

# Sicherheitshinweis

## Umgang mit Kohlendioxid CO<sub>2</sub>

### Kohlendioxid

Kohlendioxid ist als Gas farblos und weitgehend geruchs- und geschmacksneutral. Deshalb ist es mit den menschlichen Sinnesorganen praktisch nicht wahrnehmbar. Kohlendioxid gilt als nicht giftig. Es ist kein Gefahrstoff im Sinne der Gefahrstoffverordnung. Die Luft, die wir atmen, enthält etwa 0,04 Vol.-% Kohlendioxid. Diese Konzentration ist lebensnotwendig, weil sie unser Atemzentrum anregt und Atemvolumen und -geschwindigkeit steuert.

Wer mit Kohlendioxid gefahrlos umgehen will, muss die Eigenschaften dieses Gases kennen und geeignete Sicherheitsmassnahmen ergreifen. Diese Sicherheitshinweise sind Empfehlungen aus der Praxis. Verbindliche Sicherheitsvorschriften werden hierdurch nicht ersetzt sondern ergänzt. Oftmals wird Kohlendioxid im täglichen Gebrauch als Kohlensäure bezeichnet. In diesen Sicherheitshinweisen wird der Ausdruck „Kohlensäure“ nur verwendet, wenn die wässrige Lösung des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O) gemeint ist.

### Physiologische Wirkung (Was passiert wenn sie atmen?)

In höheren Konzentrationen als die natürlichen 0,04 Vol.-% kann Kohlendioxid die Gesundheit beeinflussen. Die schädliche physiologische Wirkung einer zu hohen CO<sub>2</sub> Konzentrationen entsteht also nicht durch Sauerstoffmangel sondern durch direkte Wirkung des Kohlendioxids. Wenn die Luft beim Atmen die Lunge erreicht, strömt diese durch ein Labyrinth von immer kleineren Röhren, bis sie die Lungenbläschen (Alveolen) erreicht. Dort wird im Normalfall über eine dünne Membrane Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aus der Atemluft an das Blut abgegeben und das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus dem Blut wird im Gegenzug in die Atemluft übertragen. Beim Ausatmen wird dieses CO<sub>2</sub> dann aus dem Körper ausgeschieden.

Befindet sich jedoch in der Atemluft zu viel CO<sub>2</sub>, wird an Stelle von Sauerstoff plötzlich das CO<sub>2</sub> ins Blut übertragen und es entsteht eine Fehlfunktion beim Sauerstoffaustausch.



Je nach CO<sub>2</sub> Konzentration (Volumenprozent in der Luft) können sich beim Menschen verschiedene Auswirkungen zeigen:

1-1,5 Vol.-% CO <sub>2</sub>	Es erfolgt eine geringfügige Einwirkung auf den Stoffwechsel nach mehreren Stunden.
3-5 Vol.-% CO <sub>2</sub>	Es kommt zu Kopfschmerzen, Atemstörungen und Unwohlsein (spätestens nach 30 Minuten Exposition).
8-10 Vol.-% CO <sub>2</sub>	Bei dieser Konzentration können Krämpfe, Ohnmacht, Atemstillstand und Tod eintreten. Der Sauerstoffgehalt der Atemluft beträgt dabei noch ca. 19 Vol.-% und wäre damit ausreichend.
10-100 Vol.-% CO <sub>2</sub>	Wenn eine Kohlendioxid-Konzentration von über 10% auftritt, führt dies zu Bewusstlosigkeit in weniger als einer Minute. Ohne unverzügliche Gegenmassnahmen wird diese Situation zum Tod führen.

Aus diesem Grund ist für CO<sub>2</sub> eine maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von 0,5 Vol.-% festgelegt. (⇒ SUVA „Grenzwerte am Arbeitsplatz“ / Bestell-Nr. 1903.d)



Bitte beachten sie, CO<sub>2</sub> ist nicht nur erstickend sondern es wirkt direkt auf den Stoffwechsel in unserem Körper, auch wenn sich noch genügend Sauerstoff in der Umgebungsluft befindet. Die CO<sub>2</sub> Konzentration muss mit einer CO<sub>2</sub>-Messung überwacht werden, eine Sauerstoff-Kontrolle vermittelt eine falsche Sicherheit.

Achtung Erstickungsgefahr

Kohlendioxid kann den Menschen ausserdem durch Kältewirkung schädigen. Wenn durch Entspannung abgekühltes CO<sub>2</sub> als Trockeneis-Schnee auf die menschliche Haut trifft, können schmerzhafte „Kaltverbrennungen“ entstehen. Empfindliche Körpergewebe, wie z.B. die Augenhornhaut, sind besonders gefährdet. Kaltverbrennungen grösseren Ausmasses sind lebensgefährlich. Ebenfalls kann durch die Eisbildung in Rohren und Schläuchen oder an Armaturen eine mechanische Gefahr für Personen entstehen, die sich im näheren Umfeld aufhalten.



Warnung vor Kälte

Bitte beachten sie genau die Arbeitsanweisungen beim Umgang mit CO<sub>2</sub>. Schützen sie ihre Haut mit einer entsprechenden Schutzkleidung und geeigneten Schutzhandschuhen. Mit einer Schutzbrille kann die Augenhornhaut wirksam gegen Kaltverbrennungen geschützt werden.

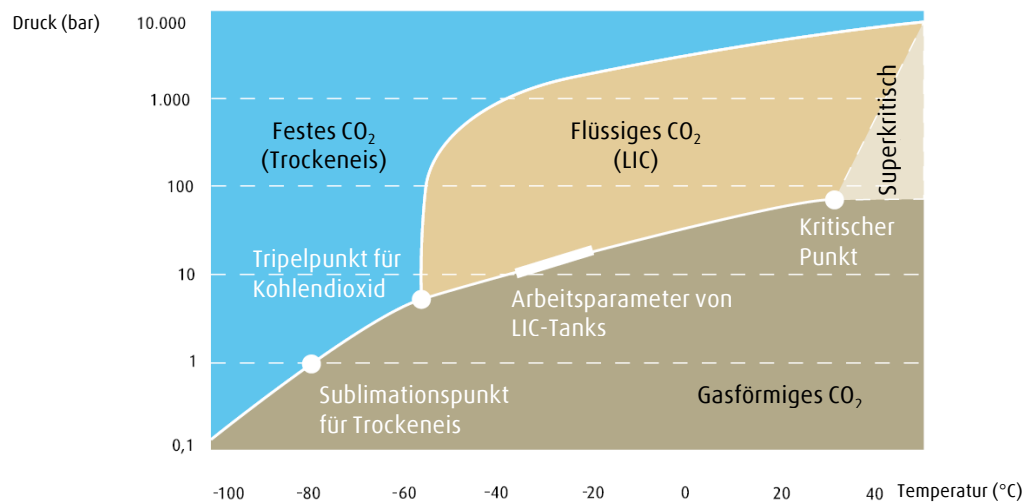
## Eigenschaften von Kohlendioxid

Kohlendioxid ist nicht brennbar, unter atmosphärischen Bedingungen chemisch stabil und reaktions-träge. Verbrennungsreaktionen werden durch CO<sub>2</sub> gehemmt oder gänzlich unterdrückt. Mit bestimmten Stoffen, z. B. Ammoniak oder Aminen, kann Kohlendioxid heftig reagieren. Kohlendioxid löst sich in Wasser. Dabei entsteht Kohlensäure, die schwach sauer reagiert und korrodierend auf Kohlenstoffstahl und einige Buntmetalle wirkt.

Kohlendioxid ist als Gas bei atmosphärischen Bedingungen etwa 1,5-mal so schwer wie Luft. Deshalb fließt CO<sub>2</sub> vorrangig nach unten und kann sich in Gruben, Kellerräumen oder Geländesenken ansammeln. Bei geringer Luftbewegung können sich derartige CO<sub>2</sub> Ansammlungen über viele Stunden halten.

Besondere Aufmerksamkeit erfordern die von Druck und Temperatur abhängigen Aggregatzustände:

- Bei atmosphärischen Bedingungen ist CO<sub>2</sub> **gasförmig**.
- Bei Temperaturen zwischen -56,6 und +31,1°C und Drücken von mindestens 5,2 bar kann CO<sub>2</sub> in **flüssiger Form** vorliegen. Bei atmosphärischem Druck (1 bar) kann flüssiges CO<sub>2</sub> nicht existieren.
- Bei Temperaturen unter -56,6°C kann CO<sub>2</sub> im **festen Zustand** vorliegen.
- Nur am sogenannten Tripelpunkt (-56,6°C, 5,2 bar) sind alle drei Aggregatzustände möglich.



In der Gasflasche befindet sich CO<sub>2</sub> im flüssigen Zustand, d.h. „unter Druck verflüssigt“. Der Druck der Flüssigkeit in der Gasflasche beträgt bei 20°C ca. 57 bar.

Wenn man aus der Gasflasche CO<sub>2</sub> mit einem Druckminderer entnimmt, dessen Hinterdruck unter 5,2 bar eingestellt ist, erhält man gasförmiges CO<sub>2</sub>. Dabei entstehen aus 1 kg Flüssigkeit beim Entspannen auf Atmosphärendruck etwa 550 Liter Gas. Unter bestimmten Bedingungen kann man CO<sub>2</sub> aus der Gasflasche in flüssiger Form entnehmen. Wird flüssiges CO<sub>2</sub> bei der Entnahme plötzlich entspannt, so kühlt es sich intensiv ab, wobei ein Gemisch aus CO<sub>2</sub>-Gas und CO<sub>2</sub>-Schnee entsteht.



Allgemeine Gefahr

Die Aggregatzustände von CO<sub>2</sub> können sich leicht im Zusammenhang mit Druck und Temperatur ändern. Somit können sich auch das Volumen sowie die physikalischen Eigenschaften relativ schnell verändern.

## Umgang mit CO<sub>2</sub>-Flaschen

Die allgemeinen Richtlinien für den Umgang mit Gasflaschen sind zwingend einzuhalten, darüber hinaus ist folgendes bei CO<sub>2</sub>-Flaschen zusätzlich zu beachten:

- Das nichtautorisierte Umfüllen von Kohlendioxid aus einer Gasflasche in eine andere ist riskant. Gasflaschen müssen bestimmten Anforderungen genügen, damit sie dem Druck sicher standhalten. Ob eine Gasflasche füllfähig ist, kann in der Regel nur das entsprechend ausgebildete Personal eines autorisierten Füllbetriebes beurteilen. Ausserdem ist eine Überwachung und Begrenzung der Füllmenge durch Wägung während des Füllens ungedingt notwendig. Gemäss der Druckbehälterverordnung dürfen maximal 0,75 kg CO<sub>2</sub> pro Liter Flaschenvolumen eingefüllt werden. Mit diesem Füllfaktor ist gewährleistet, dass der Druck in der CO<sub>2</sub>-Flasche erst bei Erwärmung auf 65°C den Prüfdruck von 250 bar erreicht. Wenn der zulässige Füllfaktor überschritten wird, steigt der Druck in der Gasflasche schon bei geringer Erwärmung erheblich an. Eine überfüllte CO<sub>2</sub>-Flasche kann bereits bei Erwärmung durch Sonneneinstrahlung bersten.
- Der Druck in einer CO<sub>2</sub>-Flasche hängt nur von der Temperatur ab. Er beträgt z. B. bei 20°C 57 bar. Auch eine fast leere CO<sub>2</sub>-Flasche hat, solange sie Flüssiggase enthält, bei 20°C 57 bar.
- Der Füllzustand einer CO<sub>2</sub>-Flasche kann nicht durch Messen des Druckes, sondern nur durch Wägen festgestellt werden.
- CO<sub>2</sub>-Flaschen bestehen im Allgemeinen aus Kohlenstoffstahl. Dieser wird durch Kohlensäure (CO<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O) korrodiert, was zu einer gefährlichen Festigkeitsminderung führen kann. Deshalb müssen Wasser oder wässrige Flüssigkeiten (Bier, Limonade) aus CO<sub>2</sub>-Flaschen ferngehalten werden. Im Füllbetrieb müssen CO<sub>2</sub>-Flaschen vor dem Füllen auf Vorhandensein von Wasser geprüft und gegebenenfalls getrocknet werden.  
Auch die Anwender sollten darauf achten, dass keine Flüssigkeit in die CO<sub>2</sub> Flasche eindringt. Eine mögliche Schutzmassnahme ist die Installation einer Rückströmsperre. Ebenfalls sollten CO<sub>2</sub>-Flaschen nur bis zu einem Restdruck von ca. 5 bar entleert werden und die Flaschenventile sind nach der Entleerung geschlossen zu halten. Damit wird verhindert, dass feuchte Luft in die CO<sub>2</sub>-Flasche eindringt.
- CO<sub>2</sub>-Flaschenventile haben häufig eine Überdrucksicherung in Form einer Berstscheibe, die mit einer Überwurfmutter am Ventil befestigt ist. An dieser Einrichtung darf in keiner Weise manipuliert werden, um ungewolltes und gefährliches Ausströmen von CO<sub>2</sub> zu vermeiden.



Warnung Gasflaschen

Es wird dringend davon abgeraten, Kohlendioxid umzufüllen (Überdruck bei Temperaturschwankungen). Der Inhalt der CO<sub>2</sub>-Flasche muss bei Bedarf durch Wägen bestimmt werden. Stellen sie sicher, dass keine Feuchtigkeit in die Flasche gelangt. Manipulationen an Armaturen sind lebensgefährlich.

## Umgang mit Kohlendioxid CO<sub>2</sub> (fest / flüssig / gasförmig)

⇒ Kohlendioxid fest (Trockeneis)



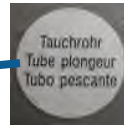
Trockeneis mit geeignetem Lagerbehälter

Trockeneis besteht aus zusammengepresstem CO<sub>2</sub> Schnee, der durch Entspannen von flüssigem CO<sub>2</sub> gewonnen wird. Trockeneis hat bei Atmosphärendruck eine Temperatur von -79°C. Wenn sich Trockeneis bei Atmosphärendruck erwärmt, schmilzt es nicht sondern es verdampft („sublimiert“) rückstandsfrei zu gasförmigem Kohlendioxid (daher der Name „Trockeneis“). Aus 1 kg Trockeneis entstehen je nach Verdichtungsgrad 300–400 Liter CO<sub>2</sub> Gas. Deshalb kann ein erheblicher Druckanstieg entstehen, wenn Trockeneis in einem gasdichten Behälter verdampft.

Trockeneis bedarf beim Umgang wegen seiner tiefen Temperatur und wegen der Bildung von gasförmigem CO<sub>2</sub> einiger spezieller Sicherheitsmassnahmen:

- Trockeneis ist kein Speiseeis. Man darf es nicht verschlucken oder direkt in Getränke geben. Kälte und entstehender Druck könnten den menschlichen Körper ernsthaft verletzen.
- Trockeneis darf nicht in Kinderhände gelangen!
- Trockeneis darf wegen seiner tiefen Temperatur nicht mit blossen Händen angefasst werden. Hantieren mit Handschuhen oder einer geeigneten Greifzange schützt vor Kaltverbrennungen.
- Wenn Trockeneis mit geeignetem Werkzeug von Hand zerkleinert wird, müssen die Augen mit einer Schutzbrille gegen Trockeneispartikel geschützt werden.
- Trockeneis darf nicht in dicht geschlossenen Behältern gelagert oder transportiert werden. Der durch Verdampfung entstehende Druck könnte den Behälter sprengen.
- Räume, in denen Trockeneis gelagert wird, dürfen von Personen nur betreten werden, wenn das entstehende gasförmige CO<sub>2</sub> durch ausreichend Lüftung abgeführt wird.
- Trockeneis darf nur in Fahrzeugladeräumen transportiert werden, diese vom Fahrerhaus bzw. Fahrgastraum gasdicht getrennt sind.

⇒ Kohlendioxid flüssig (GAC)



CO<sub>2</sub>-Steigrohrflaschen (mit Steig- oder Tauchrohr)

Die CO<sub>2</sub>-Steigrohrflasche hat im Inneren ein Steig- oder Tauchrohr, das vom Flaschenventil bis dicht über den Flaschenboden reicht. Aus einer Steigrohrflasche wird zwangsläufig (solange sie aufrecht steht) CO<sub>2</sub> in flüssiger Form entnommen.

Folgende Besonderheiten sind bei der Anwendung zu berücksichtigen:

- CO<sub>2</sub>-Steigrohrflaschen werden durch den Füllbetrieb eindeutig als solche gekennzeichnet, sie haben ein Pfeilsymbol (↓) auf den Ventil und einen runde Etiketle „Tauchrohr“. Der Anwender muss bewusst zur Kenntnis nehmen, dass er es mit einer CO<sub>2</sub>-Steigrohrflasche zu tun hat.
- CO<sub>2</sub>-Steigrohrflaschen dürfen nur verwendet werden, wenn die Entnahme von flüssigem Kohlendioxid beabsichtigt ist.
- CO<sub>2</sub>-Steigrohrflaschen dürfen nicht mit einem Druckminderer ausgerüstet werden, weil das flüssige Kohlendioxid infolge des Druckabfalls zu CO<sub>2</sub>-Schnee erstarren und den Druckminderer blockieren und unwirksam machen würde.
- CO<sub>2</sub>-Steigrohrflaschen müssen bei der Entnahme aufrecht stehen, damit die Öffnung des Tauchrohrs unter dem CO<sub>2</sub>-Flüssigkeitsspiegel bleibt. Nur unter dieser Voraussetzung kann nahezu der gesamte Inhalt der Flasche flüssig entnommen werden.
- Aus einer CO<sub>2</sub>-Steigrohrflasche wird das flüssige Kohlendioxid mit dem vollen Flaschendruck entnommen. Die Entnahmeeinrichtung muss dementsprechend druckfest und für flüssiges CO<sub>2</sub> geeignet sein (ein Getränkesystem ist in keinem Fall dafür geeignet).
- Absperrbare Rohrabschnitte für flüssiges CO<sub>2</sub> müssen mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet sein.
- Wenn aus einer Steigrohrflasche flüssig entnommenes Kohlendioxid auf Atmosphärendruck entspannt wird, entsteht CO<sub>2</sub>-Schnee. Deshalb werden Steigrohrflaschen vor allem dann angewendet, wenn CO<sub>2</sub>-Schnee benötigt wird (z.B. zur Kühlung von Lebensmitteln).
- CO<sub>2</sub>-Schnee kann in mehrfacher Hinsicht gefährlich werden. Wenn der austretende Strahl die menschliche Haut trifft, besteht die Gefahr der Kaltverbrennung. Deshalb muss die Haut mit geeigneter Kleidung sowie die Augen mit einer Schutzbrille geschützt werden. Der CO<sub>2</sub>-Schnee kann die Entnahmeeinrichtung verstopfen. Wenn ein Pfropfen aus CO<sub>2</sub>-Schnee sich plötzlich lockert, z. B. durch Schläge gegen den Entnahmeschlauch, entspannt sich die gestaute CO<sub>2</sub>-Flüssigkeit schlagartig. Dabei können durch Herumschlagen oder Platzen des Entnahmeschlauches Personen verletzt oder Sachen beschädigt werden. **Achtung:** Ein vereistes Flaschenventil lässt sich eventuell nicht mehr sicher schliessen. Aus Sicherheitsgründen muss solange gewartet werden, bis das Ventil wieder aufgetaut ist. Es darf auf keinen Fall eine Flaschenkappe aufgedreht werden, weil diese durch Trockeneis- bzw. Schneebildung unter Druck geraten kann und beim Handling eine hohe Verletzungsgefahr besteht.
- Eine ganz spezielle Gefahr kann entstehen, wenn CO<sub>2</sub> benutzt wird, um brennbare Gase oder Dämpfe zu inertisieren. In einem strömenden Gemisch aus CO<sub>2</sub>-Gas/CO<sub>2</sub>-Schnee können sich die „Schneeflocken“ elektrostatisch aufladen und durch Entladungsfunken ein explosionsfähiges Gas/Luft-Gemisch zünden. Deshalb darf CO<sub>2</sub> keinesfalls direkt in eine Wolke brennbaren Gases oder Dampfes geblasen werden. Dieser wichtige Hinweis gilt für CO<sub>2</sub> Flaschen mit oder ohne Steigrohr.

⇒ Kohlendioxid gasförmig



CO<sub>2</sub>-Flasche für gasförmige Entnahme (ohne Steigrohr)

Bei einer CO<sub>2</sub>-Flasche ohne Steigrohr wird Kohlendioxid direkt aus dem Kopf der Gasflasche entnommen. Beim Öffnen des Flaschenventils vermindert sich der Druck in der Gasflasche. CO<sub>2</sub> verdampft aus der Flüssigphase ständig nach und strömt gasförmig aus.

Die folgenden Punkte müssen bei der gasförmigen Anwendung berücksichtigt werden:

- CO<sub>2</sub>-Flaschen ohne Steigrohr müssen zur Gasentnahme mit einem Druckminderer betrieben werden, um den Druck auf das für den Anwendungszweck zulässige Mass zu reduzieren.
- Auch CO<sub>2</sub>-Flaschen ohne Steigrohr müssen zur Gasentnahme aufrecht stehend betrieben werden. Aus einer liegenden Flasche würde flüssiges CO<sub>2</sub> ausströmen, was zum Verstopfen der Entnahmeverrichtung mit CO<sub>2</sub>-Schnee führen könnte.
- Die Entnahmegeschwindigkeit aus CO<sub>2</sub>-Flaschen ohne Steigrohr ist begrenzt, weil das CO<sub>2</sub> aus der Flüssigphase verdampfen muss. Hierzu wird aus der Umgebung Wärme aufgenommen, d. h. die Gasflasche und vor allem das Ventil können durch die Abkühlung vereisen. Damit wird die Bedienbarkeit des Ventils in Frage gestellt. Um das zu vermeiden, sind bei grösserem CO<sub>2</sub>-Bedarf mehrere Gasflaschen parallel zu betreiben oder die Gasflasche ist mit warmem Wasser (nicht über 50°C) anzuwärmen. Keinesfalls darf die Gasflasche mit einer Flamme angewärmt werden.



## Massnahmen am Arbeitsplatz

Folgende Sicherheitsmassnahmen sind zweckmässig:

- Informieren sie ihre Mitarbeitenden über die besonderen Gefahren von CO<sub>2</sub>.
- Mitarbeitende die im Bereich von CO<sub>2</sub>-Anwendungen arbeiten, sind entsprechen zu schulen und zu instruieren, damit diese Alarme und Feststellungen richtig interpretieren können.
- Erstellen einer detaillierten Stellenbeschreibung und Gefahrenanalyse, für Bereiche wo Kohlendioxid verwendet wird.
- CO<sub>2</sub>-Anlagen sind dicht zu halten, allfällige Lecks sind unverzüglich abzudichten.
- CO<sub>2</sub>-Abgase aus einer anwendungstechnischen Anlage oder aus einem Sicherheitsventil sind ins Freie abzuleiten.
- Räume mit CO<sub>2</sub>-Anlagen müssen eine wirksame Lüftung haben, besonders in den unteren Ebenen. Diese Lüftungsanlagen müssen regelmässig kontrolliert und gewartet werden.
- In Räumen mit CO<sub>2</sub>-Anlagen ist ein Kohlendioxid-Überwachungs- und Alarmsystem zu installieren. Die Überwachungs- und Alarmsysteme sind regelmässig zu kontrollieren, periodisch ist durch die Errichterfirma eine Wartung durchzuführen.
- Bei einem plötzlichen CO<sub>2</sub>-Austritt sind vor allem tief gelegene Räume (Gruben, Keller) sofort zu verlassen, weil hier die Gefahr der CO<sub>2</sub>-Ansammlung besonders gross ist.
- Räume, in denen sich grössere Mengen CO<sub>2</sub> angesammelt haben, dürfen nur mit umluftunabhängigem Atemgerät betreten werden. Das gilt auch, wenn in dem Raum Personen verunglückt sind und dringend Hilfe benötigen.
- Stationäre CO<sub>2</sub>-Löschanlagen dürfen zur Prüfung oder im Ernstfall nur in Betrieb gesetzt werden, wenn sich in dem gefährdeten Bereich keine Personen aufhalten. Wenn das Kohlendioxid durch Kanäle, Wandöffnungen, Lüftungs- oder Klimaanlage in andere Räume gelangen kann, zählen auch diese zu dem gefährdeten Bereich.

## Schlussbemerkung

Kohlendioxid in allen seinen Erscheinungsformen kann für vielfältige Zwecke angewendet werden. Es kommt darauf an, seine Eigenschaften richtig zu nutzen, um die erwünschten Effekte zu erreichen und Gefahren auszuschliessen

Quellennachweis:

- EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION (EIGA) / Safety Info 24/11/E
- Linde Sicherheitshinweise / 12 – Umgang mit Kohlendioxid CO<sub>2</sub>