....	23
5.2.2   Spezifische Gefährdungen .....	24
5.2.3   Spezifische Schutzmaßnahmen .....	25
5.3   Einsatz von Trockeneis beim Transport .....	27
5.3.1   Allgemeines zum Transport .....	27
5.3.2   Zustellung durch Post- oder Kurierdienste .....	33
5.3.2.1   Spezifische Gefährdungen .....	34
5.3.2.2   Spezifische Schutzmaßnahmen .....	34
5.3.3   Auslieferung von Tiefkühlwaren .....	35

	Seite
5.3.3.1 Spezifische Gefährdungen.....	36
5.3.3.2 Spezifische Schutzmaßnahmen .....	36
5.3.4 Sonderfall: Transport geringer Mengen Trockeneis in kleinen und gut isolierten Behältern.....	37
5.4 Kühlen von Waren während der Herstellung und Bereitstellung .....	39
5.4.1 Spezifische Gefährdungen.....	39
5.4.2 Spezifische Schutzmaßnahmen .....	39
5.5 Reinigen.....	40
5.6 Nebeneffekte.....	41
5.7 Naturwissenschaftliche Laboratorien .....	42
<b>6 Erste Hilfe und Notfallmaßnahmen.....</b>	<b>43</b>
<b>7 Messtechnik.....</b>	<b>46</b>
<b>8 Lagerung von Kohlendioxid zur Trockeneisproduktion .....</b>	<b>51</b>
<b>9 Weiterführende Informationen.....</b>	<b>52</b>
<b>10 Expositionsmessungen und Berechnungen als Grundlage für den in Kapitel 5.3.4 geschilderten Sonderfall .....</b>	<b>54</b>
<b>11 Literatur und Quellenverzeichnis.....</b>	<b>58</b>

# 1 Vorwort

Die vorliegende DGUV Information beschreibt Tätigkeiten mit Trockeneis. Sie hilft, die Gefährdungen für die Beschäftigten zu beurteilen und die erforderlichen Schutzmaßnahmen zu treffen. Der Einsatz von Trockeneis erfolgt z. B.

- bei Lebensmittellagerung und -transport,
- im Gesundheitswesen (z. B. Transport von Impfsen),
- im Gastgewerbe,
- zu Reinigungszwecken (Trockeneis-Strahlen),
- in der Unterhaltungsbranche (Nebeffekte).

Insbesondere beim Transport von Lebensmitteln sind in den letzten Jahren deutliche Steigerungen beim Einsatz von Trockeneis zu verzeichnen. Um den hohen Qualitätsanforderungen gerecht zu werden, stellt sich die Frage nach einer geeigneten Kühlung von Tiefkühlprodukten.

Hierbei können die nicht offensichtlichen Gefahren des Trockeneises zu einer ernsthaften bis tödlichen Gefahr durch Erstickten werden. Oftmals werden bei Tätigkeiten mit Trockeneis die von ihm ausgehenden Gefahren unterschätzt.

Der Einsatz von Trockeneis ist eine weitverbreitete, praxistaugliche Möglichkeit der Kühlung, da bei Trockeneis durch den direkten Übergang vom festen in den gasförmigen Zustand nach der Verwendung keine zu entsorgenden Rückstände verbleiben. Es ist lebensmittelrechtlich zugelassen und deklarationsfrei. Im Handel wird Trockeneis zur Kühlung von Tiefkühl- und Frischeprodukten in Versandverpackungen eingesetzt. Für die Konfektionierung der Versandstücke wird eine Vorratsmenge an Trockeneis gelagert und bereitgestellt. Dies erfolgt im Allgemeinen in den Räumlichkeiten der Versendenden.

Da vom verwendeten Trockeneis stetig gasförmiges CO<sub>2</sub> entweicht, muss dies bei der Lagerung und der Auswahl der Fahrzeuge, die Versandstücke mit Trockeneis transportieren, berücksichtigt werden.

## 2 Geltungsbereich dieser DGUV Information

Diese DGUV Information behandelt Gefährdungen und Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit festem CO<sub>2</sub> (Trockeneis). Es werden seine Herstellung aus flüssigem CO<sub>2</sub>, Lagerung und Transport sowie Verwendung in ausgewählten Spezialgebieten thematisiert.

In erster Linie soll diese DGUV Information die Verantwortlichen für Tätigkeiten mit Trockeneis in folgenden Bereichen unterstützen:

- Ermittlung und Beurteilung der Gefährdungen
- Festlegung der zum Schutz des Menschen und der Umwelt erforderlichen Maßnahmen und Verhaltensregeln
- Festlegung des Verhaltens im Gefahrenfall
- Festlegung der Erste-Hilfe-Maßnahmen
- Ausarbeitung der Betriebsanweisung
- Durchführung der Unterweisungen

Über Gefährdungen durch ausschließlich gasförmiges CO<sub>2</sub> (z. B. in Gruben und Schächten, bei Gärprozessen, beim Befahren von Behältern sowie durch CO<sub>2</sub>-Löschanlagen) informieren die in Kapitel 9 genannten Schriften.

# 3 Begriffsbestimmungen

In dieser DGUV Information gelten folgende Begriffe:

## **Gefährdungsbeurteilung**

Die Gefährdungsbeurteilung ist die systematische Ermittlung und Bewertung relevanter Gefährdungen der Beschäftigten mit dem Ziel, die erforderlichen Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit festzulegen. Sie ist vor Beginn der Tätigkeit durchzuführen.

## **Gefahrgut**

Gefahrgut sind entsprechend der Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB<sup>1</sup>) Stoffe und Gegenstände, deren Beförderung nach den Vorgaben der internationalen Gefahrgutvorschriften entweder verboten oder unter bestimmten Bedingungen erlaubt ist. Die Gefahrgutvorschriften regeln insbesondere die Kennzeichnung und Verpackung beim Transport sowie die dazugehörigen Vorbereitungs- und Abschlusshandlungen.

## **Gefahrstoff**

Gefahrstoffe sind Stoffe, Gemische oder Erzeugnisse mit gefährlichen Eigenschaften. Sie können akute oder chronische gesundheitliche Schäden beim Menschen verursachen, entzündlich, explosionsgefährlich oder gefährlich für die Umwelt sein. Sie sind entsprechend der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)<sup>2</sup> Stoffe, Gemische und bestimmte Erzeugnisse, welche den Kriterien aus Anhang I der EG-Verordnung 1272/2008 (CLP-Verordnung)<sup>3</sup> entsprechen.

---

<sup>1</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 1

<sup>2</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 2

<sup>3</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 3

### **Transportbehälter**

Als Transportbehälter werden in dieser Schrift diejenigen Behälter bezeichnet, in welchen kleinere Mengen Trockeneis transportiert oder zur Kühlung anderer Güter eingesetzt werden.

### **Trockeneis**

Trockeneis bezeichnet festes Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), auch Kohlendioxid genannt.

### **Versandstück**

Entsprechend dem Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)<sup>4</sup> wird das versandfertige Endprodukt des Verpackungsvorgangs, bestehend aus einer Verpackung und seinem Inhalt, als Versandstück bezeichnet. So stellt zum Beispiel auch ein transportierter Isolierbehälter, der sowohl Trockeneis als auch zu kühlende Transportgüter enthält, ein Versandstück dar.

### **Vorratsbehälter**

Als Vorratsbehälter werden in dieser Schrift diejenigen Behälter bezeichnet, in welchen Trockeneis stationär gelagert wird. Zum Teil wird Trockeneis bereits in Vorratsbehältern angeliefert.

---

<sup>4</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 7

# 4 Allgemeine Informationen

## 4.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

Trockeneis ist festes Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), das unter Normaldruck bereits ab  $-78,5^\circ\text{C}$  direkt in die Gasphase übergeht, ohne währenddessen flüssig zu werden (Sublimation). Mit zunehmender Temperatur steigt auch die Gasfreisetzung, dabei erfolgt eine deutliche Volumenzunahme. Aus 1 kg Trockeneis werden über 500 Liter ( $0,5\text{ m}^3$ ) gasförmiges Kohlendioxid.  $\text{CO}_2$  ist geruchlos, geschmacksneutral und nicht brennbar.  $\text{CO}_2$  ist 1,5-mal schwerer als Luft, sammelt sich in tiefergelegenen Bereichen schnell an und hält sich dort beständig.  $\text{CO}_2$  ist wie die meisten Gase farblos. Der beim Einsatz von Trockeneis oft beobachtete Nebel besteht aus kondensiertem Wasser aus der Umgebungsluft.

Die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in Innenräumen gilt als wesentlicher Indikator für eine ausreichende Luftqualität. Sie ist in diesem Zusammenhang auch ein Maß für die Effektivität der Raumlüftung. Zur hygienischen Bewertung der Raumluft gilt ein Richtwert von 1000 ppm (0,1 Vol.-%) als Obergrenze.

## Vorkommen und Bewertung von CO<sub>2</sub>

Gasförmiges CO<sub>2</sub> ist ein normaler Bestandteil unserer Umgebungsluft und unseres Stoffwechsels. Beispiele für typische CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bietet die folgende Tabelle:

CO <sub>2</sub> -Konzentrationen in Vol.-% <sup>5</sup>	Beispiel
Ca. 0,04	Unbelastete Außenluft
Bis 0,07	Stadtluft
Bis 0,5	Unzureichend belüftete Klassenzimmer
Ca. 4 – 6	Ausgeatmete Luft

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Umgebungsluft nimmt aufgrund der Verbrennung fossiler Energieträger durch den Menschen seit vielen Jahren kontinuierlich und signifikant zu. Der angegebene Wert von 0,04 Vol.-% ist daher nur eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Erstellung dieser DGUV Information. Ebenso verstärkt die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration den Treibhauseffekt und trägt so zur weltweit beobachteten Klimaerwärmung bei.<sup>6</sup>

## 4.2 Rechtliche Grundlagen

### 4.2.1 Gefahrstoffrecht

#### Arbeitsplatzgrenzwert

Ein Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) ist eine Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, unterhalb derer eine schädigende Auswirkung auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten ist.

<sup>5</sup> 1 Vol.-% entspricht 10 000 ppm

<sup>6</sup> [www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid](http://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid)

Für gasförmiges Kohlendioxid ist ein AGW von 5000 ppm (0,5 Vol.-%) festgelegt. Dieser ist im Durchschnitt über 8 Stunden einzuhalten.

Beispielsweise kann die Kohlendioxidkonzentration im Laderaum beim Transport von Trockeneis großen Schwankungen unterworfen sein. In diesem Fall ergänzt der Kurzzeitwert von CO<sub>2</sub> den AGW, indem er die Konzentrationsschwankungen um den Schichtmittelwert nach oben hin bezüglich der Dauer und Häufigkeit beschränkt. Der AGW von CO<sub>2</sub> darf höchstens viermal pro Schicht über 15 Minuten um das Zweifache überschritten werden, dabei ist ein Zeitraum von einer Stunde zwischen den Perioden anzustreben (siehe Technische Regel für Gefahrstoffe 900 (TRGS 900)<sup>7</sup>).

### Arbeitsplatzgrenzwert nach GefStoffV und TRGS 900

Grenzwert für die zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz in Bezug auf einen gegebenen Referenzzeitraum. Er gibt an, bei welcher Konzentration eines Stoffes akute oder chronisch schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind. AGW sind Schichtmittelwerte bei in der Regel täglich achtstündiger Exposition an fünf Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit. Expositionsspitzen während einer Schicht werden mit Kurzzeitwerten beurteilt.

---

<sup>7</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 4

### Technische Regeln für Gefahrstoffe

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder. Sie werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) aufgestellt und von ihm der Entwicklung entsprechend angepasst.

## 4.2.2 Gefahrgutrecht

Trockeneis ist im Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)<sup>8</sup> als UN 1845 aufgeführt und unterliegt dort nur den Sondervorschriften für die Beförderung von Trockeneis (ADR Abschnitt 5.5.3).

Seit 2017 gelten diese Vorschriften für die Beförderung von Trockeneis, unabhängig davon, ob es als Sendung oder als Kühl- oder Konditionierungsmittel transportiert wird.

Jedes Versandstück mit Trockeneis muss mit dem Schriftzug „KOHLENDIOXID, FEST“ oder „TROCKENEIS“ und, sofern zutreffend, dem Zusatz „ALS KÜHLMITTEL“ bzw. „ALS KONDITIONIERUNGSMITTEL“ gekennzeichnet sein sowie in gut belüfteten Fahrzeugen und Containern befördert werden. „Gut belüftet“ bedeutet nach ADR in diesem Zusammenhang unter anderem, dass eine Atmosphäre vorhanden ist, in der die CO<sub>2</sub>-Konzentration unter 0,5 Vol.-% liegt.

Bei nicht gut belüfteten Fahrzeugen, die Trockeneis transportieren, kann außerdem die Anbringung eines Warnkennzeichens gemäß Absatz 5.5.3.6 ADR erforderlich sein (siehe Abbildung 1). In solchen Fällen muss

---

<sup>8</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 7



**Abb. 1**  
Erstickungswarnkennzeichen  
für den Transport von Trockeneis  
gemäß ADR

zusätzlich folgender Eintrag im Beförderungspapier angegeben werden:  
„UN 1845 KOHLENDIOXID, FEST“, ggf. mit dem Zusatz „ALS KÜHLMITTEL“  
oder „ALS KONDITIONIERUNGSMITTEL“.

Alle Personen, die mit der Beförderung von Trockeneis befasst sind, müssen  
vor Aufnahme der Tätigkeit entsprechend ihren Pflichten unterwiesen sein.

## 4.3 Gefährdungen

### **Kälteverbrennungen**

Trockeneis hat eine Temperatur von unter  $-78,5\text{ °C}$  und führt bei direkter Berührung mit der Haut zu Kälteverbrennungen. Gelangen beim Zerkleinern von Trockeneis Bruchstücke ins Auge, so kann dies zu schweren Augenschäden führen.

### **Berstgefahr**

Da sich Trockeneis beim Übergang in die Gasphase stark ausdehnt, darf es nur in Behältern gelagert und transportiert werden, die nicht gasdicht abschließen und damit einen Druckausgleich ermöglichen.

### **Gefahr durch Versprödung**

Trockeneis kann bei direktem Kontakt mit Materialien (z. B. Kunststoffen, Metallen) zu Versprödung führen, wodurch sie ihre Festigkeit verlieren können. Sollte Trockeneis unverpackt befördert werden, darf es nicht in direkten Kontakt mit dem Metallaufbau des Fahrzeugs gelangen und muss einen Abstand von mindestens 30 mm zu den Bestandteilen des Fahrzeugs haben (z. B. durch Holzbohlen oder Paletten).

### **Erstickungsgefahr**

Beim Einatmen von Kohlendioxid können in Abhängigkeit von der Konzentration unterschiedliche Wirkungen auftreten. Die folgende Tabelle zeigt  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen und mögliche gesundheitliche Wirkungen auf.

CO <sub>2</sub> -Konzentrationen in der Luft in Vol.-%	Symptome/Wirkung
0,5 – ca. 2	Müdigkeit und nachlassende Konzentrationsfähigkeit möglich. Bei (längerem) Einatmen können körperliche Beeinträchtigungen auftreten, z. B. Kopfdruck und Kopfschmerzen.
ca. 2 – 4	Zunehmende Reizung des Atemzentrums mit Aktivierung der Atmung und Erhöhung der Pulsfrequenz
ca. 4 – 8	Verstärkung der Beschwerden, Durchblutungsprobleme im Gehirn, Aufkommen von Schwindelgefühl, Brechreiz und Ohrensausen
ca. 8 – 10	Verstärkung der Beschwerden bis zu Krämpfen und Bewusstlosigkeit mit kurzfristig folgendem Tod
> 10	Tod tritt kurzfristig ein

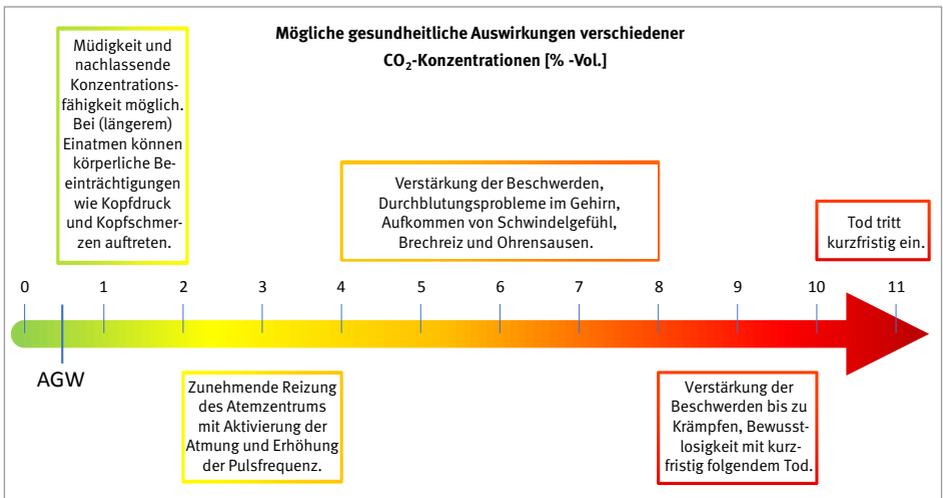


Abb. 2 Mögliche gesundheitliche Auswirkungen verschiedener CO<sub>2</sub>-Konzentrationsbereiche [%-Vol.]

## Sonstige Gefährdungen

### Gefährdung durch Eis, Nebel- und Kondenswasserbildung

Durch die niedrigen Temperaturen des Trockeneises kann es zu Eis-, Wassernebel- und Kondenswasserbildung kommen. Unfälle durch Ausrutschen sind möglich. Kondensiertes Wasser kann zu weiteren Gefährdungen führen, z. B. im Zusammenhang mit Elektrizität (Stromunfälle oder Kurzschlüsse), insbesondere wenn mit entstehendem Kondenswasser nicht gerechnet wird.

## 4.4 Schutzmaßnahmen („STOP-Prinzip“)

Gemäß § 5 des Arbeitsschutzgesetzes<sup>9</sup>, § 6 der Gefahrstoffverordnung und § 3 DGVV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“<sup>10</sup> hat der Arbeitgeber oder die Arbeitgeberin für die Beschäftigten eine Beurteilung der Arbeitsbedingungen durchzuführen, die mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdungen zu ermitteln und festzulegen, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Entsprechend dieser Forderung sind Tätigkeiten mit Trockeneis und die damit verbundenen Gefährdungen in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Die Rangfolge der Schutzmaßnahmen ergibt sich gemäß der GefStoffV aus dem „**STOP**-Prinzip“. Dieses beschreibt die Hierarchie der Schutzmaßnahmen „**S**ubstitution“, „**T**echnische Schutzmaßnahmen“, „**O**rganisatorische Schutzmaßnahmen“ sowie „**P**ersönliche Schutzmaßnahmen“ und muss von dem oder der Arbeitgebenden bei der Festlegung und Anwendung von Schutzmaßnahmen beachtet werden.

---

<sup>9</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 5

<sup>10</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 9

### 4.4.1 Substitution

Es ist zu prüfen, ob der Einsatz von Trockeneis durch ungefährlichere Kühlmittel, Kühlsysteme oder Verfahren ersetzt werden kann, z. B. maschinelle Kühlung oder Kältespeicherplatten.

### 4.4.2 Technische Maßnahmen

Beim Einsatz von Trockeneis ist für ausreichende Belüftung zu sorgen, die auch in Bodennähe wirksam ist.

### 4.4.3 Organisatorische Maßnahmen

Es ist eine Betriebsanweisung für Tätigkeiten mit Trockeneis zu erstellen, die auch die Möglichkeit eines unerwarteten Austritts von Trockeneis berücksichtigt. Es sind regelmäßige Unterweisungen durchzuführen, geeignete persönliche Schutzausrüstung bereitzustellen und Behälter mit Trockeneis zu kennzeichnen.

Beim Auftreten von

- Kopfdruck oder Kopfschmerz,
  - Schwindelgefühl, Brechreiz, Ohrensausen
- den Gefahrenbereich verlassen.

#### 4.4.4 Persönliche Schutzmaßnahmen

Beschäftigte müssen vor Aufnahme der Tätigkeit mit Trockeneis entsprechend unterwiesen werden und während der Tätigkeit geeignete persönliche Schutzausrüstung tragen.

Besteht die Möglichkeit eines direkten Kontakts mit Trockeneis, sind Schutzhandschuhe mit ausreichendem Kälteschutz zu tragen.<sup>11</sup>

Bei speziellen Tätigkeiten sind weitere persönliche Schutzausrüstungen (PSA) notwendig, z. B. beim Trockeneisstrahlen Schutzbrille und Atemschutz.

---

<sup>11</sup> Siehe auch DIN EN 511 2006-07 „Schutzhandschuhe gegen Kälte“

# 5 Herstellung und Anwendungsbereiche von Trockeneis

Trockeneis ist als einfach herzustellendes Kühlmittel mit sehr speziellen Eigenschaften in verschiedenen Anwendungsbereichen verbreitet.

Es wird beispielsweise in verschiedenen Branchen zum Kühlen von Transportgütern verwendet sowie während der Herstellung oder Bereitstellung von Lebensmitteln eingesetzt. Weiterhin wird es beim Trockeneisstrahlen als Reinigungsmittel für verschiedenste Oberflächen genutzt oder erzeugt in der Unterhaltungsbranche Nebeneffekte. Trockeneis gibt es in verschiedenen Bereitstellungsformen. Diese können Pellets und Nuggets in verschiedenen Größen sein (3 mm – 16 mm) oder Scheiben und Blöcke. Die vorgenannten Bereitstellungsformen werden abgepackt (Cryobags) oder auch in loser Form angeboten und verwendet.

## 5.1 Herstellung von Trockeneis

Zur Herstellung von Trockeneis wird flüssiges  $\text{CO}_2$  verwendet. Dieses erzeugt man, indem gasförmiges  $\text{CO}_2$  komprimiert und gekühlt wird. Flüssiges  $\text{CO}_2$  kann in Tanks mit geringem Aufwand verlustarm gelagert und transportiert werden. Aus diesem wird Trockeneis dann in der Regel regional und auch von kleineren Unternehmen produziert, um Transportdauer und damit Verluste durch Sublimation gering zu halten.

### 5.1.1 Beschreibung der Herstellung

In Anlagen zur Trockeneisproduktion wird das flüssige  $\text{CO}_2$  zunächst auf Atmosphärendruck entspannt, wodurch  $\text{CO}_2$ -Schnee entsteht. Dieser kann dann zu einer beliebigen Form verdichtet werden, üblich sind beispielsweise Blöcke, Scheiben, Nuggets oder Pellets.

Bei der Trockeneisherstellung beträgt die Umwandlungsrate von  $\text{CO}_2$  in Trockeneis prozessbedingt nur ca. 40 bis 45 %, somit entweicht ein

erheblicher Teil als gasförmiges CO<sub>2</sub> in den Arbeitsbereich. Mit Rückgewinnungsanlagen kann dieser Anteil deutlich reduziert werden.

Soll das hergestellte Trockeneis zum Kühlen von Transportgütern verwendet werden, wird es anschließend entweder unverpackt in einen Transportbehälter gegeben oder portioniert in luftdurchlässigen Beuteln (Cryobags) verpackt.

Neben der Produktion für Kühlzwecke wird Trockeneis von einigen Anwenderinnen und Anwendern auch direkt am Ort der Verwendung hergestellt. Verbreitet ist dies zum Beispiel beim Trockeneisstrahlen zu Reinigungszwecken.

### 5.1.2 Spezifische Gefährdungen

Bei der Produktion von Trockeneis entsteht aufgrund physikalischer Vorgänge zwangsläufig eine beträchtliche Menge an gasförmigem CO<sub>2</sub>.

Über eine Rückgewinnung kann dieses zum größten Teil wieder dem Produktionsprozess zugeführt werden. In jedem Fall müssen wirksame Absaugungen oder ausreichende Frischluftzufuhr gewährleistet werden, damit sich im Arbeitsbereich keine gefährlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bilden können.

Es muss gewährleistet sein, dass sich kein CO<sub>2</sub> in angrenzenden (tieferliegenden) Bereichen sammeln kann.

Da beim Trockeneis und dessen Produktionsprozess Temperaturen von ca. –80 °C auftreten, ist vor Kälte schützende Schutzkleidung (insbesondere Handschuhe) zu tragen. Ebenso sollte in Bereichen, in denen offen mit Trockeneis umgegangen wird, auch immer eine Schutzbrille getragen werden.

Entsprechend der TRGS 407<sup>12</sup> sind die allgemeinen Gefährdungen durch Tätigkeiten mit Gasen zu berücksichtigen, welche sich unter anderem ergeben aus

- dem Druck in den Behältern und Anlagen,
- betriebsbedingten Freisetzungen,
- unbeabsichtigten Freisetzungen, z. B. durch unbeabsichtigtes Öffnen unter Druck stehender Anlageteile,
- Undichtigkeiten oder störungsbedingten Freisetzungen und
- der erstickenden Wirkung.

### 5.1.3 Spezifische Schutzmaßnahmen

Für Arbeiten mit verflüssigtem CO<sub>2</sub> gelten auch die Vorgaben und Vorsichtsmaßnahmen für das Arbeiten mit Gasen unter Druck, wie sie z. B. in der TRGS 407 beschrieben werden.

Da im Bereich der Trockeneisherstellung verfahrensbedingt mit erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Luft zu rechnen ist, muss im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung insbesondere geprüft werden, ob die Atmosphäre in den Produktionsbereichen durch eine stationäre Gaswarnanlage ständig zu überwachen ist.

Bei der mobilen Trockeneisherstellung wird empfohlen, ein personengetragenes Messgerät zur Überwachung der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu nutzen, den Gefahrenbereich zu kennzeichnen und ihn für Unbefugte abzusperren.

---

<sup>12</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 6

## 5.2 Lagerung und Konfektionierung von Trockeneis

### 5.2.1 Beschreibung von Lagerung und Konfektionierung

Das Trockeneis wird von den Herstellern meist in geeigneten Vorratsbehältern geliefert. Bei Lieferung von losem Trockeneis wird dieses in der Regel in vorhandene Vorratsbehälter umgelagert.

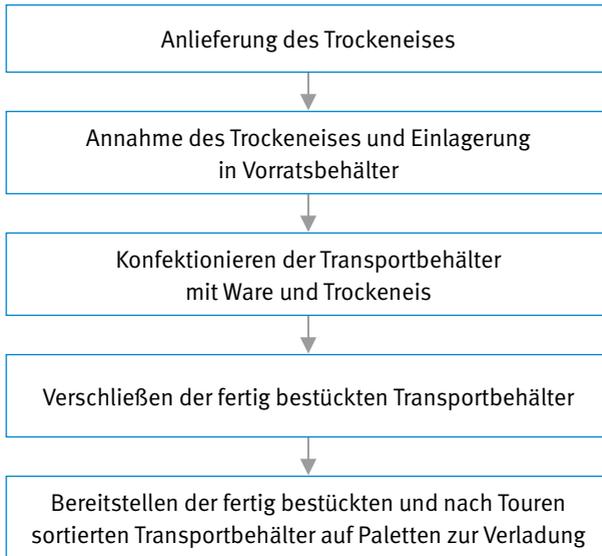
Die Lagerung dieser Vorratsbehälter hat in ausreichend belüfteten Räumen zu erfolgen.

Erfolgt die Lagerung in speziellen Kühlräumen, ist vor dem Betreten sicherzustellen, dass keine gefährlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen vorliegen. Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind entsprechende Schutzmaßnahmen abzuleiten, wie z. B. das Anbringen einer Gaswarnanlage (siehe Kapitel 7) oder das Sicherstellen einer ausreichenden Lüftung.

Trockeneis wird in Gebäuden/Lagerbereichen gelagert/bereitgestellt und bei der Konfektionierung von Lebensmittelversandpackungen zur Kühlung verwendet.

Hierbei kann sich freiwerdendes CO<sub>2</sub> verteilen, insbesondere in tiefergelegenen Bereichen ansammeln und zur Gefahr für die Beschäftigten werden.

Das Trockeneis nimmt bei der Zusammenstellung von Versandpackungen (Lebensmittel) in der Regel folgenden Weg:



**Abb. 3** Schematischer Ablauf beim Einsatz von Trockeneis zur Kühlung von Warensendungen

### 5.2.2 Spezifische Gefährdungen

Im Inneren der Vorratsbehälter ist mit lebensbedrohlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu rechnen. Daher ist ein Hineinbeugen in die Vorratsbehälter unbedingt zu unterlassen.

Zurückgehende Verpackungsboxen (oder Transporteinheiten) können Reste von Trockeneis enthalten.

### 5.2.3 Spezifische Schutzmaßnahmen

Eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Umgebung kann durch die zügige Entnahme des Trockeneises und konsequentes Schließen des Deckels des Vorratsbehälters erreicht werden.

Es ist immer darauf zu achten, dass die Bereiche, in denen das Trockeneis gelagert/bereitgestellt wird, über eine ausreichende Belüftung verfügen, die auch in Bodennähe wirksam ist.

Transportbehälter und Vorratsbehälter mit Trockeneis dürfen nicht in tiefer liegenden Bereichen oder unter Erdgleiche bereitgestellt/gelagert werden.

Tiefkühlsendungen, die mit Trockeneis gekühlt werden, sind nur in den dafür vorgesehenen Transportbehältern zu transportieren. Diese Transportbehälter dürfen nicht gasdicht sein, damit entstehendes CO<sub>2</sub> entweichen kann und ein Druckanstieg im Inneren verhindert wird.

Die Transportbehälter müssen wie folgt eine Kennzeichnung gemäß ADR haben:

#### **KOHLENDIOXID, FEST (Trockeneis) ALS KÜHLMITTEL**

Zusätzlich soll eine Kennzeichnung mit entsprechenden Sicherheitshinweisen für Tätigkeiten mit Trockeneis erfolgen.

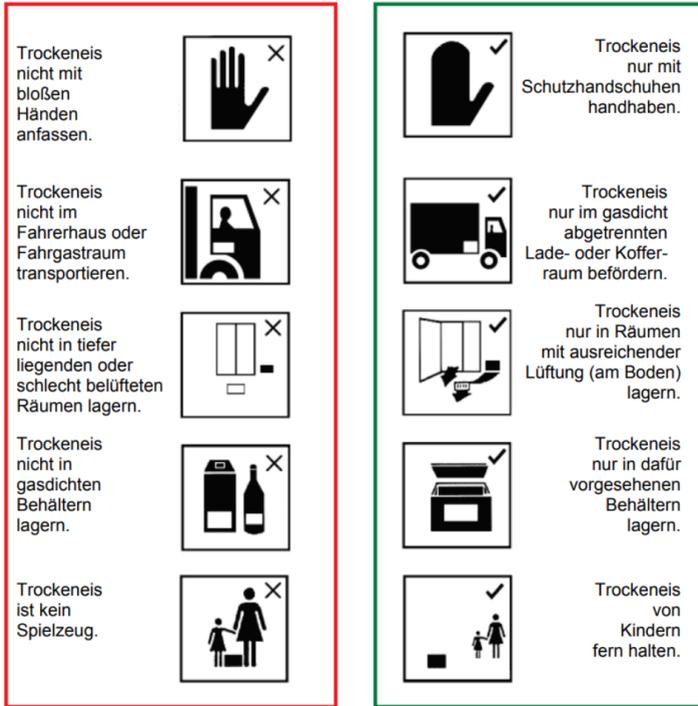


Abb. 4 Beispiel für Aufkleber mit Sicherheitshinweisen<sup>13</sup>

Rückgeführtes Trockeneis wird im Freien, an dafür vorgesehenen Stellen so entsorgt, dass es für Unbefugte unzugänglich ist und ohne Gefahr verdampfen kann (Achtung! Keine Treppenabgänge, keine tiefer liegenden Bereiche/ Abläufe, nicht in der Nähe von Lichtschächten).

<sup>13</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 15

Bei Hautkontakt mit festem Trockeneis kann es zu Kälteschäden („Kälteverbrennungen“) kommen. Bei Tätigkeiten mit Trockeneis sind daher geeignete Schutzhandschuhe zu tragen (z. B. Schutzhandschuhe aus Leder oder Kälteschutzhandschuhe).

Falls die Trockeneis-Stücke zerkleinert werden müssen, ist eine Schutzbrille zu tragen. Beim Zertrümmern von Blöcken mit dem Hammer kann ein um das Trockeneis gelegtes Tuch den Splitterflug unterbinden.

Die Verwendung von Trockeneispaketen (Cryobags) zur Kühlung ist zu bevorzugen.

## **5.3 Einsatz von Trockeneis beim Transport**

### **5.3.1 Allgemeines zum Transport**

Werden Fahrzeuge zum Transport von Versandstücken eingesetzt, die Trockeneis zu Kühl- oder Konditionierungszwecken beinhalten, muss dies bei der Auswahl der Fahrzeuge berücksichtigt werden.

Tiefkühlsendungen können auch durch den Einsatz anderer Kälte-träger gekühlt werden, z. B. Eis, Kältespeicherplatten oder durch maschinelle Kühlung.

Vom verwendeten Trockeneis entweicht stetig gasförmiges CO<sub>2</sub>. Da dieses eine erstickende Wirkung entfalten kann, werden an die Fahrzeuge bauliche Anforderungen gestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass zwischen Fahrerhaus und Laderaum kein Luftaustausch stattfindet, damit im Fahrerhaus keine gefährliche CO<sub>2</sub>-Konzentration entstehen kann.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, ob zum Be- und/oder Entladen der Sendungen der Laderaum begangen werden muss.

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Fahrzeug ist u. a. abhängig von

- der Isolierung der Verpackung,
- dem freien Laderaumvolumen,
- der Anzahl und Größe der Transportbehälter im Laderaum,
- der Transportdauer,
- der Temperatur im Laderaum,
- der Dichtigkeit der Fahrzeugkonstruktion und
- einer eventuell vorhandenen Zwangsbe- und -entlüftung.

Beispiele für die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Transportbehältern unter wdefinierten Bedingungen sind in der Literatur beschrieben<sup>14</sup> und können bei der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden.

Für den Einsatz von Trockeneis beim Transport sind geeignete Behältnisse (kälteisolierend, druckausgleichend) zu verwenden. Die Verweilzeit von Trockeneis im Fahrzeug ist durch kurze Transportzeiten und -wege zu minimieren.

Fahrzeuge und Transportverpackungen sind entsprechend den gültigen Rechtsvorschriften zu kennzeichnen. Es sind ausschließlich unbeschädigte Transportbehälter und -verpackungen zu verwenden.

Für den Transport von Trockeneis geeignet sind Fahrzeuge, bei denen eine Trennung von Fahrerhaus und Laderaum besteht. Dies ist z. B. nicht der Fall bei vielen PKWs (auch Kombi- und Kastenfahrzeugen, SUV) und Kleintransportern.

---

<sup>14</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 16 und Nr. 18

**Beispiel für geeignete Fahrzeuge:**

Fahrzeuge, bei denen Fahrerhaus und Laderaum getrennt sind und die zum Be- und/oder Entladen konstruktionsbedingt nicht begangen werden (dies bedeutet, dass das Ladegut von außen erreichbar ist), z. B. Transporter.



Abb. 5 Fahrzeuge, bei denen Fahrerhaus und Laderaum getrennt sind und die zum Be- und/oder Entladen nicht begangen werden.

Sind Fahrerhaus und Laderaum getrennt und wird der Laderaum von außen begangen, sind weitere Schutzmaßnahmen, wie z. B. besondere Lüftungsmaßnahmen, zu beachten. Es ist sicherzustellen, dass der Arbeitsplatzgrenzwert eingehalten wird (siehe auch Kapitel 4.2.1 Gefahrstoffrecht).



Abb. 6 Fahrzeug, bei dem Fahrerhaus und Laderaum getrennt sind und bei dem der Laderaum von außen begangen wird.

Es sind unbedingt folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Trockeneis darf nicht im Fahrerhaus transportiert werden.
- Behälter und Ladegut mit Trockeneis erst unmittelbar vor Fahrtantritt in das Fahrzeug laden.
- Die Ladung ist ordnungsgemäß zu sichern.
- Während der Fahrt ist die Lüftung im Fahrerhaus einzuschalten und auf Außenluftzufuhr zu stellen.
- Die Verweilzeit von Trockeneis im Fahrzeug ist durch kurze Transportzeiten und -wege zu minimieren.
- Der Laderaum ist vor Entnahme des Ladeguts ausreichend zu belüften.
- Entsprechend ADR müssen nicht gut belüftete Fahrzeuge gekennzeichnet werden (siehe Kapitel 4.2.2 Gefahrgutrecht).



Abb. 7  
Warnkennzeichen für nicht gut belüftete Fahrzeuge beim Transport von Trockeneis als Kühlmittel

**Beispiel für nicht geeignete Fahrzeuge:**

Fahrzeuge, bei denen zwischen Fahrerhaus und Laderaum/Kofferraum eine offene Verbindung besteht, z. B. PKW, Kleintransporter mit Durchgang zum Fahrerhaus.



**Abb.8**

Fahrzeug bei dem Fahrerhaus und Laderaum nicht getrennt sind (Für Sonderfälle siehe Kapitel 5.3.4).

**Transportbehälter**

Transportbehälter müssen so beschaffen sein, dass freiwerdendes CO<sub>2</sub> ständig entweichen kann, damit kein Überdruck entsteht.

Sie müssen ausreichend isoliert sein. Dadurch wird eine geringere Wärmeleitung erreicht, was die Bildung von gasförmigem CO<sub>2</sub> verringert, und ein starkes Abkühlen der Außenflächen vermieden.

Es sind ausschließlich unbeschädigte Transportbehälter zu verwenden und die Transportbehälter sind gemäß ADR wie folgt zu kennzeichnen:

### KOHLENDIOXID, FEST (Trockeneis) ALS KÜHLMITTEL

Zusätzlich hat eine Kennzeichnung mit entsprechenden Sicherheitshinweisen für Tätigkeiten mit Trockeneis zu erfolgen.

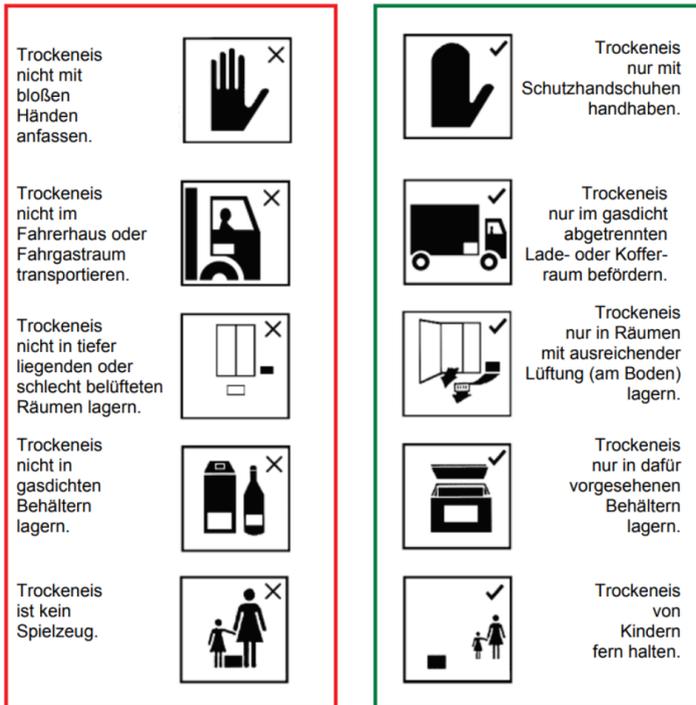


Abb. 9 Beispiel für Aufkleber mit Sicherheitshinweisen<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 15

### **Handhabung**

Ladegut, das mit Trockeneis gekühlt wird, darf nur in geeigneten Behältern transportiert werden.

Restmengen von Trockeneis sollen nicht beim Kunden verbleiben.

Retour-Behälter, inkl. des restlichen Trockeneises, sind **wieder zu verschließen**. Restmengen von Trockeneis sind unmittelbar nach Ende der Fahrt aus den Fahrzeugen zu entfernen.

Rückgeführtes Trockeneis wird im Freien, an dafür vorgesehenen Stellen so entsorgt, dass es ohne Gefahr verdampfen kann (Achtung! Keine Treppengänge, keine tiefer liegenden Bereiche/Abläufe, nicht in der Nähe von Lichtschächten) und für Unbefugte unzugänglich ist.

### **5.3.2 Zustellung durch Post- oder Kurierdienste**

Bei der Zustellung durch Post- und Kurierdienste werden die Depots täglich mit fertig konfektionierten Tiefkühlsendungen beliefert. Die Transportbehälter werden aus den Fahrzeugen entladen und innerhalb der Betriebshalle von Hand sortiert. Hierbei werden die Transportbehälter nicht geöffnet, sondern am Abstellplatz für die Zustellung an den Endkunden bereitgestellt.

Orientierende Messungen in Depots haben keinen Hinweis auf spezifische Gefährdungen ergeben. Hinweise zur Lagerung und Konfektionierung von Sendungen mit Trockeneis sind dem Kapitel 5.2 zu entnehmen.

Die bereitgestellten Transportbehälter werden anschließend in die Fahrzeuge verladen und zugestellt. Der Transportbehälter wird geöffnet, die Tiefkühlsendung übergeben und der Transportbehälter samt restlichem Trockeneis wieder verschlossen und zum Depot zurückgebracht.

### 5.3.2.1 *Spezifische Gefährdungen*

Die Anzahl der Sendungen mit Trockeneis variiert und stellt nur einen Teil der Ladung dar.

Erst nach Abschluss der Beladung des Fahrzeugs ist die Anzahl der gekennzeichneten Sendungen bekannt. Hinzu können andere Sendungen kommen, die das verfügbare Luftvolumen im Laderaum verringern. Dadurch wird der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration verstärkt.

Messungen haben bestätigt, dass die CO<sub>2</sub>-Freisetzung in Abhängigkeit von der Anzahl an Versandstücken mit Trockeneis ansteigt. Entscheidend ist in der Praxis nicht die Masse des transportierten Trockeneises, sondern Anzahl, Größe und Isoliereigenschaften der Versandstücke. Daher ist die Anzahl zulässiger Versandstücke mit Trockeneis je Fahrzeug in der Gefährdungsbeurteilung festzulegen.

### 5.3.2.2 *Spezifische Schutzmaßnahmen*

Die Verweilzeit von Trockeneis im Fahrzeug ist durch kurze Transportzeiten und -wege zu minimieren.

#### **Fahrzeuge**

Mit Trockeneis beladene Transportbehälter dürfen unter keinen Umständen im Fahrerhaus transportiert werden.

Werden Ladeabteile zur Entladung betreten, müssen diese zuvor ausreichend belüftet werden. Diese Belüftung muss sicherstellen, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration auf einen ungefährlichen Wert verringert wird.

#### ***Handelsübliche PKW***

Handelsübliche PKW können in der Regel das Eindringen von CO<sub>2</sub> aus dem Lade-/Kofferraum in den Fahrgastraum nicht verhindern. Deshalb sind diese nicht für den Transport von Transportbehältern mit Trockeneis geeignet.

### ***Transporter/Lastkraftwagen (LKW)***

Transporter oder LKW, bei denen eine Trennung von Ladeabteil und Fahrerhaus verhindert, dass sich im Fahrerhaus eine gesundheitsgefährdende CO<sub>2</sub>-Konzentration bildet (z. B. separater Kofferaufbau), dürfen für den Transport von Transportbehältern mit Trockeneis als Kühlmittel verwendet werden.

### ***Spezielle Paketzustellfahrzeuge***

Spezielle Paketzustellfahrzeuge, die mit einer Trennwand zwischen Ladeabteil und Fahrerhaus ausgestattet sind, wobei die Trennwand über einen Zugang vom Fahrerhaus zum Ladeabteil verfügt, dürfen nicht ohne zusätzliche Maßnahmen für den Transport von Transportbehältern mit Trockeneis als Kühlmittel verwendet werden.

Eine zusätzliche Maßnahme ist z. B. eine aktive Lüftung des Ladeabteils.

## **5.3.3 Auslieferung von Tiefkühlwaren**

Bei Lebensmitteln wird Trockeneis hauptsächlich verwendet, um die für den Verkauf bereitgestellte Tiefkühlware im gefrorenen Zustand zu lagern und zu transportieren.

In vielen Bereichen der Lebensmittelverarbeitung und des Handels werden kleinere Mengen an Lebensmittelprodukten (Backwaren, spezielle Fleischwaren, Catering und Bordverpflegung, Speiseeis, Tiefkühlpizzen u. a.) für den Transport bereitgestellt und hierbei verschiedene Bereitstellungsformen von Trockeneis verwendet, wie Trockeneispellets oder auch lebensmittelgeeignete, mit Trockeneis gefüllte Tiefkühlbeutel. Die Tiefkühlware wird in Transportbehältern kommissioniert, anschließend durch die Beschäftigten in die zur Verfügung stehenden Transportfahrzeuge verladen und an die Filialen und Kunden und Kundinnen ausgeliefert.

### 5.3.3.1 *Spezifische Gefährdungen*

Die Anzahl der Sendungen mit Trockeneis ist im Vorfeld meist unbekannt. Erst mit Abschluss der Kommissionierung der Waren und Beladung des Fahrzeugs ist die Anzahl der Isolierbehälter mit Trockeneis bekannt.

Nach dem Ausliefern der Waren verbleiben die Restmengen an Trockeneis in der jeweiligen Filiale und werden dort bis zur nächsten Lieferung in den jeweiligen Räumlichkeiten zwischengelagert.

### 5.3.3.2 *Spezifische Schutzmaßnahmen*

Es ist sicherzustellen, dass die Beschäftigten beim Entladen der Ware keiner gefährlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration ausgesetzt sind, d. h. der Laderaum ist gut zu belüften, um gesundheitsschädliche Kohlendioxidkonzentrationen zu vermeiden.

Eine Betriebsanweisung mit Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln für Lagerung, Entsorgung, Handhabung und Verhalten im Gefahrenfall ist zu erstellen. Alle Beschäftigten sind hierüber zu unterweisen.

Reste von Trockeneis werden an dafür vorgesehenen Stellen so entsorgt, dass es für Unbefugte unzugänglich ist und ohne Gefahr verdampfen kann (Achtung! Keine Treppenabgänge, keine tiefer liegenden Bereiche/Abläufe, nicht in der Nähe von Lichtschächten).

### 5.3.4 Sonderfall: Transport geringer Mengen Trockeneis in kleinen und gut isolierten Behältern

Der Transport geringer Mengen Trockeneis, beispielsweise zur Kühlung von medizinischen Proben, kann unter bestimmten Bedingungen einen Sonderfall darstellen, bei dem auch ein Fahrzeug ohne Trennung von Fahrerhaus und Laderaum verwendet werden darf. Dieser Sonderfall leitet sich aus einem speziellen Versuch<sup>16</sup> ab, bei dem die CO<sub>2</sub>-Emission aus einer spezifischen Transportbox näherungsweise mit der CO<sub>2</sub>-Emission eines Menschen übereinstimmte. Entsprechende Situationen können insbesondere bei Laborkurierdiensten vorliegen.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, um den in dieser DGUV Information geschilderten Sonderfall anwenden zu dürfen:

- Es stehen weder ein Fahrzeug mit Trennung von Fahrerhaus und Laderaum noch eine alternative Kühlmethode zur Verfügung,
- es wird eine für Trockeneis geeignete, unbeschädigte und ordnungsgemäß verschlossene Transportbox aus Polystyrol (EPS) oder Polyurethan-Hartschaum (PU) mit einer Wandstärke von jeweils mindestens 3 cm und einem Innenvolumen von höchstens 18,5 Litern verwendet,
- die Außenmaße der Transportbox betragen höchstens 50 × 30 × 25 cm oder ihre Gesamtoberfläche beträgt höchstens 0,7 m<sup>2</sup>,
- es werden insgesamt höchstens 5 kg Trockeneis transportiert,
- es werden höchstens zwei Transportboxen befördert und es wird eine entsprechende Anzahl an Sitzplätzen freigehalten.

---

<sup>16</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 16

Folgende Vorsichtsmaßnahmen müssen eingehalten werden:

- Geöffnetes Fenster oder Belüftung mit Außenluftzufuhr und mindestens 50 % Belüftungsstärke während der gesamten Fahrt.
- Das Trockeneis darf sich ausschließlich für die Dauer der Fahrt im Fahrzeug befinden.
- Die Transportbox darf sich ausschließlich im Kofferraum befinden und ist ordnungsgemäß zu sichern (insbesondere gegen Umkippen).
- Bei Fahrzeugen mit Klimaautomatik, die automatisch auf Umluftbetrieb schalten, z. B. um das Beschlagen der Scheiben zu verhindern, muss die Klimaautomatik deaktiviert werden.
- Bei längerem Halt, z. B. im Stau, muss die Lüftung mit Außenluftzufuhr weiterbetrieben werden. Alternativ sind die Fenster frühzeitig zu öffnen.
- Nach längeren Fahrtunterbrechungen ist vor der Weiterfahrt der Fahrgastraum zu lüften.

Bei Einhaltung der oben genannten Bedingungen haben Messungen gezeigt, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration während der gesamten Fahrt deutlich unterhalb des AGW bleibt und daher nicht von einer Gefährdung auszugehen ist.

## 5.4 Kühlen von Waren während der Herstellung und Bereitstellung

Trockeneis wird in der Lebensmittelverarbeitung als Schüttware während der Herstellungsprozesse verwendet, um durch vereinfachte Temperaturführung sowohl die gewünschte Konsistenz der Rohware zu erreichen, als auch eine ununterbrochene Kühlkette zu gewährleisten (u. a. Bäckereien und fleischverarbeitende Industrie).

In Großbäckereien werden vereinzelt Teigchargen im Knetter mit Kohlendioxid gekühlt. Ziel der Teigkühlung mittels  $\text{CO}_2$  ist die exakte Temperaturführung der Teige, unabhängig von der Außentemperatur. Dabei werden die Trockeneispellets manuell in den Knetter gegeben oder über ein Schneerohr direkt dem Knetter zugeführt und im Teig gebunden.

Auch in der fleischverarbeitenden Industrie kommt es vor, dass eine gewünschte Temperaturführung der Rohware durch Zugabe von  $\text{CO}_2$  als Trockeneisschnee erfolgt. In den Sommermonaten wird die Rohware teilweise während des innerbetrieblichen Transportes mit Trockeneis gekühlt. Zum Teil wird Trockeneis auch als Hilfsmittel verwendet, um die Schlachtwaren in kürzester Zeit auf die erforderliche Temperatur herunterzukühlen oder die vom Auftraggebenden geforderte Temperatur zu erreichen, wenn diese nicht mit den herkömmlichen Kühlmitteln gewährleistet werden kann.

### 5.4.1 Spezifische Gefährdungen

Siehe 5.2.2

### 5.4.2 Spezifische Schutzmaßnahmen

Siehe 5.2.3

## 5.5 Reinigen

Zum Reinigen von Werkstücken werden winzige Trockeneispellets mittels Druckluft nahezu auf Schallgeschwindigkeit beschleunigt und auf das zu reinigende Werkstück geschossen. Die reinigende Wirkung beruht nicht auf Abrasion, sondern auf starker lokaler Abkühlung und damit Versprödung der Schmutzschicht. Nachfolgende Strahlmittelpartikel dringen in Mikrorisse ein und führen durch die bei der Sublimation auftretende Volumenerhöhung zur Absprengung der Oberflächenverschmutzung. Die Schmutzpartikel werden mit dem Druckluftstrahl fortgetragen.

Reinigungsverfahren mit Trockeneis sind in vielen Branchen übliche Praxis:

- Trockeneisstrahlen wird zur Oberflächenreinigung oder dem Abtrag von Rost oder Beschichtungen eingesetzt, zum Beispiel in der Fahrzeuginstandhaltung (Straßen- und Schienenfahrzeuge) oder bei der Restaurierung von Oldtimern und Motorrädern. Fahrzeugaufbereiter reinigen die Sitzpolster sowie Fahrzeuginnenräume auch mit Trockeneis- oder Schneestrahlern.
- In der Metallindustrie werden dünne Korrosionsschutzschichten (Öl, Fette, Wachs, Bitumen) von Metalloberflächen entfernt oder Schmutz, Beschichtungen und Rost abgetragen.
- Formen für Gussverfahren werden mit Trockeneisstrahlverfahren gesäubert (Metall- oder Kunststoffspritz- oder -druckguss, Modeln für die Warmumformung, Pressenformen etc.).
- In der Lebensmittelindustrie dient das Trockeneisstrahlen zur schonenden Entfernung von Verunreinigungen von Oberflächen, ohne Reinigungsmittelrückstände zu hinterlassen.
- Die Denkmalpflege nutzt das Verfahren ebenso wie die Gebäudereiniger zum Entfernen von Graffiti oder Bewuchsspuren.
- Holzoberflächen werden von Beschichtungen oder Verwitterungsrückständen befreit.
- Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Elektroindustrie, die sich die nichtleitenden Eigenschaften von CO<sub>2</sub> zunutze macht.

Neben Maßnahmen gegen die genannten Gefährdungen durch Ersticken und Erfrierungen sind bei Reinigungsarbeiten mit Trockeneis insbesondere Schutzmaßnahmen gegen Lärm sowie gegen abplatzende Partikel/abgetragene Gefahrstoffe und die direkte Einwirkung des Trockeneisstrahls zu treffen.

Bei Reinigungsarbeiten sind zusätzlich auch Umweltschutzmaßnahmen zu ergreifen, wenn umweltgefährdende Substanzen freigesetzt werden können.

Spezifische Informationen zum Trockeneisstrahlen bietet das VDMA-Einheitsblatt 24389.

## 5.6 Nebелеffekte

Eine Methode zur Nebelerzeugung auf Bühnen und Szeneflächen ist die Verwendung von Trockeneis.<sup>17</sup> Der zu beobachtende Nebel besteht aus kondensiertem Wasser aus der Umgebungsluft. Hierbei ist die Nebelmenge auf das notwendige Maß zu beschränken und mit allen Beteiligten abzustimmen. Es sind geeignete Maßnahmen zu treffen, um die Vernebelung der Bereiche, in denen dies szenisch nicht erforderlich ist, möglichst gering zu halten. Die bei der Gefährdungsbeurteilung für alle Arten der Nebelerzeugung zu bewertenden Gefährdungen sind:

- Erstickungsgefahr
- Sichtbeeinträchtigung
- Reaktion der Atemwege

Auch in manchen Restaurants oder Eiscafés bilden die entweichenden Nebelschwaden einen Zusatzeffekt des Menüs, indem Trockeneisscheiben oder -nuggets vor dem Servieren in warmes Wasser gegeben und unter oder neben dem eigentlichen Essen platziert werden.

---

<sup>17</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 14

Wenn keine ausreichende Verdünnung der Kohlendioxid-Konzentration gegeben ist, besteht Erstickungsgefahr. Zum Schutz muss unbedingt verhindert werden, dass sich das Kohlendioxid in Vertiefungen und tief gelegenen Räumen ansammelt. Dazu ist das Kohlendioxid aus Vertiefungen (z. B. aus dem Orchestergraben) abzusaugen und ins Freie zu leiten.

Weitere Informationen zur Verwendung von Trockeneis für Nebелеffekte können der DGUV Information 215-312<sup>18</sup> entnommen werden.

### 5.7 Naturwissenschaftliche Laboratorien

Tätigkeiten mit Trockeneis, gegebenenfalls auch mit tiefkalten verflüssigten Gasen, lassen sich teilweise durch den Einsatz von Laborkryostaten ersetzen.<sup>19</sup> Weitere Informationen zur Verwendung von Trockeneis in naturwissenschaftlichen Laboratorien können der DGUV Information 213-026<sup>20</sup> entnommen werden.

---

<sup>18</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 14

<sup>19</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 13

<sup>20</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 11

## 6 Erste Hilfe und Notfallmaßnahmen

Kohlendioxid ist schwerer als Luft und sammelt sich daher beim Freiwerden, z. B. durch technische Anwendungen oder auch bei ungewollter Freisetzung, in tiefer gelegenen Bereichen an. Das geruchlose Gas kann nicht wahrgenommen werden. Hochkonzentriertes Kohlendioxid führt bereits nach wenigen Atemzügen zur Bewusstlosigkeit.

In der Vergangenheit kam es bei Rettungsversuchen im Zusammenhang mit dem Auftreten von Kohlendioxid immer wieder zu tödlichen Unfällen. Dabei handelte es sich in erster Linie um Bergungsversuche von bewusstlosen Personen, die sich in Gruben, Silos oder tiefer gelegenen Räumlichkeiten befanden. Rettende, die sich ohne vorherige Schutzmaßnahmen zu den Opfern begaben, wurden selbst zu Opfern, nicht selten mit tödlichen Folgen. Deshalb sind unbedingt **Maßnahmen zum Selbstschutz zu beachten**.



### Achtung Lebensgefahr!

Bei Auffinden einer bewusstlosen Person Rettungsdienst verständigen. Bewusstlose Person erst bergen, wenn keine Lebensgefahr für die Rettenden besteht. Bergung nur unter umgebungsluftunabhängigem Atemschutz oder nach Lüftung und Freimessung möglich. Ansonsten muss auf den Rettungsdienst gewartet werden.

## **Erste Hilfe<sup>21</sup> bei Einwirkung auf**

### ***Atmungsorgane***

- Notruf tätigen und für ärztliche Behandlung sorgen.
- Verletzte Person unter Selbstschutz aus dem Gefahrenbereich an die frische Luft bringen.
- Bei Atemnot Sauerstoff inhalieren lassen.
- Bei Bewusstlosigkeit und vorhandener Atmung stabile Seitenlage.
- Bei Atemstillstand Mund-zu-Nase-Beatmung, falls nicht durchführbar Mund-zu-Mund-Beatmung. Atemwege freihalten.

### ***Augen***

- Nach Kontakt der Augen mit Trockeneis oder flüssigem CO<sub>2</sub>: Sofortige milde Spülung des betroffenen Auges mit Wasser von Normaltemperatur. Dabei Lider nicht spreizen.
- Kontaktlinsen zunächst belassen.
- Keine Wärmebehandlung.
- Steril abdecken.
- Anschließend möglichst sofortiger Transport zum Augenarzt bzw. zur Augenärztin oder zur Klinik.

### ***Haut***

- Nur kurzzeitiger Kontakt mit Trockeneis führt im Allgemeinen zu keiner Hautschädigung.
- Bei Unterkühlung/Erfrierung durch längeren Kontakt mit Trockeneis oder ausströmendem kaltem Gas aus Druckgasbehältern:
  - festgefrorene Kleidung zunächst belassen, feuchte Kleidung entfernen, die erfrorene Region sorgfältig in trockene Tücher locker einwickeln und den gesamten Körper der verletzten Person vor weiterer Auskühlung schützen.

---

<sup>21</sup> [gestis.dguv.de/data?name=001122](https://gestis.dguv.de/data?name=001122)

- Erfrorene Stellen keinesfalls reiben.
- Sofort Transport der verletzten Person ins Krankenhaus veranlassen!

### ***Verschlucken***

Dieser Aufnahmeweg ist unter gewerblichen Bedingungen unwahrscheinlich. Beim Verschlucken sind schwere, verbrennungsähnliche Erfrierungen im Mund und Rachenraum möglich. Arzt oder Ärztin hinzuziehen.



### **Empfehlungen**

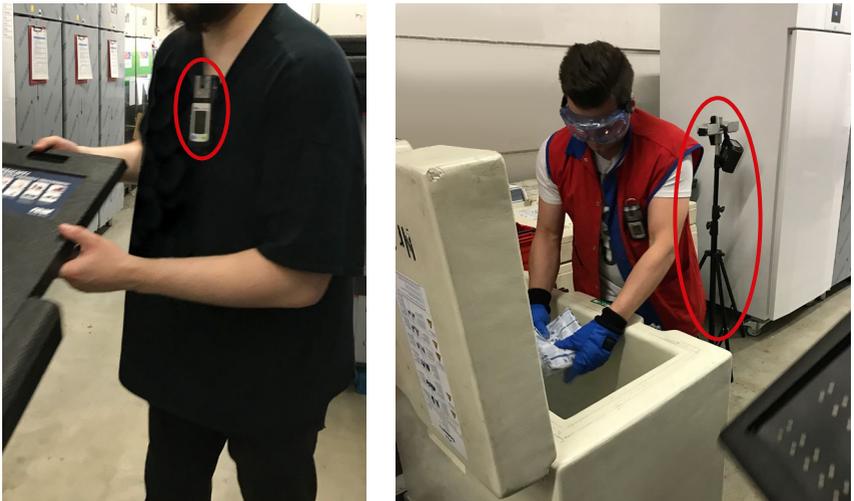
Art der Einwirkung und durchgeführte Maßnahmen dem Arzt oder der Ärztin angeben. **Massive Intoxikationen erfordern neben sofortigen Maßnahmen zum Erhalt der Vitalfunktion vor allem das möglichst schnelle Erreichen einer Notfallklinik.**

## 7 Messtechnik

Messtechnik wird für kurzzeitige Messungen in Prozessen oder zur Dauerüberwachung von Bereichen verwendet. Die Bestimmung der Kohlendioxidkonzentration kann sowohl an einer Person, als auch stationär erfolgen.

Die Überwachung der Kohlendioxidkonzentration wird in verschiedensten Arbeitsbereichen bei Herstellung, Lagerung, Transport und Verwendung von Kohlendioxid eingesetzt. So überwachen Messsysteme z. B. Reinigungsarbeiten mit Trockeneis, aber auch Lagerräume in Schankanlagen, Gärkellern bis hin zur Gebäudeautomation zur Steuerung der Lüftung.

Bei der Messung von CO<sub>2</sub> kommen verschiedene Technologien zum Einsatz. Die Infrarotmessung (IR) ist am weitesten verbreitet. Gegenüber anderen Sensoren sind Infrarotsensoren relativ stabil und selektiv gegenüber dem zu messenden Gas.



**Abb. 10** Beispiele für eine personenbezogene Messung (links) und eine stationäre Messung (rechts) zur Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Konzentration am Arbeitsplatz.

Bei Tätigkeiten mit Trockeneis ist die Bestimmung der Kohlendioxidkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz ein entscheidender Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung. Die Bestimmung der Kohlendioxidkonzentration kann mit einer Messung erfolgen, aber auch der Vergleich mit anderen Arbeitsplätzen oder eine Berechnung können zur Konzentrationsabschätzung herangezogen werden.

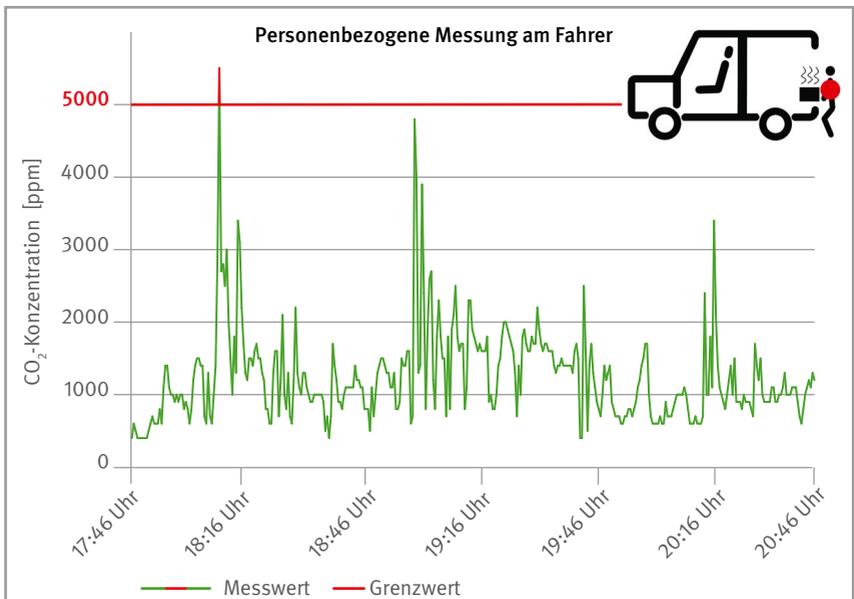


Abb. 11 Personenbezogene Messung

Das Diagramm zeigt den Kohlendioxidverlauf einer personenbezogenen Messung bei der Zustellung von trockeneisgekühlten Lebensmittelsendungen.

Das Messgerät war in Kopfnähe angebracht. Zu den Arbeitsabläufen gehören jeweils der Be- und Entladevorgang am Anfang und am Ende der

Zustellung sowie die Zustellung selbst. Bei der Zustellung erfolgt ein Wechsel von Fahranteilen und eine fußläufige Auslieferung der Sendungen. Bei der Auslieferung werden die Sendungen aus dem Laderaum entnommen, ohne diesen zu betreten. Das sich im Laderaum angesammelte Kohlendioxid wird bei der Entnahme eingeatmet.

Dadurch lassen sich einzelne Konzentrationsspitzen von Kohlendioxid ableiten.

Der Wechsel von Fahranteilen, Entnahmetätigkeit aus dem Laderaum und Zustellweg zu den Kundinnen und Kunden erklärt den sich stetig ändernden Kurvenverlauf. Der überwiegende Konzentrationsverlauf lag unter dem Arbeitsplatzgrenzwert. Eine personenbezogene Messung ist einer stationären Messung vorzuziehen, wenn die Belastung einer Person im Vordergrund steht.

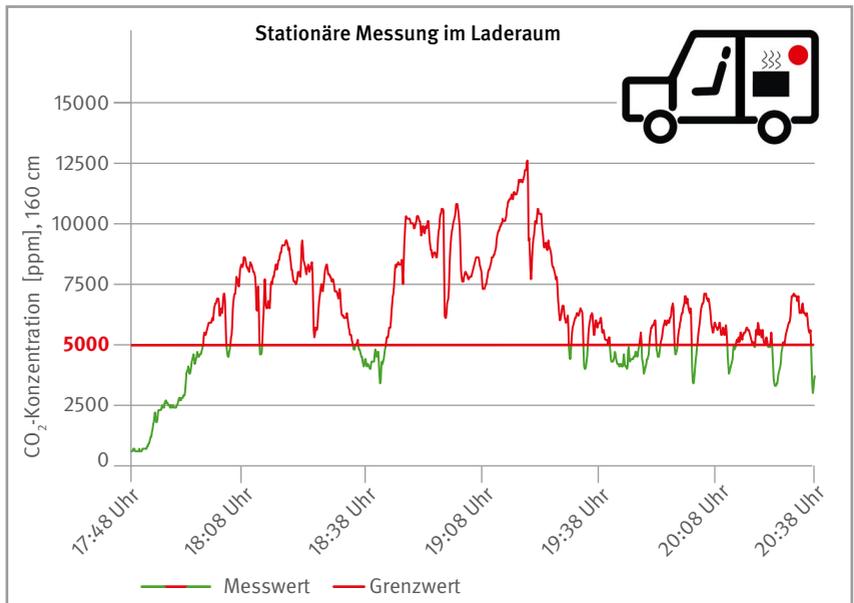


Abb. 12 Stationäre Messung

Der Diagrammverlauf zeigt eine stationäre Messung im Laderaum eines Zustellfahrzeugs, das mit trockeneisgekühlten Lebensmitteln beladen war. Der Kurvenverlauf unterliegt starken Schwankungen, da im Verlauf der Zustellung wiederholt Liefersendungen entnommen wurden. Bei der Entnahme von Liefersendungen erfolgte durch den geöffneten Laderaum ein Frischluftaustausch, der die Kohlendioxidkonzentration absenkte. Die Konzentration lag überwiegend über dem Arbeitsplatzgrenzwert. Stationäre Messungen sind dazu geeignet, Arbeitsbereiche zu überwachen und Alarmmeldungen zu erzeugen, wenn vorgegebene Warnschwellen erreicht werden.

Beim Betrieb von Kohlendioxidmessgeräten können Alarmschwellen eingestellt werden. Die Alarmschwellen sollen die Beschäftigten rechtzeitig vor Erreichen einer erhöhten Konzentration warnen.

Die Messgeräte müssen die Anforderungen nach DIN EN 45544 erfüllen. Wenn es für den konkreten Anwendungsfall keine genaueren Vorschriften gibt, werden Gaswarnanlagen empfohlen, die darüber hinaus die DIN 6653-2 erfüllen. Solche Gaswarnanlagen haben mindestens zwei Alarmschwellen. Vor- und Hauptalarm unterscheiden sich optisch und akustisch voneinander. Während eines Hauptalarms darf keine Person mehr ohne umgebungsluftunabhängigen Atemschutz den gefährdeten Bereich oder Raum betreten. Insbesondere deshalb müssen die Beschäftigten zwingend über die bei der Gasalarmierung zu treffenden Maßnahmen (z. B. Verlassen des gefährdeten Bereichs, Alarmierung der Feuerwehr, sonstige Alarmmaßnahmen) unterwiesen sein. In Aufstellungsräumen von Gasflaschen für Getränkechankanlagen wird bei bodennaher Messung beispielsweise der Voralarm bei einer CO<sub>2</sub>-Konzentration ab 1,5 Vol.-% ausgelöst, der Hauptalarm bei 3,0 Vol.-%.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Siehe ASI 6.80 [www.bgn-branchenwissen.de/daten/asi/a6\\_80/9.htm](http://www.bgn-branchenwissen.de/daten/asi/a6_80/9.htm)

Beim Einsatz von Kohlendioxidmessgeräten ist unter anderem zu beachten:<sup>23</sup>

- Auswahl des Messsystems (Infrarot oder chemischer Sensor)
- Gerätespezifikationen
- Einstellung der Alarmschwellen
- Positionierung des Kohlendioxidmessgerätes
- Funktionstest mit vorgegebener CO<sub>2</sub>-Konzentration, Kalibrierung
- Prüfintervalle, Prüffristen
- Netz- oder Batteriebetrieb

Wichtig beim Einsatz von fest installierten CO<sub>2</sub>-Messgeräten (Gaswarnanlage) ist es, mit den Beschäftigten in den betroffenen Bereichen das Verhalten beim Vor- und Hauptalarm zu üben. Mit einem Voralarm können frühzeitige Eingriffsmöglichkeiten vor Erreichen des Hauptalarms geschaffen werden. Ein Beispiel ist die Aktivierung einer Lüftung, die durch Verdünnung mit Luft den Konzentrationsanstieg begrenzt. Der Hauptalarm greift erst dann, wenn diese Maßnahmen keine ausreichende Wirkung zeigen. Der Hauptalarm muss in der Regel manuell deaktiviert werden (selbsthaltend), der Voralarm nicht.

Funktionsgeprüfte Gaswarngeräte können der entsprechenden Liste auf der Internetseite der BG RCI entnommen werden.<sup>24</sup>

---

<sup>23</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 8

<sup>24</sup> Liste funktionsgeprüfter Gaswarngeräte (BGRCI) [www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL\\_Praevention/Explosionsschutzportal/Dokumente/Liste\\_Gaswarnger%C3%A4te\\_20200930.pdf](http://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL_Praevention/Explosionsschutzportal/Dokumente/Liste_Gaswarnger%C3%A4te_20200930.pdf)

## 8 Lagerung von Kohlendioxid zur Trockeneisproduktion

Die Lagerung von unter Druck verflüssigtem Kohlendioxid<sup>25</sup> und Kohlendioxid, tiefgekühlt und verflüssigt<sup>26</sup> in Druckgasbehältern regelt die TRGS 510<sup>27</sup>.

Bei der Lagerung von Druckgasbehältern mit mehr als 50 kg oder mehr als einem Druckgasbehälter sind die Vorgaben des Abschnitts 5 (Zusätzliche Schutzmaßnahmen bei der Lagerung in Lagern) und des Abschnitts 10 (Lagerung von Gasen unter Druck) der TRGS 510 zu beachten.

Werden die Druckgasbehälter in Sicherheitsschränken der Feuerwiderstandsklasse G90 (DIN EN 144702) gelagert, gelten die Anforderungen des Abschnitts Organisatorische Maßnahmen und des Abschnitts Bauliche Anforderungen und Brandschutz der TRGS 510 als erfüllt.

Es müssen Maßnahmen ergriffen sein, dass nur befugte Personen Zugang zum Lager haben.



Abb. 13 Bild einer Druckgasflasche mit Kohlendioxid (UN 1013)

<sup>25</sup> Gefahrenhinweis „H 280“ – Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren

<sup>26</sup> Gefahrenhinweis „H 281“ – Enthält tiefgekühltes Gas; kann Kälteverletzungen oder -verletzungen verursachen

<sup>27</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 6b.

## 9 Weiterführende Informationen

Über Gefährdungen durch ausschließlich gasförmiges CO<sub>2</sub> informieren unter anderem folgende Schriften:

- [☞ DGUV Regel 103-003](#) „Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen“
- [☞ DGUV Regel 110-007](#) „Errichtung und Betrieb von Getränkeschankanlagen“
- [☞ DGUV Information 205-026](#) „Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Einsatz von Feuerlöschanlagen mit Löschgasen“
- [☞ DGUV Information 205-034](#) „Einsatz von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Feuerlöschern in Räumen“
- **Sicherheitskurzgespräch SKG 008** „Erstickungsgefahr durch Gase“
- **ASI 8.01** „CO<sub>2</sub> in der Getränkeindustrie“
- „Tödliche Falle Mostbehälter“ aus Akzente 10 (BGN)

Über sowohl in Bezug auf CO<sub>2</sub> als auch für weitere Gase geeignete Gaswarneinrichtungen und -geräte informiert ausführlich die folgende DGUV Information:

- [☞ DGUV Information 213-056](#) „Gaswarneinrichtungen und -geräte für toxische Gase/Dämpfe und Sauerstoff“

Außerdem werden für einzelne Themenbereiche zusätzlich folgende Informationsschriften empfohlen:

- **Gefährdungsbeurteilung:**
  - [☞ DGUV Information 213-080](#) „Arbeitsschutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“
- **Information der Beschäftigten:**
  - [☞ DGUV Information 213-051](#) „Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“
  - [☞ DGUV Information 213-079](#) „Tätigkeiten mit Gefahrstoffen – Informationen für Beschäftigte“

- **Gefahrgut:**
  - [☑ DGUV Information 208-050](#) „Notfallmanagement beim Umschlag und innerbetrieblichen Transport von Gefahrgütern und gefährlichen Stoffen“
  - [☑ DGUV Information 213-012](#) „Gefahrgutbeförderung in Pkw und in Kleintransportern“
  - [☑ DGUV Information 213-050](#) „Gefahrgutbeauftragte“
  - [☑ DGUV Information 213-052](#) „Beförderung gefährlicher Güter“
- **Arbeitsmedizinische Vorsorge:**
  - kurz & bündig-Schrift KB 011-1 „Arbeitsmedizinische Vorsorge nach ArbMedVV – Teil 1: Grundlagen und Hinweise zur Durchführung“
  - kurz & bündig-Schrift KB 011-2 „Arbeitsmedizinische Vorsorge nach ArbMedVV – Teil 2: Ermittlung der Vorsorgeanlässe“

# 10 Expositionsmessungen und Berechnungen als Grundlage für den in Kapitel 5.3.4 geschilderten Sonderfall

Zur Verifizierung des in Kapitel 5.3.4 dargestellten Sonderfalls wurden verschiedene Expositionsmessungen und Berechnungen<sup>28, 29</sup> durchgeführt.

Es sollte folgende Frage beantwortet werden: „Können Transportboxen mit Trockeneiskühlung unter bestimmten Voraussetzungen auch in handelsüblichen PKW transportiert werden, ohne dass es zu einer Gefährdung durch freigesetztes CO<sub>2</sub> kommt?“

Dazu wurde ein typischer Tagesablauf eines Kurierfahrers oder einer Kurierfahrerin mit den in Kapitel 5.3.4 genannten Schutzmaßnahmen nachgestellt und messtechnisch begleitet.

## Voraussetzungen

- Einstellung der Lüftung während der Fahrt auf eine Lüftungsstärke von mindestens 50 % der Anzeige-Skala und Außenluftzufuhr
- Verwendung geeigneter und ordnungsgemäß verschlossener Boxen aus Polystyrol (EPS) mit einer Wandstärke von mindestens 3 cm
- Außenmaße der Transportbox von höchstens 50 × 30 × 25 cm
- Eine Maximalmenge von 5 kg Trockeneis

## Simulation einer Laborkurierdienst-Fahrt

- Transport der Trockeneisbox leicht zugänglich im Kofferraum
- Öffnen von Autotür und Kofferraum in verschiedenen Intervallen (Park- und Fahrsituation)
- Mehrmaliges Öffnen der Trockeneisbox zur Hineingabe von Laborproben

---

<sup>28</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 19

<sup>29</sup> Siehe Literaturverzeichnis Nr. 20

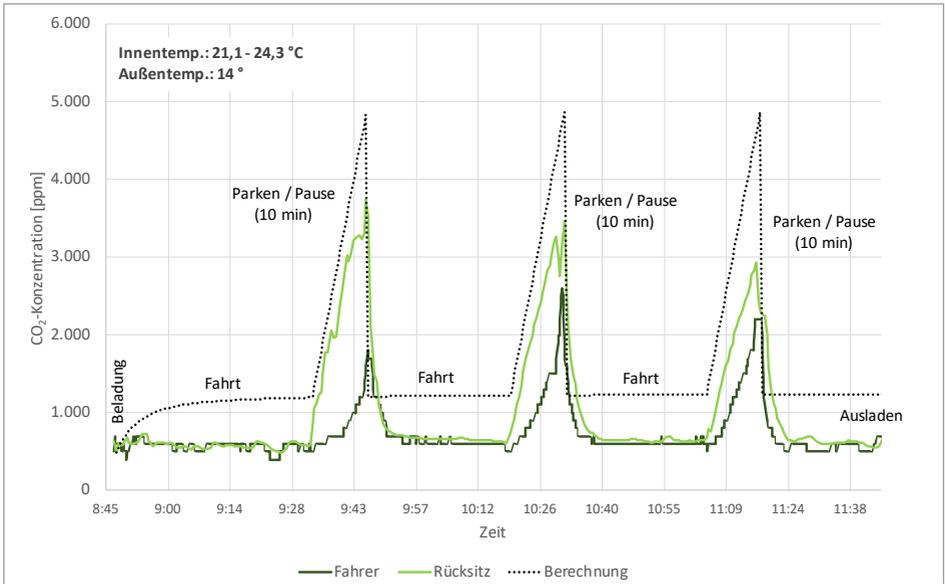


Abb. 14 Simulation der Hineingabe von Proben

Um die Exposition während der Fahrt abbilden zu können, wurde die Messung ortsfest mit einem direktanzeigenden Messgerät auf Kopfhöhe durchgeführt. Im Versuch zu Abbildung 15 wurde die Kohlendioxidkonzentration außerdem in Kopfhöhe auf der Rücksitzbank und im Versuch zu Abbildung 16 im Fußraum des Beifahrers aufgezeichnet.

Zur rechnerischen Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Exposition kann die Emissionsrate der Trockeneisbox durch ein online kostenfrei verfügbares Excel-Tool mit der Berechnung der Kohlendioxidkonzentration im Raum nach BIA-Report 3/2001 verknüpft werden.

In den nachfolgenden Abbildungen 15 und 16 sind Beispiele für den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration während des Transports von Trockeneis abgebildet.



**Abb. 15** Kohlendioxidmessung bei Transport von zwei Trockeneisboxen im Kofferraum und berechnete CO<sub>2</sub>-Konzentration<sup>29, 30</sup>

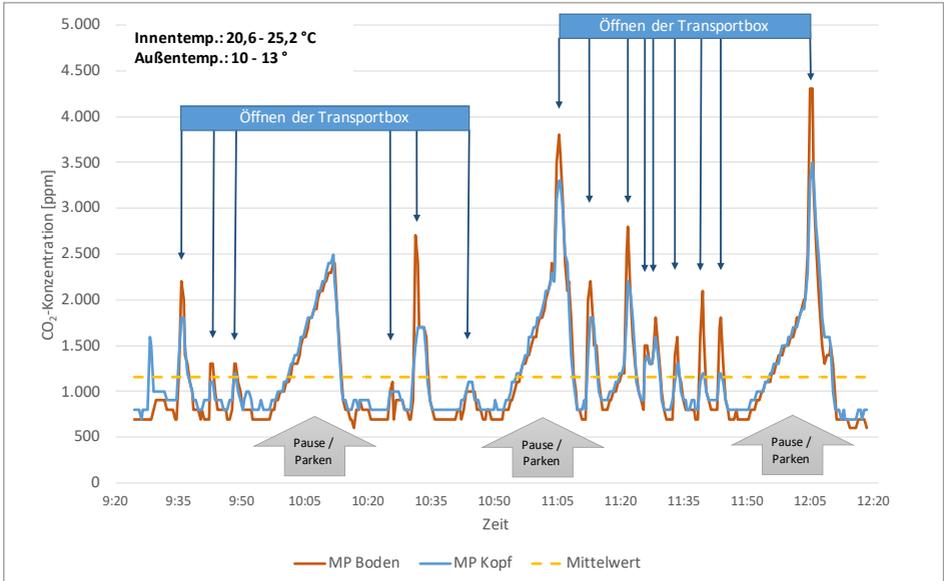
Für den Versuch zu Abbildung 16 wurde rechnerisch eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von etwa 1500 ppm abgeschätzt (nicht im Diagramm dargestellt), die gemessene mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration liegt mit 1200 ppm darunter.

Beide Abbildungen zeigen während der Fahrtpausen (keine Person im Fahrzeug) einen deutlichen linearen Anstieg der Kohlendioxidkonzentration bei fehlender Frischluftzufuhr oder ausgeschalteter Lüftung, der auf freiwerdendes CO<sub>2</sub> aus der Transportbox zurückzuführen ist.

Nach Einschalten der Lüftung ist jedoch ein sofortiger rascher Abfall der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf ein gleichbleibend niedriges Niveau zu beobachten.

<sup>30</sup> [www.pangas.ch/de/images/Berechnungsprogramm\\_Trockeneis\\_tcm553-114274.xls](http://www.pangas.ch/de/images/Berechnungsprogramm_Trockeneis_tcm553-114274.xls)

<sup>31</sup> BIA-Report 3/2001



**Abb. 16** Kohlendioxidmessung bei Transport einer Trockeneisbox im Kofferraum inklusive Ein- und Auslagerung von Proben

In Abbildung 15 wurde hierfür eine Luftwechselzahl von 21 und in Abbildung 16 eine Luftwechselzahl von rund 40 bestimmt. Der Konzentrationsverlauf von CO<sub>2</sub> zeigt, dass während der Fahrt nahezu konstante Bedingungen herrschen, so dass sich ein Gleichgewicht zwischen Kohlendioxid-Emission (Sublimation des Trockeneises) und CO<sub>2</sub>-Abtransport einstellt.

#### Fazit:

Die Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen während des Transportes von max. zwei kleinen Trockeneisboxen im Kofferraum ergaben, dass keine inhalative Gefährdung durch entweichendes Kohlendioxid im Fahrzeuginnern unter den geschilderten Rahmenbedingungen entsteht. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration bleibt während der gesamten Fahrt unterhalb des AGW, daher ist nicht von einer Gefährdung auszugehen. Hierfür spielt die ausreichende Frischluftzufuhr eine entscheidende Rolle.

Durch die Versuche konnte außerdem gezeigt werden, dass die rechnerisch ermittelten Werte oberhalb der tatsächlich bestimmten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Fahrerraum liegen.

# 11 Literatur und Quellenverzeichnis

## Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

1. Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB)
2. Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)
3. Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures, CLP-Verordnung)
4. TRGS 900: Arbeitsplatzgrenzwerte
5. Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (ArbSchG)
6. TRGS 407: Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung
- 6b. TRGS 510: Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern

## Sonstige verbindliche Regelungen

7. *Accord relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route* (ADR); deutscher Titel: Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
8. DIN 6653-2:2015-06 „Getränkeschankanlagen – Ausrüstungsteile – Teil 2: Anforderungen an das Betriebsverhalten und Prüfverfahren von Kohlenstoffdioxid-Warnanlagen“
- 8b. DIN EN 45544-1:2015 „Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren“
- 8c. DIN EN 45544-2:2015 „Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 2: Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten, die für Expositionsmessungen eingesetzt werden“

- 8d. DIN EN 45544-3:2015 „Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 3: Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten, die für allgemeine Gaswarnanwendungen eingesetzt werden“
- 8e. DIN EN 45544-4:2016 „Arbeitsplatzatmosphäre – Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe – Teil 4: Leitfaden für Auswahl, Installation, Einsatz und Wartung“
- 8f. DIN EN 511:2006 „Schutzhandschuhe gegen Kälte“
- 8g. DIN EN 14470-2:2006 „Feuerwiderstandsfähige Lagerschränke – Teil 2: Sicherheitsschränke für Druckgasflaschen“

**Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften), DGUV Regeln, DGUV Informationen, DGUV Grundsätze, Merkblätter und sonstige Schriften der Unfallversicherungsträger**

- 9. DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“
- 10. DGUV Regel 110-007 „Verwendung von Getränkeshankanlagen“
- 11. DGUV Information 213-026 „Sicherheit und Gesundheit im chemischen Hochschulpraktikum“
- 12. DGUV Information 213-056 „Gaswarneinrichtungen und -geräte für toxische Gase/Dämpfe und Sauerstoff – Einsatz und Betrieb“
- 13. DGUV Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien – Grundlagen und Handlungshilfen“
- 14. DGUV Information 215-312 „Sicherheit bei Veranstaltungen und Produktionen-Pyrotechnik, Nebel und andere szenische Effekte“

## Datenbanken und Informationen im Internet

15. Sicherheit beim Umgang mit Trockeneis  
[www.industriegaseverband.de/system/files/downloads/e07bc8717f064a77925bb93b66eb9972/sh-01co2-rev1-umgangmittrockeneis-final.pdf](http://www.industriegaseverband.de/system/files/downloads/e07bc8717f064a77925bb93b66eb9972/sh-01co2-rev1-umgangmittrockeneis-final.pdf)
- 15a. Gischem [www.gischem.de/suche/uebersicht.htm?client\\_session\\_Dokument=3936&client\\_request\\_Suchklasse=Suchbegriff&view\\_Suchbegriff\\_OID=2056](http://www.gischem.de/suche/uebersicht.htm?client_session_Dokument=3936&client_request_Suchklasse=Suchbegriff&view_Suchbegriff_OID=2056)
- 15b. Gestis [gestis.dguv.de/data?name=001122](http://gestis.dguv.de/data?name=001122)
- 15c. [www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid-](http://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlendioxid-)

## Sonstige Veröffentlichungen

16. Risiken bei der Beförderung zu Kühlzwecken in PKW – Wie hoch ist die Gefahr von Trockeneis?  
[www.sifa-sibe.de/fachbeitraege/archiv-si/wie-hoch-ist-die-gefahr-von-trockeneis/](http://www.sifa-sibe.de/fachbeitraege/archiv-si/wie-hoch-ist-die-gefahr-von-trockeneis/)
17. PanGas – Trockeneis – Lieferung, Lagerung & Sicherheit  
[www.pangas.ch/de/images/Berechnungsprogramm\\_Trockeneis\\_tcm553-114274.xls](http://www.pangas.ch/de/images/Berechnungsprogramm_Trockeneis_tcm553-114274.xls)
18. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 74 (2014) Nr.6 Juni

## Berichte

19. Bericht über die Messung von Gefahrstoffen in der Luft in Arbeitsbereichen vom 26.10.2021, Dr. Fröhlich (BGHW) und Steimer (BG RCI)
20. Bericht über Versuche zur Messung der Kohlendioxid-Konzentration während des Transportes kleiner Behälter mit Trockeneis als Kühlmittel in einem Pkw vom 13.01.2022, , Dr. Wiesemeier (BGN), Bericht Nr.: 01/TW/22







**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40

10117 Berlin

Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)

E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)

Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)