



Vorbemerkungen

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 (CO₂ in H₂O) gemeint ist.

Eigenschaften

Chemische Eigenschaften

Kohlendioxid ist unbrennbar und unter atmosphärischen Bedingungen chemisch stabil und reaktionsträge. Verbrennungsreaktionen werden durch CO₂ 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 CO₂ vorrangig nach unten und kann sich in Gruben, Kellerräumen oder Geländesenken ansammeln. Bei geringer Luftbewegung können sich derartige CO₂-Ansammlungen über viele Stunden halten.

Besondere Aufmerksamkeit erfordern die von Druck und Temperatur abhängigen Aggregatzustände:

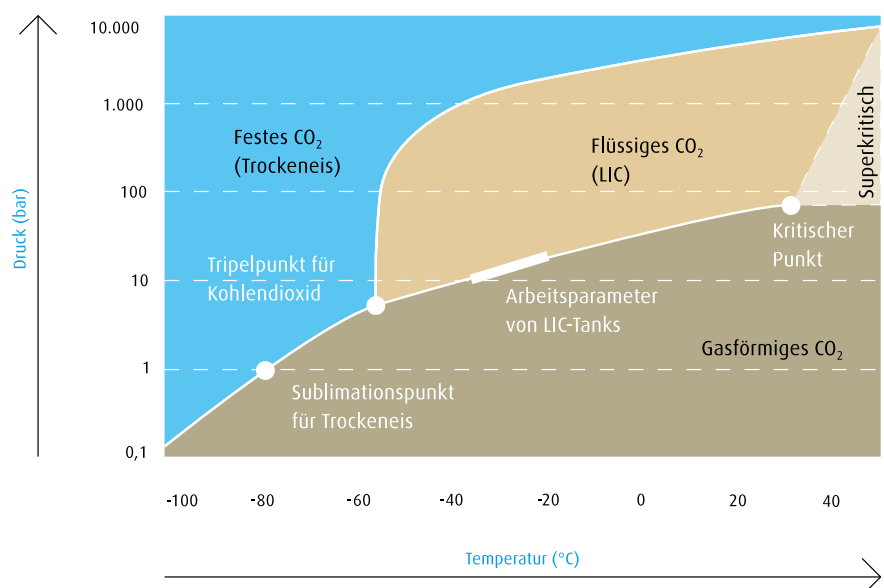
- Bei atmosphärischen Bedingungen ist CO₂ gasförmig.
- Bei Temperaturen zwischen -56,6 und +31,1°C und Drücken von mindestens 5,2 bar kann CO₂ in flüssiger Form vorliegen. Bei atmosphärischem Druck (1 bar) kann flüssiges CO₂ nicht existieren.
- Bei Temperaturen unter -56,6°C kann CO₂ im festen Zustand vorliegen.
- Nur am sogenannten Tripelpunkt (-56,6°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 CO₂ im flüssigen Zustand, d.h. „unter Druck verflüssigt“. Der Druck der Flüssigkeit in der Gasflasche beträgt bei 20°C ca. 57 bar.

Aggregatzustände im Zusammenhang mit Druck und Temperatur



Wenn man aus der Gasflasche CO₂ mit einem Druckminderer entnimmt, dessen Hinterdruck unter 5,2 bar eingestellt ist, erhält man gasförmiges CO₂. Dabei entstehen aus 1 kg Flüssigkeit beim Entspannen auf Atmosphärendruck etwa 550 Liter Gas. Unter bestimmten Bedingungen kann man CO₂ aus der Gasflasche in flüssiger Form entnehmen (vgl. Abschnitt 3). Wird flüssiges CO₂ bei der Entnahme plötzlich entspannt, so kühlt es sich intensiv ab, wobei ein Gemisch aus CO₂-Gas und CO₂-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 CO₂ die Gesundheit schädigen. Bei 3 - 5 Vol.-% CO₂ 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.



Achtung Erststickungsgefahr

Die schädliche physiologische Wirkung derartiger CO₂-Konzentrationen entsteht also nicht durch Sauerstoffmangel, sondern durch direkte Wirkung des Kohlendioxids. Aus diesem Grund ist für CO₂ eine maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration (AGW-Wert) von 0,5 Vol.-% festgelegt.

Kohlendioxid kann den Menschen außerdem durch Kältewirkung schädigen. Wenn tiefkalt verflüssigtes CO₂ oder durch Entspannung abgekühltes CO₂ als Spritzer oder als 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 (siehe hierzu Linde-Sicherheitshinweise 1 – „Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen“).

Eigenschaften von Trockeneis

Trockeneis besteht aus zusammengepresstem CO₂-Schnee, der durch Entspannen von flüssigem CO₂ 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 gasförmigem Kohlendioxid (daher der Name „Trockeneis“). Aus 1 kg Trockeneis entstehen je nach Umgebungstemperatur erhebliche Mengen an CO₂-Gas – etwas mehr als 0,5 m³. Deshalb kann ein erheblicher Druckanstieg entstehen, wenn Trockeneis in einem gasdichten Behälter verdampft (siehe dazu Linde-Sicherheitshinweise 9 – „Umgang mit Trockeneis“).

Sicherheitsmaßnahmen

Gesundheitsschutz

Das Einatmen von CO₂ in konzentrierter Form ist für den Menschen gefährlich. Deshalb darf CO₂ nicht in größerer Konzentration in der Atemluft enthalten sein. Folgende Sicherheitsmaßnahmen sind zweckmäßig:

- CO₂-Anlagen sind dicht zu halten. Lecks sind unverzüglich abzudichten.
- CO₂-Abgas aus einer anwendungstechnischen Anlage oder aus einem Sicherheitsventil ist ins Freie abzuleiten.
- Räume mit CO₂-Anlagen müssen eine wirksame Lüftung haben.
- Räume, in denen sich größere Mengen CO₂ 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 CO₂-Austritt sind vor allem tiefelegene Räume (Gruben, Keller) sofort zu verlassen, weil hier die Gefahr der CO₂-Ansammlung besonders groß ist.
- Stationäre CO₂-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 zum gefährdeten Bereich.

Umgang mit CO₂-Flaschen

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

Für CO₂-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 Wiegen während des Füllens unbedingt notwendig. Nach der Druckbehälterverordnung dürfen maximal 0,75 kg CO₂ pro Liter Flaschenvolumen eingefüllt werden. Mit diesem Füllfaktor ist gewährleistet, dass der Druck in der CO₂-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 CO₂-Flasche kann bereits

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

Der Druck in einer CO₂-Flasche hängt nur von der Temperatur ab. Er beträgt z. B. bei 20°C 57 bar. Auch eine fast leere CO₂-Flasche hat, solange sie Flüssigphase enthält, bei 20°C 57 bar. Das bedeutet, der Füllzustand einer CO₂-Flasche kann nicht durch Messen des Druckes sondern nur durch Wiegen festgestellt werden.

CO₂-Flaschen bestehen im allgemeinen aus Kohlenstoffstahl. Dieser wird durch Kohlensäure (CO₂ in H₂O) korrodiert, was zu einer gefährlichen Festigkeitsminderung führen kann. Deshalb müssen Wasser oder wässrige Flüssigkeiten (Bier, Limonade) aus CO₂-Flaschen ferngehalten werden. Im Füllbetrieb müssen CO₂-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 CO₂ Flasche eindringt. Eine mögliche Schutzmaßnahme ist die Installation einer Rückströmsperre.

Um Feuchtigkeit aus CO₂-Flaschen fernzuhalten, gibt es eine weitere, sehr einfache Sicherheitsmaßnahme. CO₂-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 CO₂-Flasche eindringt.

CO₂-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 CO₂ zu vermeiden.

Entnahme aus CO₂-Steigrohrflaschen

CO₂-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 – CO₂ zwangsläufig in flüssiger Form entnommen.

Folgende Besonderheiten sind bei der Anwendung zu berücksichtigen:

- CO₂-Steigrohrflaschen werden durch den Füllbetrieb eindeutig als solche gekennzeichnet. Sie haben vertikale Längsmarkierungen am Flaschenkörper und weisen einen eindeutigen Hinweis „Achtung Steigrohrflasche“ auf. Der Anwender muss bewusst zur Kenntnis nehmen, dass er es mit einer CO₂-Steigrohrflasche zu tun hat.
- CO₂-Steigrohrflaschen dürfen nur verwendet werden, wenn die Entnahme von flüssigem Kohlendioxid beabsichtigt ist.

- CO₂-Steigrohrflaschen dürfen nicht mit einem Druckminderer ausgerüstet werden, weil das flüssige Kohlendioxid infolge des Druckabfalls zu CO₂-Schnee erstarren und den Druckminderer blockieren und unwirksam machen würde.
 - CO₂-Steigrohrflaschen müssen bei der Entnahme aufrecht stehen, damit die Öffnung des Tauchrohrs unter dem CO₂-Flüssigkeitsspiegel bleibt. Nur unter dieser Voraussetzung kann nahezu der gesamte Inhalt der Flasche, dem Anwendungszweck entsprechend, flüssig entnommen werden.
 - Aus einer CO₂-Steigrohrflasche wird das flüssige Kohlendioxid mit dem vollen Flaschendruck entnommen. Die Entnahmeeinrichtung muss dementsprechend druckfest und für flüssiges CO₂ geeignet sein. Es wäre z.B. lebensgefährlich, wenn eine CO₂-Steigrohrflasche mit oder ohne Druckminderer an ein Bierfass angeschlossen würde. Das Bierfass könnte dem Druck der verdampfenden CO₂-Flüssigkeit keinesfalls standhalten und würde bersten.
 - Absperrbare Rohrabschnitte für flüssiges CO₂ müssen mit einem Sicherheitsventil ausgerüstet sein.
 - Wenn aus einer Steigrohrflasche flüssig entnommenes Kohlendioxid auf Atmosphärendruck entspannt wird, entsteht CO₂-Schnee. Deshalb werden Steigrohrflaschen vor allem dann angewendet, wenn CO₂-Schnee benötigt wird – z. B. zur Kühlung von Lebensmitteln.
 - CO₂-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 CO₂-Schnee kann die Entnahmevorrichtung verstopfen. Wenn ein Pfropfen aus CO₂-Schnee sich plötzlich lockert, z. B. durch Schläge gegen den Entnahmeschlauch, entspannt sich die gestaute CO₂-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 CO₂ benutzt wird, um brennbare Gase oder Dämpfe zu inertisieren. In einem strömenden Gemisch

aus CO₂-Gas/CO₂-Schnee können sich die „Schneeflocken“ elektrostatisch aufladen und durch Entladungsfunken ein explosionsfähiges Gas/Luft-Gemisch zünden. Deshalb darf CO₂ keinesfalls direkt in eine Wolke brennbaren Gases oder Dampfes geblasen werden. Dieser wichtige Hinweis gilt für CO₂ Flaschen mit oder ohne Steigrohr.



Entnahme aus CO₂-Flaschen ohne Steigrohr

Bei CO₂-Flaschen ohne Steigrohr wird Kohlendioxid aus dem Kopf der Gasflasche entnommen. Beim Öffnen des Flaschenventils vermindert sich der Druck in der Gasflasche. CO₂ verdampft aus der Flüssigphase ständig nach und strömt gasförmig aus. Ein wichtiges Anwendungsgebiet der CO₂-Flaschen ohne Steigrohr ist z. B. der Getränkeschankbetrieb.

CO₂-Flaschen ohne Steigrohr müssen zur Gasentnahme mit einem Druckminderer betrieben werden, um den Druck auf das für den Anwendungszweck zulässige Maß zu reduzieren. CO₂-Flaschen ohne Steigrohr müssen zur Gasentnahme aufrecht stehend betrieben werden. Aus einer liegenden Flasche würde flüssiges CO₂ ausströmen, was zum Verstopfen der Entnahmevorrichtung mit CO₂-Schnee führen könnte. Die Entnahmegeschwindigkeit aus CO₂-Flaschen ohne Steigrohr ist begrenzt, weil das CO₂ aus der Flüssigphase verdampfen muss.



Warnung vor Kälte

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 CO₂-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 CO₂ 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 CO₂ durch ausreichende Lüftung abgeführt wird.
- Trockeneis darf nur in solchen Fahrzeugladeräumen 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.

Linde Gas GmbH

Carl-von-Linde-Platz 1, 4651 Stadl-Paura
Telefon 050.4273, Fax 050.4273-1900, www.linde-gas.at

Mit LIPROTECT® unterstützen wir unsere Kunden bei der Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben. Ob Sicherheitsschulung, Wartung oder Gefährdungsbeurteilung, Linde hilft Ihnen gerne weiter. Rufen Sie uns unverbindlich an oder informieren Sie sich im Internet unter www.linde-gas.at/sicherheit