

DOI 10.17590/20201007-120505

Trockeneis: Kohlendioxid-Vergiftungen sind möglich

Stellungnahme Nr. 047/2020 des BfR vom 7. Oktober 2020



Handelsübliches Trockeneis wird sowohl wegen seiner langanhaltenden kühlenden Eigenschaften für die Lagerung, den Versand und Transport für Frisch- und Tiefkühlwaren benutzt als auch für Nebeneffekte beispielsweise bei privaten Feiern oder Konzerten. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) nimmt Stellung zum gesundheitlichen Risiko für Verbraucherinnen und Verbraucher.

Vergiftungsfälle mit Trockeneis kommen weltweit vor. Bekannt sind Fälle u. a. in Deutschland, den USA, in Japan, Thailand und in der Schweiz. Unfälle im Umgang mit Trockeneis umfassen darüber hinaus Erfrierungen oder Schäden durch Explosionen von Transportbehältern. Im Fokus der BfR-Stellungnahme steht das Risiko einer Vergiftung.

Als Trockeneis wird festes, mindestens $-78,5^{\circ}\text{C}$ kaltes Kohlenstoffdioxid (CO_2) bezeichnet. Trockeneis geht bei Raumtemperatur durch Sublimation in gasförmiges CO_2 über. Dabei kommt es zu einer sehr starken Druckzunahme, wodurch in luftdichten Gefäßen Explosionsgefahr besteht.

Aus Trockeneis freigesetztes gasförmiges CO_2 kann zur Erstickung führen. Dabei verdrängt CO_2 den Sauerstoff der Luft, z. B. in unzureichend belüfteten Räumen oder beim Transport in Fahrzeugen. Die Folge: Der Sauerstoff in der Atemluft wird verringert. Gleichzeitig wird in der Lunge die Aufnahme von Sauerstoff in die roten Blutkörperchen behindert. Dadurch kann es bei erhöhter CO_2 -Konzentrationen in der Atemluft zu einem Sauerstoffmangel im Gehirn oder im Gewebe kommen, eine Folge sind Kopfschmerzen sowie oberhalb von ca. 2 % CO_2 unter anderem Schwitzen, Kurzatmigkeit, Herzrasen, Atemnot, Schwindel, Sehstörungen, Zittern, bzw. Bewusstseinsstörungen. Ab ca. 5 % wirkt CO_2 narkotisch, oberhalb von ca. 8 - 10 % CO_2 in der Atemluft kann es zur Bewusstlosigkeit und zum Tod durch Ersticken innerhalb weniger Minuten führen.

Das Risiko einer Vergiftung durch Trockeneis steigt mit der Menge an Trockeneis in im Verhältnis zu Raumgröße und -belüftung. Generell gilt, dass Trockeneis nur in geeigneten, gut isolierten, aber nicht luftdicht verschlossenen Behältern (Explosionsgefahr) aufbewahrt und transportiert werden darf. Bei Transport, Lagerung und Verwendung in geschlossenen Räumen und Fahrzeugen ist immer auf eine ausreichende Belüftung zu achten.

		BfR-Risikoprofil: Trockeneis: Kohlendioxid-Vergiftungen sind möglich (Stellungnahme Nr. 047/2020)			
A Betroffen sind	Allgemeinbevölkerung 				
B Wahrscheinlichkeit einer gesundheitlichen Beeinträchtigung beim Umgang mit Trockeneis	Praktisch ausgeschlossen	Unwahrscheinlich	Möglich	Wahrscheinlich	Gesichert
C Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung beim Umgang mit Trockeneis	Keine Beeinträchtigung	Leichte Beeinträchtigung	Mittelschwere Beeinträchtigung	Schwere Beeinträchtigung irreversibel	
D Aussagekraft der vorliegenden Daten	Hoch: Die wichtigsten Daten liegen vor und sind widerspruchsfrei		Mittel: Einige wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	Gering: Zahlreiche wichtige Daten fehlen oder sind widersprüchlich	
E Kontrollierbarkeit durch Verbraucher [1]	Kontrolle nicht notwendig	Kontrollierbar durch Vorsichtsmaßnahmen	Kontrollierbar durch Verzicht	Nicht kontrollierbar	

Dunkelblau hinterlegte Felder kennzeichnen die Eigenschaften des in dieser Stellungnahme bewerteten Risikos (nähere Angaben dazu im Text der Stellungnahme Nr. 047/2020 des BfR vom 7. Oktober 2020).

Erläuterungen

Das Risikoprofil soll das in der BfR-Stellungnahme beschriebene Risiko visualisieren. Es ist nicht dazu gedacht, Risikovergleiche anzustellen. Das Risikoprofil sollte nur im Zusammenhang mit der Stellungnahme gelesen werden.

[1] – Zeile E - Kontrollierbarkeit durch Verbraucher

Die Angaben in der Zeile „Kontrollierbarkeit durch Verbraucher“ sollen keine Empfehlung des BfR sein, sondern haben beschreibenden Charakter.

1 Gegenstand der Bewertung

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) nimmt zu Vergiftungen im Zusammenhang mit dem Gebrauch von Trockeneis aus Sicht des gesundheitlichen Verbraucherschutzes Stellung. Gesundheitliche Risiken im Umgang mit Trockeneis umfassen Kohlendioxidvergiftung, Kälteverbrennungen oder Schäden durch Explosionen der Verpackung des Trockeneises. Im Fokus der BfR-Stellungnahme steht das Risiko einer Kohlendioxidvergiftung von Verbraucherinnen und Verbraucher durch den Umgang mit Trockeneis.

In jüngsten Presseberichten ist von mindestens drei Todesfällen und weiteren Verletzten in Zusammenhang mit einer Geburtstagsparty in einer Moskauer Dampfsauna berichtet worden. Dabei wurden 25 Kilogramm Trockeneis in ein Becken mit warmem Wasser gegeben, um Sprudel- und Nebeneffekte zu erzielen. Das dabei schnell freigesetzte Kohlendioxidgas führte zu Erstickungssymptomen und zum Tod einiger Gäste.

Eine Recherche in publizierter wissenschaftlicher Literatur und weiteren Veröffentlichungen im Internet ergab nur wenige bekannt gewordene Vergiftungsvorfälle mit Trockeneis für den Zeitraum von 2013 bis 2019.

Vorfälle durch (Kurzzeit-)Exposition mit Trockeneis können generell in drei Gruppen eingeteilt werden:

- (1) Akute inhalative Vergiftungen einschließlich Tod durch Ersticken bei Inhalation stark erhöhter CO₂-Konzentrationen in unzureichend belüfteten Räumen oder Kraftfahrzeugen. Es werden Arbeitsunfälle und Unfälle privater Verbraucherinnen und Verbraucher berichtet.
- (2) Erfrierungen (korrosive Gewebeschädigung) der Haut und der Schleimhäute des oberen Verdauungstrakts durch direkten dermalen (oder selten) dem oralen Kontakt mit dem Trockeneis. Es werden Arbeitsunfälle, Unfälle privater Verbraucherinnen und Verbraucher und Fehlanwendungen berichtet.
- (3) Verletzungen durch Bruchstücke zerberstender Behälter bei Explosion von gasdichten Trockeneisbehältern (sog. „Trockeneisbombe“). Es werden Arbeitsunfälle, Fehlanwendungen, Unfälle privater Verbraucherinnen und Verbraucher sowie kriminelles Verhalten berichtet.

Mögliche Gefahrenquellen

Die Verwendung von Trockeneis kann zu Vergiftungsfällen durch Kohlendioxid (CO₂) führen, da Trockeneis zu gasförmigem CO₂ sublimiert. Die bekannten Todesfälle durch CO₂ erfolgen meist durch inhalative akut-toxische Wirkung in geschlossenen Räumen. Zu tödlichen Verletzungen durch „Trockeneisbomben“ oder Trockeneis-Kälte-Erfrierungen liegen dem BfR keine Erkenntnisse vor.

Langzeitexposition bzw. chronische Belastung mit erhöhten CO₂-Gehalten durch die Verwendung von Trockeneis kann zu Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel [1], z. B. Anreicherung von Carbonat in der Knochenmatrix [2-4], führen. Mögliche Gesundheitsgefahren durch eine Langzeitexposition mit erhöhter CO₂-Konzentration im privaten Gebrauch wird als nachrangig bewertet unter der Annahme, dass kein täglicher Umgang mit Trockeneis im Privatbereich besteht.

Die folgenden Unfallquellen im Umgang mit Trockeneis stellen im Wesentlichen die Risiken für Vergiftungen mit Trockeneis dar (nach [5]):

1. Lagerung großer Mengen
2. Lagern und Verwenden von Trockeneis in kleinen unbelüfteten Räumen
3. Transport von Trockeneis im Fahrgastraum
4. Lagerung von Trockeneis in gasdichten Behältern (Explosionsgefahr)
5. Keine angemessene Schutzkleidung

Aus der Presse und wissenschaftlichen Berichten wird deutlich, dass Vergiftungsfälle mit Trockeneis und Kohlendioxid weltweit vorkommen. Neben Fällen in Deutschland sind Fälle in den USA, in Japan, Thailand und in der Schweiz bekannt. Für die USA beispielsweise wird von einer unveränderten Todesfallzahl durch Kohlendioxidvergiftungen (zu denen auch Todesfälle mit Trockeneis gezählt werden) mit etwa 90 Todesfällen (Arbeitsunfälle) pro Jahr für den Zeitraum 1980er Jahre bis in das Jahr 2015 berichtet [6].

Tabelle 1: Todesfälle nach Inhalation erhöhter CO₂-Konzentration in Verbindung mit dem Gebrauch von Trockeneis. Ergebnis quelloffener Literatur und Internetrecherche (exemplarisch, nicht repräsentativ).

Zeitraum	Anzahl Sterbefälle
2013 – 2019	5 trockeneisassoziierte Sterbefälle in Deutschland [7-9]
2013 – 2019	4 trockeneisassoziierte Sterbefälle (Schweiz, USA) [10-13]
2000 – 2011	21 CO ₂ -assoziierte Sterbefälle (USA). Identifiziert wurden sehr diverse Situationen für jeden einzelnen Fall [14].
1994 – 2012	9 trockeneisassoziierte Sterbefälle in anderen Ländern [5, 10, 15-20]

Veröffentlicht wurden auch Berichte zu nicht-tödlich verlaufenden Vergiftungsfällen sowie zu Unfällen durch sog. Trockeneisbomben oder Erfrierungen.

Dem BfR liegen für den Zeitraum 2013 bis 2019 zwei Fallmeldungen gemäß §16e Chemikaliengesetz zu Trockeneis vor:

- Fall 1: 2017; gewerblich; 1 Erwachsener; Trockeneis-Dämpfe im Flugzeug; leichte Symptomatik: Augenrötung, Hustenreiz, retrosternales Brennen, unauffälliger klinischer Untersuchungsbefund
- Fall 2: 2018; gewerblich; 1 Erwachsener; Transport von Trockeneis im Auto; leichte Symptomatik: Schwindel, unauffälliger klinischer und apparativer Untersuchungsbefund (inkl. Blutgas-Analyse und Röntgen-Thorax-Untersuchung)

Eine Abfrage im Jahr 2019 bei den deutschen Giftinformationszentren ergab 53 Fallberichte mit insgesamt 61 betroffenen Personen für den Zeitraum 2013 bis 2019. In 31 der 53 Fälle handelt es sich um eine private Anwendung. Bei den Fällen mit privater Exposition wurden ein fataler Fall, ein schwerer Fall und zwei mittelschwere Fälle (teilweise Mischexpositionen) dokumentiert. Alle anderen Fälle im Verbraucherbereich hatten einen leichten oder asymptomatischen Verlauf.

2 Gefährdungspotenzial

Unfälle mit Trockeneis können die Gesundheit schädigen, in extremen Fällen sogar zum Tod führen. Entsprechende Todesfälle wurden durch die Sublimation des Trockeneises in gasförmiges CO₂ verursacht [5, 6, 10, 15, 21, 22]. Todesfälle durch Trockeneis müssen im Zusammenhang mit der inhalativen Toxizität von gasförmigem CO₂ gesehen werden.

Neben der Verdrängung von Sauerstoff und damit verbundener Senkung des Sauerstoffpartialdrucks in der Atemluft durch freigesetztes gasförmiges CO₂ wirkt dieses als Atemgift bzw. Erstickungsmittel. Mit zunehmender Konzentration von gasförmigem CO₂ in der Atemluft wird die Abgabe von körpereigenem CO₂ über die Lunge erschwert und zusätzlich die Aufnahme von Sauerstoff verringert. Daher führt erhöhtes CO₂ in der Atemluft zu einer verringerten Sauerstoffbeladung der roten Blutkörperchen und wirkt somit selbst bei eigentlich ausreichendem Sauerstoffpartialdruck in der Atemluft erstickend.

Abhängig von der Konzentration von CO₂ in der Atemluft und der Dauer der Exposition reichen die Folgen einer akuten CO₂-Vergiftung von leichten Symptomen bis hin zu Bewusstlosigkeit oder Tod (siehe auch Tabelle 3). Unter 2 % sind außer Kopfschmerzen keine akuten Vergiftungserscheinungen zu erwarten. Bei Zunahme der CO₂-Konzentration in der Luft kommt es zu erhöhten CO₂-Mengen im Blut und in der Folge einer respiratorischen Azidose zu einer Aktivierung des Atemzentrums, Erhöhung der Atemfrequenz (Tachypnoe) und Pulserhöhung.

Mit weiterer Zunahme der CO₂-Konzentration in der Atemluft sind Schwindel, Brechreiz, Wahrnehmungsstörungen, Ohrensausen etc. erste Zeichen einer verminderten Sauerstoffversorgung des Gehirns. Ab 5 % wirkt CO₂ narkotisch, es kann zu Krampfanfällen und Veränderungen im EKG kommen, ab ca. 8 – 10 % führt CO₂ zur Bewusstlosigkeit und ist potentiell tödlich, ab ca. 20 – 30 % kann der Tod in wenigen Minuten eintreten.

Die Schwere der Symptome ist abhängig von der CO₂-Konzentration und der Expositionszeit, aber auch Alter und Konstitution bestimmen die individuelle Wirkung auf eine CO₂-Belastung [23]. Diese individuellen Unterschiede sind bei der Beurteilung des Vergiftungsrisikos und in Bezug auf Schlussfolgerungen zum Umgang mit Trockeneis zu berücksichtigen. Eine Möglichkeit der Genesung nach einer starken CO₂-Vergiftung durch nahezu vollständige CO₂-Sättigung der Raumluft wird berichtet (Arbeitsunfall mit flüssigem CO₂ [21]). Allerdings ist zu beachten, dass durch den Sauerstoffmangel ausgelöste bleibende Hirnschäden auftreten können.

Als mögliche Todesursache von privaten Verbraucherinnen und Verbrauchern wird die kurzzeitige Exposition mit hoher CO₂-Konzentration ab ≥ 10 Vol.-% in unzureichend belüfteten Räumen wie Kfz-Innenraum, Keller oder Lagerraum angenommen. Bei den unfallbedingten Todesfällen werden kurze Expositionszeiten (von Minuten) vermutet. Eine entsprechende Gefahr geht häufig von einer Fehlhandhabung des Trockeneises bei fehlender Sicherheits- bzw. Anwendungsinformation aus. Unter oben genannten akzidentiellen Umständen ist die Gefahr des Erstickens für private Verbraucherinnen und Verbraucher bei der Handhabung von Trockeneis vorhanden.

Exposition

Mit den folgenden beiden Tabellen werden bekannte gesundheitliche Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen in der Atemluft sowie Norm-, Leit- und Grenzwerte für CO₂ in der Atemluft und Innenraumluft gegenübergestellt.

Tabelle 2: Norm-, Leit- und Grenzwerte sowie Werte zur akuten inhalativen Toxizität von CO₂. Dosis- und Zeitabhängige Wirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen beim Menschen.

CO ₂ Norm-, Leit- und Grenzwerte für die Umgebung des Menschen		
CO ₂ -Konz. in der Atemluft [Vol.-%]	Expositionszeit	Effekt/Wirkung (Referenz)
0,04	---	• Normwert Atemluft [6, 7]
0,1	---	• Oberer Grenzwert Innenraumluft, berücksichtigt erhöhte CO ₂ -Konzentration bei gleichzeitig geringer bzw. sinkender O ₂ -Konzentration in der Raumluft [4]
0,14	---	• Einstufungswert der Innenraumluft mit geringer Luftqualität (DIN 2007-09) [1]
0,5	8 h twa	• Maximal zulässige Konzentration am Arbeitsplatz (MAK), gilt nicht für künstlich belüftete Räume [4]

tw = time weight average, MAK = Maximale Arbeitsplatz Konzentration

Tabelle 3: Dosis- und Zeitabhängige Wirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen beim Menschen.

Dosis- und Zeitabhängige Wirkungen erhöhter CO ₂ -Konzentrationen beim Menschen		
CO ₂ -Konz. in der Atemluft [Vol.-%]	Expositionszeit	Effekt/Wirkung (Referenz)
≥ 0,1	k. A.	• Kopfdruck, Kopfschmerz [2]
≤ 2	k. A.	• Keine Auswirkungen [10]

2,5	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Wahrnehmungsbeeinträchtigung [1]
2-6	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Tachypnoe [10]
≥ 3	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Hyperkapnie / respiratorische Azidose [2, 3], Atemnot [2]
3-5	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Regt über Chemorezeptoren das Atemzentrum an [2, 3]
ca. 4-7	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Reizung des Atemzentrums, Erhöhung der Pulsfrequenz, Durchblutungsprobleme im Gehirn, Schwindelgefühl, Brechreiz, Ohrensausen [24]
> 5	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Narkose [2, 3]
6	6-8 min	<ul style="list-style-type: none"> EKG Veränderungen (ältere (ca. 60 J) stärker als jüngere (23 J.) Personen) [4]
ca. 8-10	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Verstärkung der Beschwerden bei ca. 4-7 Vol.-% (siehe oben), Krämpfe, Bewusstlosigkeit mit kurzfristig folgendem Tod [24]
10	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Bewusstlosigkeit [23] potentiell tödlich [23] Schwäche, Ohrensausen, erhöhte Schmerzempfindlichkeit [2]
> 10	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Kopfschmerz, Schwitzen Tödliche Folgen [3] Tod tritt kurzfristig ein [24]
	10-20 min	<ul style="list-style-type: none"> Bewusstseinsverlust [4]
10-30	k.A.	<ul style="list-style-type: none"> Abnahme visueller Wahrnehmung, Lichtempfindlichkeit, Augenzittern, Abnahme der Hörfunktion, Erbrechen [10]
> 17	20-52 sec	<ul style="list-style-type: none"> Bewusstlosigkeit, Schwindel, undeutliches Sehen, Rachenreizung [4]
> 20	1 min	<ul style="list-style-type: none"> Bewusstlosigkeit, Krämpfe [4]
≥ 20	Wenige Minuten	<ul style="list-style-type: none"> Tod wahrscheinlich [10]
25	k. A.	<ul style="list-style-type: none"> Herzrasen, Krämpfe [2]
≥ 30	Sofort	<ul style="list-style-type: none"> Bewusstlosigkeit und schneller Tod [10]
Kontinuierliche Dauerexposition gegenüber erhöhten CO ₂ -Konz.	mehrere Tage	<ul style="list-style-type: none"> Abfall des Calciums und des anorganischen Phosphats im Blut [4] Carbonatanreicherung in der Knochensubstanz/-matrix [2-4].
0,7 – 1,2	26 Tage	<ul style="list-style-type: none"> Signifikante Verschlechterung bei der Durchführung optisch-motorischer Tests [22]

k. A. = keine Angabe

3 Gesetzliche Bestimmungen

Für Kohlendioxid gibt es im Arbeitsschutzbereich einen Arbeitsplatzgrenzwert von 5000 ml/m³ (ppm) bzw. 9100 mg/m³ (TRGS 900 [25]). Dies entspricht einer zulässigen Konzentration von CO₂ am Arbeitsplatz von 0,5 %. Dies entspricht etwa der 12,5-fachen CO₂-Konzentration in normaler Atemluft (0,04 %).

Das Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) enthält Vorschriften insbesondere für die Klassifizierung, Verpackung, Kennzeichnung und Dokumentation gefährlicher Güter, für den Umgang während der Beförderung und für die zur Beförderung verwendeten Fahrzeuge. Für Trockeneis (UN1845) ist die Sondervorschrift 5.5.3 ADR anzuwenden [26]. Diese stellt Anforderungen an die Unterweisung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, an die Versandstücke (Verpackung, Kennzeichnung) und an Dokumentation sowie Fahrzeugkennzeichnung. Seit 2017 gibt es unter anderem eine Kennzeichnungspflicht für alle Arten von Beförderungen für Trockeneis im Straßenverkehr, unabhängig davon, ob dieser Stoff als Kühl- oder Konditionierungsmittel oder als Sendung befördert wird („KOHLENDIOXID, FEST“ gegebenenfalls mit dem Zusatz „ALS KÜHLMITTEL“). Zusätzlich zu der Kennzeichnung der einzelnen Versandstücke müssen nicht gut belüftete Fahrzeuge und Container mit einem speziellen Warnhinweis versehen sein.

Seit dem 1. Januar 1999 gilt für Privatpersonen eine Freistellung von den Gefahrgutvorschriften Straße. Danach dürfen Privatpersonen gefährliche Güter befördern, wenn diese „einzelhandelsgerecht abgepackt sind und für den persönlichen oder häuslichen Gebrauch oder für Freizeit und Sport bestimmt“ sind.

Kohlenstoffdioxid ist in Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) aufgeführt. Gemäß Artikel 2 Absatz 7 Buchstabe a) REACH-Verordnung sind in Anhang IV aufgeführte Stoffe ausgenommen von den Titeln II (Registrierung), V (Nachgeschaltete Anwender) und VI (Bewertung), „da ausreichende Informationen über diese Stoffe vorliegen, so dass davon ausgegangen wird, dass sie wegen ihrer inhärenten Stoffeigenschaften ein minimales Risiko verursachen.“

Die akute Toxizität von Trockeneis bzw. CO₂ ist im Vergleich zu vielen anderen Stoffen gering. Kohlendioxid wird daher gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP) nicht als akut toxisch eingestuft. Kohlendioxid muss nach CLP nur gekennzeichnet werden, wenn es als Gas unter Druck vermarktet wird.

4 Risikocharakterisierung

Vergiftungen durch aus Trockeneis freigesetztem CO₂ kommen sowohl im gewerblichen als auch privatem Bereich vor. Schwere oder tödliche Vergiftungen sind allerdings selten. Die beschriebenen Fälle sind auf unsachgemäße Lagerung, Transport oder Verwendung zurückzuführen oder geschahen in suizidaler Absicht.

Eine entsprechende Gefahr geht dabei häufig von einer Fehlhandhabung des Trockeneises aufgrund fehlender Sicherheits- oder Anwendungsinformation aus. Unter den genannten akzidentiellen Umständen ist ein Risiko des Erstickens für private Verbraucherinnen und Verbraucher bei der Handhabung von Trockeneis grundsätzlich vorhanden.

Die Risiken des Erstickens durch Freisetzung von gasförmigem Kohlendioxid durch Sublimation aus Trockeneis lassen sich für den Einzelfall beschreiben. Für eine quantitative Abschätzung des Risikos müssen eine Reihe von Faktoren beachtet werden:

- Trockeneismenge: je größer die Menge, desto mehr CO₂ kann freigesetzt werden;
- Größe des Raums, Belüftung: je kleiner und weniger belüftet der Raum (z. B. Badezimmer, Kfz, bei Kfz auch Ladung beachten), desto größer die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Luft;
- Sublimationsrate: hohe Temperaturen und gute Wärmeleitung erhöhen die Sublimationsrate; schnellere Freisetzung von CO₂ z. B. durch direkten Kontakt mit warmem Wasser (Swimmingpool, Nebel effekte)
- Raumbeschaffenheit, aber auch Körpergröße und Art des Aufenthalts von Personen: CO₂ ist schwerer als Luft, daher ist in Bodennähe die CO₂-Konzentration höher (Keller, Swimmingpool, Sitzen oder Liegen auf dem Boden);
- Aktivität und Anzahl Personen sowie CO₂-Ausgangskonzentration im Raum;
- Verpackung: Art, Gasdurchlässigkeit, Isolierung.

Trockeneis sollte von Verbraucherinnen und Verbrauchern daher allenfalls in kleineren Mengen z. B. zur Kühlung von verderblichen Waren verwendet werden. Dabei ist vor allem auf eine gute Belüftung des Lagerraumes bzw. des Transportmittels (Kfz), eine gute Wärmeisolierung und Gasdurchlässigkeit des Transportbehälters (Explosionsgefahr) sowie auf Kälteschutz bei der Handhabung zu achten.

Weitere Informationen auf der BfR-Website zum Thema „Vergiftungen“:

<https://www.bfr.bund.de/de/vergiftungen-7467.html>



„Stellungnahmen-App“ des BfR

5 Referenzen

1. UBA, *Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft*. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 2008. **51**(11): p. 1358-1369.
2. Kurzweil, P., *Toxikologie und Gefahrstoffe - Gifte - Wirkungen - Arbeitssicherheit*. 1. Auflage ed. 2013: Europa Lehrmittel.
3. Reichl, F.-X., *Taschenatlas der Toxikologie*. 3. Auflage ed. 2009: Thieme Verlag
4. MAK, *Kohlendioxid [MAK Value Documentation in German language, 2002]*, in *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety*. 2002. p. 1-1.
5. Giesecke, J., et al., *Death by dry ice*. Rechtsmedizin, 2017. **27**(6): p. 536-541.
6. Permentier, K., et al., *Carbon dioxide poisoning: A literature review of an often forgotten cause of intoxication in the emergency department*. International Journal of Emergency Medicine, 2017. **10**(1): p. 14.
7. Bundschuh, M. and A. Gerber, *Trockeneis: Ein aktuelles Unfallgeschehen aufgrund unsachgemäßen Umgangs mit CO₂*. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie, 2013. **63**(6): p. 348-349.
8. Bucher, G. *Der mysteriöse Trockeneis-Tod des Star-Gastronoms*. Welt, 2013. <https://www.welt.de/vermischtes/prominente/article117839645/Der-mysterioese-Trockeneis-Tod-des-Star-Gastronoms.html>.
9. Kettner, M., et al., *A fatal case of CO(2) intoxication in a fermentation tank*. Journal of Forensic Sciences, 2013. **58**(2): p. 556-558.
10. La Harpe, R., et al., *Fatality in a wine vat*. The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 2013. **34**(2): p. 119-121.
11. Rupp, W.R., et al., *Suicide by carbon dioxide*. Forensic Science International, 2013. **231**(1-3): p. e30-e32.
12. Nedelman, M. *Ice cream salesman's wife and mother suffocated by dry ice in car*. 2018. <https://edition.cnn.com/2018/08/01/health/dry-ice-death/index.html>.
13. U.S. News *Man delivering dry ice to McDonald's dies in chemical leak*. 2018. <https://www.usnews.com/news/best-states/minnesota/articles/2018-11-21/man-delivering-dry-ice-to-mcdonalds-dies-in-chemical-leak>.
14. Punja, M., *Carbon dioxide associated poisoning fatalities in the USA from 2000 to 2011*. Journal of Medical Toxicology, 2014. **10**(1): p. 90.
15. Srisont, S., T. Chirachariyavej, and A.V. Peonim, *A carbon dioxide fatality from dry ice*. Journal of Forensic Sciences, 2009. **54**(4): p. 961-962.
16. Downs, J.C., S.E. Conradi, and C.A. Nichols, *Suicide by environmental hypoxia (forced depletion of oxygen)*. The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 1994. **15**(3): p. 216-223.

17. Dunford, J.V., et al., *Asphyxiation due to dry ice in a walk-in freezer*. Journal of Emergency Medicine, 2009. **36**(4): p. 353-356.
18. Gill, J.R., S.F. Ely, and Z. Hua, *Environmental gas displacement: Three accidental deaths in the workplace*. The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 2002. **23**(1): p. 26-30.
19. Norimine, E., et al., *Suicide case of carbon dioxide poisoning using dry ice*. The Japanese Journal of Toxicology, 2009. **22**(2): p. 121-124.
20. Khokhlov, V.D., *[A case of fatal carbon dioxide gas poisoning]*. [Sudebno-meditsinskaia ekspertiza], 1996. **39**(2): p. 47-48.
21. Halpern, P., et al., *Exposure to extremely high concentrations of carbon dioxide: A clinical description of a mass casualty incident*. Annals of Emergency Medicine, 2004. **43**(2): p. 196-199.
22. Manzey, D. and B. Lorenz, *Joint NASA-ESA-DARA Study. Part three: effects of chronically elevated CO₂ on mental performance during 26 days of confinement*. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 1998. **69**(5): p. 506-514.
23. OSHA *Potential carbon dioxide (CO₂) asphyxiation hazard when filling stationary low pressure CO₂ supply systems*. OSHA Hazard Information Bulletins, 1996. https://www.osha.gov/dts/hib/hib_data/hib19960605.html.
24. LMU, *Verwendung von Trockeneis als Kühlmittel – UN1845*, L.-M.-U. München, Editor. 2018, Stabsstelle AuN: Munich, Germany. p. 1-5.
25. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin *TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte*. Technische Regel für Gefahrstoffe, 2020. <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-900.html>.
26. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur *Anlage zur Bekanntmachung der Neufassung der Anlagen A und B des Europäischen Übereinkommens vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR)*. 2019. www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBI&jumpTo=bgbl219014_Anlageband.pdf.

Über das BfR

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) ist eine wissenschaftlich unabhängige Einrichtung im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Es berät die Bundesregierung und die Bundesländer zu Fragen der Lebensmittel-, Chemikalien- und Produktsicherheit. Das BfR betreibt eigene Forschung zu Themen, die in engem Zusammenhang mit seinen Bewertungsaufgaben stehen.