



12/03.03/8459/0

### Vorbemerkung

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.

In der Praxis wird Kohlendioxid häufig als Kohlensäure bezeichnet. In diesen Sicherheitshinweisen wird der Ausdruck „Kohlensäure“ nur gebraucht, wo die wässrige Lösung des Kohlendioxids ( $\text{CO}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$ ) gemeint ist.

### Eigenschaften

#### Chemische Eigenschaften

Kohlendioxid ist unbrennbar und unter atmosphärischen Bedingungen chemisch stabil und reaktionsträge. Verbrennungsreaktionen werden durch  $\text{CO}_2$  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.

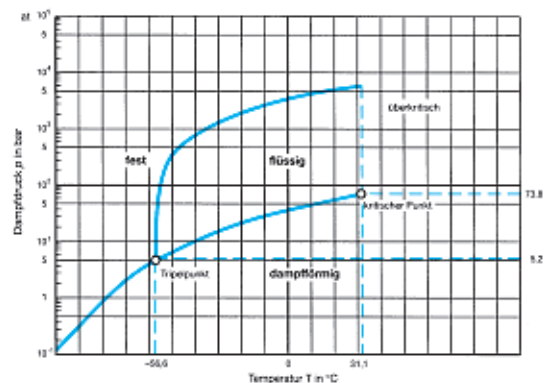
#### Physikalische Eigenschaften

Kohlendioxid ist als Gas bei atmosphärischen Bedingungen etwa 1,5 mal so schwer wie Luft. Deshalb fließt  $\text{CO}_2$  vorrangig nach unten und kann sich in Gruben, Kellerräumen oder Geländesenken ansammeln. Bei geringer Luftbewegung können sich derartige  $\text{CO}_2$  Ansammlungen über viele Stunden halten.

#### Besondere Aufmerksamkeit erfordern die von Druck und Temperatur abhängigen Aggregatzustände:

- Bei atmosphärischen Bedingungen ist  $\text{CO}_2$  gasförmig.
- Bei Temperaturen zwischen  $-56,6$  und  $+31,1^\circ\text{C}$  und Drücken von mindestens 5,2 bar kann  $\text{CO}_2$  in flüssiger Form vorliegen. Bei atmosphärischem Druck (1 bar) kann flüssiges  $\text{CO}_2$  nicht existieren.
- Bei Temperaturen unter  $-56,6^\circ\text{C}$  kann  $\text{CO}_2$  im festen Zustand vorliegen.
- Nur am sogenannten Tripelpunkt ( $-56,6^\circ\text{C}$ , 5,2 bar) sind alle drei Aggregatzustände möglich.

### Aggregatzustände im Zusammenhang mit Druck und Temperatur



#### Die Aggregatzustände können sich leicht ändern:

In der Gasflasche befindet sich  $\text{CO}_2$  im flüssigen Zustand, d.h. „unter Druck verflüssigt“. Der Druck der Flüssigkeit in der Gasflasche beträgt bei  $20^\circ\text{C}$  ca. 57 bar. Wenn man aus der Gasflasche  $\text{CO}_2$  mit einem Druckminderer entnimmt, dessen Hinterdruck unter 5,2 bar eingestellt ist, erhält man gasförmiges  $\text{CO}_2$ . Dabei entstehen aus 1 kg Flüssigkeit beim Entspannen auf Atmosphärendruck etwa 550 Liter Gas.

Unter bestimmten Bedingungen kann man  $\text{CO}_2$  aus der Gasflasche in flüssiger Form entnehmen (vgl. Abschnitt 3). Wird flüssiges  $\text{CO}_2$  bei der Entnahme plötzlich entspannt, so kühlt es sich intensiv ab, wobei ein Gemisch aus  $\text{CO}_2$  Gas und  $\text{CO}_2$  Schnee entsteht.

#### Physiologische Wirkungen

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 0,03 Vol.-% Kohlendioxid. Diese Konzentration ist lebensnotwendig, weil sie unser Atemzentrum anregt und Atemvolumen und -geschwindigkeit steuert. In höheren Konzentrationen kann  $\text{CO}_2$  die Gesundheit schädigen. Bei 3–5 Vol.-%  $\text{CO}_2$  in der Atemluft kommt es zu Kopfschmerzen, Atemstörungen und Unwohlsein. Bei 8–10 Vol.-% können Krämpfe, Ohnmacht, Atemstillstand und Tod eintreten. Der Sauerstoffgehalt der Atemluft beträgt dabei noch ca. 19 Vol.-% und wäre damit ausreichend.

Die schädliche physiologische Wirkung derartiger CO<sub>2</sub> Konzentrationen entsteht also nicht durch Sauerstoffmangel sondern durch direkte Wirkung des Kohlendioxids. Aus diesem Grund ist für CO<sub>2</sub> eine maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von 0,5 Vol.-% festgelegt.

Kohlendioxid kann den Menschen außerdem durch Kältewirkung schädigen. Wenn tiefkalt verflüssigtes CO<sub>2</sub> oder durch Entspannung abgekühltes CO<sub>2</sub> als Spritzer oder als Schnee auf die menschliche Haut trifft, können schmerzhaft „Kaltverbrennungen“ entstehen. Empfindliche Körpergewebe, wie z.B. die Augenhornhaut, sind besonders gefährdet. Kaltverbrennungen größeren Ausmaßes sind lebensgefährlich. (Siehe hierzu Linde-Sicherheitshinweise Nr. 1, „Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen“).  
Eigenschaften von Trockeneis

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 verdampft („sublimiert“) rückstandsfrei zu gasförmigen 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.

## Sicherheitsmaßnahmen

### Gesundheitsschutz

Das Einatmen von CO<sub>2</sub> in konzentrierter Form ist für den Menschen gefährlich. Deshalb darf CO<sub>2</sub> nicht in größerer Konzentration in der Atemluft enthalten sein. Folgende Sicherheitsmaßnahmen sind zweckmäßig:

- CO<sub>2</sub> Anlagen sind dicht zu halten. Lecks sind unverzüglich abzudichten.
- CO<sub>2</sub> Abgas aus einer anwendungstechnischen Anlage oder aus einem Sicherheitsventil ist ins Freie abzuleiten.
- Räume mit CO<sub>2</sub> Anlagen müssen eine wirksame Lüftung haben.
- 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.
- Bei einem plötzlichen CO<sub>2</sub> Austritt sind vor allem tiefelegene Räume (Gruben, Keller) sofort zu verlassen, weil hier die Gefahr der CO<sub>2</sub> Ansammlung besonders groß ist.
- 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.

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

Wichtige Ratschläge für den Umgang mit Gasflaschen aller Art geben die Linde-Sicherheitshinweise Nr. 7 „Sicherer Umgang mit Gasflaschen und Flaschenbündeln“ und Nr. 8 „Über das (Um-) Füllen von Gasflaschen“.

Für CO<sub>2</sub> Flaschen ist darüber hinaus folgendes zu beachten:

Das nichtautorisierte Umfüllen von Kohlendioxid aus einer Gasflasche in eine andere ist aus folgenden Gründen sicherheitstechnisch riskant: Gasflaschen, die gefüllt werden sollen, 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. Nach 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



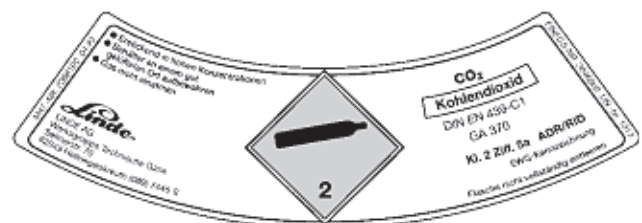
kann bereits bei Erwärmung durch Sonneneinstrahlung bersten. Es wird dringend davon abgeraten, Kohlendioxid umzufüllen.

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 Flüssigphase enthält, bei 20°C 57 bar. Das bedeutet: 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 ggf. getrocknet werden.

Aber 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.

Um Feuchtigkeit aus CO<sub>2</sub> Flaschen fernzuhalten, gibt es eine weitere, sehr simple Sicherheitsmaßnahme: CO<sub>2</sub> Flaschen sollten 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.

## Entnahme aus CO<sub>2</sub> Steigrohrflaschen

CO<sub>2</sub> Steigrohrflaschen haben im Inneren ein Steig- oder Tauchrohr, das vom Flaschenventil bis dicht über den Flaschenboden reicht. Aus einer Steigrohrflasche wird – solange sie aufrecht steht – CO<sub>2</sub> zwangsläufig 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. 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, dem Anwendungszweck entsprechend, 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. Es wäre z.B. lebensgefährlich, wenn eine CO<sub>2</sub> Steigrohrflasche mit oder ohne Druckminderer an ein Bierfaß angeschlossen würde. Das Bierfaß könnte dem Druck der verdampfenden CO<sub>2</sub> Flüssigkeit keinesfalls standhalten und würde bersten.
- Absperrbare Rohrabschnitte für flüssiges CO<sub>2</sub> müssen mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet sein.



- Wenn aus einer Steigrohrflasche flüssiges 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 sollten zumindest 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.

- 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.

## Entnahme aus CO<sub>2</sub> Flaschen ohne Steigrohr

Bei CO<sub>2</sub> Flaschen ohne Steigrohr wird Kohlendioxid 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. Ein wichtiges Anwendungsgebiet der CO<sub>2</sub> Flaschen ohne Steigrohr ist z.B. der Getränkeschankbetrieb.

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. 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 Entnahmeeinrichtung 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 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.

## Umgang mit Trockeneis

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 für den menschlichen Körper schlimme Folgen haben. Trockeneis darf auch 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 solchen Fahrzeugaufbauten transportiert werden, die vom Fahrerhaus bzw. Fahrgastraum gasdicht getrennt sind.

## 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. Unsere Gasespezialisten können Ihnen sagen, wie das zu tun ist.

## Kompetenz vor Ort.

Gase von Linde sind weltweit im Einsatz - sei es in der metallverarbeitenden Industrie, der chemischen Industrie, der Metallurgie oder Nahrungsmittelindustrie, in der Medizin, der Umwelt- und Wasserstofftechnologie oder wenn Spezialgase benötigt werden

Unsere erfahrenen Spezialisten beraten gezielt vor Ort, bieten kundenspezifische Hardware und optimieren ihre Verfahrenstechniken. Ein globales Netzwerk mit anwendungstechnischen Lösungen bildet die Basis für unser umfassendes Know-how. So wird der Produktionsfaktor Gas zu einer wichtigen Komponente für die Steigerung der Produktivität.

Linde und AGA präsentieren sich jetzt gemeinsam als Linde Gas - Ihr starker Partner mit noch größeren Ressourcen und umfassender Kompetenz. Unser Ziel: das richtige Gas für die bestmögliche Steigerung Ihrer Produktivität.

**Erfahrung. Kompetenz. Produktivität.**