

Kohlendioxid

Ohne CO₂ kein Leben, keine Zivilisation,
keine Zukunft



Der Wallende Born („Brubbel“), ein Kaltwassergeysir in der Eifel, beruht auf dem Austritt von Kohlendioxid, © Karl Maas

Kohlendioxid (CO₂) ...

... ist von je her in wechselnden Konzentrationen ein natürlicher Bestandteil unserer Luft. Es ist farblos, nicht brennbar, mit sehr schwach säuerlichem Geruch und etwa 1,5-mal schwerer als Luft. Das für die Karbonisierung von Getränken eingesetzte CO₂ wird häufig mit Kohlensäure (H₂CO₃) gleichgesetzt. Der überwiegende Anteil des CO₂ wird jedoch physikalisch gelöst, chemisch gebildete Kohlensäure entsteht nur in geringem Maße.



Historisches

Bereits im Römischen Reich wurde Kohlendioxid als Heilmittel eingesetzt. Heutzutage würde in diesem Zusammenhang sicherlich das Stichwort „Wellness“ fallen, denn lange bevor das Gas selbst bekannt war, nahmen Römer CO₂-haltige Bäder zur Verbesserung der Durchblutung.

Johan Baptista van Helmont isolierte um 1600 das Kohlendioxid und nannte es „gas sylvestre“, um 1780 prägte Antoine Laurent de Lavoisier die Bezeichnung „acide-carbonique“ (Kohlensäure), nachdem er die Zusammensetzung des Gases entdeckt hatte. 1823 gelang Michael Faraday die Verflüssigung von CO₂. In Deutschland begann 1877 die Verflüssigung und industrielle Nutzung durch den Gymnasiallehrer Dr. Wilhelm Carl Raydt.

Eigenschaften

Kohlendioxid ist aufgrund seiner Reaktionsträgheit nahezu inert, weist eine hohe Löslichkeit in Wasser auf und ist im sogenannten überkritischen Zustand (Druck > 74 bar, Temperatur > 31 °C) ein hervorragendes Lösemittel.

Bei Atmosphärendruck existiert Kohlendioxid nur als Gas oder in fester Form als Trockeneisschnee (Sublimationspunkt bei -78,5 °C). Für den flüssigen Zustand muss CO₂ unter einem Druck von mehr als 5,18 bar stehen.

Beim Entspannen von 1 kg dieser Flüssigkeit entstehen jeweils etwa 0,5 kg Trockeneisschnee mit einem Kältepotenzial von etwa -285 kJ und etwa 0,5 kg Kohlendioxid-Gas.

Trockeneis schmilzt unter Normalbedingungen nicht, sondern sublimiert, d. h. es geht direkt vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand über. CO₂ wirkt bakterio- und fungistatisch, hat also eine hemmende Wirkung auf Bakterien und Schimmelpilze.

Ohne CO₂ kein Leben

Kohlendioxid ist für das Leben auf unserem blauen Planeten unentbehrlich. Als Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufs zirkuliert das Gas zwischen Atmosphäre, Ozeanen und Kontinenten. Wichtige Kohlenstoffspeicher sind Carbonatgesteine, fossile Energieträger sowie die Ozeane. Grüne Pflanzen nehmen CO₂ auf und pro-

duzieren mit Hilfe von Sonnenlicht daraus Nährstoffe (Photosynthese) für ihren Energiebedarf.

Gemeinsam mit Wasserdampf und anderen Spurengasen bewirkt Kohlendioxid den sogenannten Treibhauseffekt. Dabei lässt die Atmosphäre das sichtbare Licht der Sonne ungehindert passieren, absorbiert aber die Rückstrahlung der Erdoberfläche im infraroten Bereich, so dass sich die Atmosphäre erwärmt. Dadurch liegt die Durchschnittstemperatur der Erde statt bei -18 °C bei angenehmen +15 °C. Dieser sogenannte natürliche Treibhauseffekt ermöglicht erst das Leben auf der Erde. Menschliche Aktivitäten wie die Abholzung der Wälder, insbesondere des tropischen Regenwaldes, und industrielle Verbrennungsprozesse fossiler Brennstoffe führen zu einem zusätzlichen Anstieg von Spurengasen (neben CO₂ auch Methan, Ozon, Lachgas, Ammoniak und halogenierte Kohlenwasserstoffe) in der Atmosphäre und sind die Ursache für den anthropogenen Treibhauseffekt.



Kein Gramm extra

Air Liquide vertreibt hauptsächlich CO₂, das bei der Herstellung anderer Produkte quasi als Nebenprodukt anfällt. Damit ist sichergestellt, dass nur bereits vorhandenes CO₂ einem sinnvollen, oft umweltfreundlichen Sekundärnutzen zugeführt und dadurch teilweise sogar die Herstellung anderer Chemikalien vermieden wird. Hinzu kommt Kohlendioxid aus natürlichen Vorkommen.

Chemische Prozesse

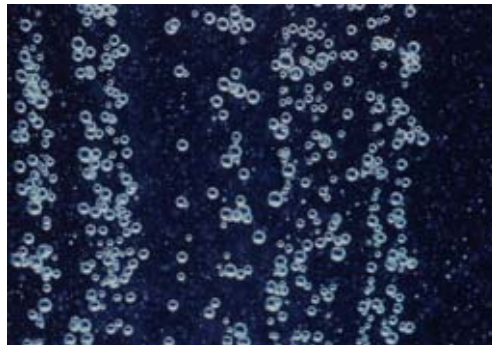
Kohlendioxid entsteht beim Verbrennen fossiler Brennstoffe zur Energiegewinnung, bei der alkoholischen Gärung (so fallen z. B. bis zu 3,5 kg CO₂ je Hektoliter Bier an), beim Kalkbrennen sowie als Nebenprodukt weiterer chemischer Prozesse. Zu letzteren gehören die Ammoniaksynthese etwa zur Düngerproduktion, das Steam Reforming zur Herstellung von Wasserstoff oder Synthesegas, die Ethylenoxid-Erzeugung (als Vorprodukt z. B. für PET) sowie die Schwerölgasung zur Brennstoffgewinnung für Kraftwerke. Das CO₂ wird dabei durch chemische und physikalische Wäschen gewonnen. Weitere Quellen sind Fermentationsprozesse wie beispielsweise die Herstellung des alternativen Kraftstoffs Bioethanol aus nachwachsenden Rohstoffen.

Natürliche Quellen

Kohlendioxid wird im Stoffwechsel von Lebewesen bei der Zellatmung (z. B. beim Menschen 0,7-1 kg/Tag) und bei der Zersetzung organischer Substanzen gebildet. Aktive und auch erloschene Vulkane sind eine weitere natürliche Quelle für CO₂. Hier werden zwei Varianten unterschieden: CO₂ strömt als reines Gas aus dem Boden – dann handelt es sich um eine sogenannte Mofette.



Die CO₂-Fördermengen reichen von 50 kg bis zu mehreren Tonnen pro Stunde.



Weiterverarbeitung

Das aus den chemischen Prozessen anfallende Rohgas hat im Allgemeinen eine Reinheit von mehr als 95 %. Nach Abtrennen von gasförmigen Verunreinigungen und Feuchte erfolgt die Verdichtung. Das verdichtete CO₂-Gas besitzt dann eine Reinheit von über 99 %. Nach weiteren Reinigungsschritten schließt sich die Trocknung über Molekularsieve und die Verflüssigung an. Die CO₂-Verflüssigung findet bei Verdichtungsdrücken zwischen 14 und 20 bar und Temperaturen von -40 bis -25 °C statt.

Air Liquide betreibt weltweit mehr als 50 solcher Verflüssiger. Das verflüssigte Gas wird anschließend in isolierte Lagertanks oder Druckgaszylinder abgefüllt.

Trifft unterirdisch aufsteigendes CO₂ dagegen auf Grundwasser, so bildet sich Kohlensäure, die wiederum Mineralien aus dem umliegenden Gestein löst, so dass Mineralwasser entsteht. In Deutschland sind solche Kohlensäurequellen in der Eifel, am Mittelrhein, in Ostwestfalen, in der Rhön, in Oberfranken und im Ostschwarzwald / Schwäbische Alb zu finden. Hier sind etwa 500 Quellen mit kohlensäurehaltigem Wasser bekannt.



Multitalent für sprudelnde Ideen ...



... und ein Gas mit vielen Facetten. Das macht es vielseitig einsetzbar – für Frische und Qualität von Lebensmitteln genauso wie für eine umweltschonende Wasserbehandlung. Entdecken Sie mehr ...

Multitalent oder „Bösewicht“?

Kohlendioxid ermöglicht aufgrund seiner besonderen Eigenschaften eine ganze Reihe von Anwendungen und bietet dabei oft eine umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Verfahren.



Getränke: Etwa 10 % der weltweit für industrielle Anwendungen produzierten CO₂-Menge gehen in die Getränkeindustrie, da viele Getränke, die entweder keine oder nicht genügend eigene Kohlensäure enthalten, karbonisiert, d. h. mit Kohlendioxid versetzt werden. Die Kohlensäure stimuliert die Geschmackssinneszellen auf der Zunge und das Getränk schmeckt frischer. Zudem fördert die Kohlensäure den Speichelfluss, der wiederum den Mundraum von Speiseresten befreit, die zu Karies führen können.



Kohlendioxid dient zudem in Schankanlagen als Zapfgas, um die Getränke einerseits zum Ausschank zu fördern und andererseits den bereits vorhandenen Kohlensäureanteil aufrechtzuerhalten.

Frosten und Kühlen von Lebensmitteln: Aufgrund der tiefen Temperatur von nahezu -79 °C ist Kohlendioxid ein Kühlmittel mit hohem Kälteinhalt. Es eignet sich vor allem zum Frosten hochwertiger Lebensmittel, bei denen durch schnelles Gefrieren eine bessere Weiterverarbeitung oder eine optimale Qualität auch nach dem Auftauen entscheidend ist. So lässt sich beispielsweise Schinken durch Anfrosten seiner Oberfläche leichter, schneller und exakter schneiden (slicen). Oder Teig für Backwaren gelingt gleichmäßiger und seine Temperatur lässt sich exakt steuern, wenn er mit Kohlendioxid gekühlt wird.

Verpacken unter Schutzatmosphäre: Schutzgase verdrängen den für die meisten Lebensmittel schädlichen Luftsauerstoff in der Verpackung.

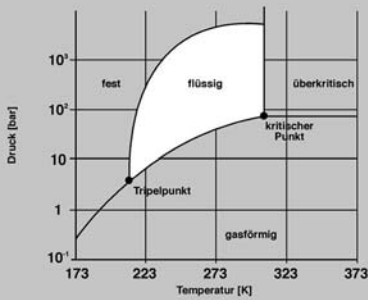
Kohlendioxid hemmt zudem das Wachstum von Bakterien und Schimmelpilzen und verlängert so die Haltbarkeit verpackter Lebensmittel.

Transportkühlung von Lebensmitteln: Gekühlte Lebensmittel dürfen per Gesetz auch während des Transports eine maximal zulässige Temperatur nicht überschreiten. Die Alternative zum Kühl-Lkw sind gekühlte Isoliercontainer. Dazu wird flüssiges CO₂ in einen in den Container integrierten Vorratsbehälter gedüst, durch die Druckabsenkung entsteht Trockeneisschnee, der die Ware kontrolliert kalt hält. Das gleiche Prinzip kommt bei Speiseverteilwagen für Kliniken, Seniorenheime und auch für die Verpflegung von Fluggästen zum Einsatz.

Kühltheken im Supermarkt: Das bisher verwendete Kältemittelgemisch R 404A schädigt das Klima rund 3.300 Mal stärker als CO₂. Daher empfiehlt das Umweltbundesamt den Einsatz von Kohlendioxid als umweltfreundlichem Kühlmittel, wodurch sich nach Schätzungen die dabei durch Energieverbrauch und Kältemittlemissionen verursachten Effekte auf den Treibhauseffekt halbieren ließen.

Gewächshäuser: Für die Photosynthese von Pflanzen ist CO₂ unentbehrlich. In Gewächshäusern entsteht aber vor allem durch den verringerten Luftaustausch im Winter ein Defizit. Ein Anreichern der Atmosphäre mit

Gasförmiges CO₂ ...



... wird in Druckgasflaschen vertrieben, deren Schulter EU-weit einheitlich grau lackiert ist. In der Gasflasche liegt CO₂ unter Druck verflüssigt vor, die Entnahme erfolgt gasförmig über eine Druckreduzierung. Dafür muss die Gasflasche immer aufrecht stehen und gegen Umfallen gesichert sein.

Kohlendioxid sorgt dafür, dass mehr pflanzliche Substanz gebildet wird. Auch die Qualität verbessert sich: größere, besser geformte und kräftiger gefärbte Blüten, längere und dickere Stängel, schnellere Bewurzelung bei Stecklingen, erhöhte Widerstandskraft gegenüber Krankheiten und dadurch beispielsweise geringerer Pilzbefall.



(Tetrafluorethan) mit einem Treibhauspotenzial (GWP-Wert, GWP = Greenhouse Warming Potential) von 1.300 zum Einsatz. Ab 2011 verbietet eine EU-Richtlinie Kältemittel mit einem GWP von mehr als 150 (s. Tab.). Ziel ist es, dieses Kältemittel durch Kohlendioxid zu ersetzen, das einen GWP von 1 hat und nicht zur Schädigung der Ozonschicht beiträgt.



Aufhärten von Trinkwasser: Sehr weiches Wasser z. B. aus Talsperren muss bei der Trinkwasseraufbereitung aufgehärtet werden. Hierbei ist CO₂ unverzichtbar, durch das die erforderlichen Härtebildner herausgelöst und verfügbar werden.

Schweißen: Beim Metall-Aktivgas-Schweißen schützt CO₂ das flüssige Metall unter dem Lichtbogen vor Oxidation durch den Luftsauerstoff. Das verbessert die Nahtqualität, sorgt für eine bessere Wärmeabfuhr und reichert das Schweißgut mit Kohlenstoff an.

Enthärten von Trinkwasser: Auch die Wasserhärte zu harter Trinkwasser muss durch eine zusätzliche Aufbereitung verringert werden. Hierbei spielt CO₂ eine wichtige, unverzichtbare Rolle bei der Regeneration und der pH-Wert-Einstellung.

Feuerlöscher: CO₂ ist nicht brennbar. In Gasfeuerlöschern ist es Treib- und Löschmittel zugleich. Es hinterlässt keine Rückstände (wie bei Wasser, Pulver oder Schaum) und zerstört das gelöschte Objekt nicht.

Abwasserneutralisation: Der Gesetzgeber fordert für industrielle Abwässer einen pH-Wert zwischen 6,5 und 9,5, bevor diese Abwässer in die Kanalisation bzw. in einen Fluss oder See eingeleitet werden dürfen. Alkalische Abwässer werden vielfach durch starke Mineralsäuren (Salz- und Schwefelsäure) neutralisiert. Die so erzeugte Salzfracht belastet die Abwässer, führt zu Korrosion in Leitungen und erhöht die Neutralsalzkonzentration. CO₂ ist als schwache Säure viel genauer einstellbar und es entstehen keine Neutralsalzfrachten, die unsere Gewässer zusätzlich belasten.

Medizinische Endoskopie: Bei endoskopischen Untersuchungen/Operationen wird Gas eingeleitet, um dem Arzt einen freien Sichtbereich zu schaffen. Bei der Bauchhöhlenspiegelung ersetzt CO₂ die Luft, um einer Embolie vorzubeugen.

Klimatisieren: Als Kältemittel für Fahrzeug-Klimaanlagen, die konstruktionsbedingt hohe Kältemittelverluste aufweisen, kommt derzeit in der Regel noch der fluorierte Kohlenwasserstoff R134a

Stoff	Relatives Treibhaus-Potenzial GWP (bezogen auf 100 Jahre)
Kohlendioxid CO ₂	1
Methan CH ₄	23
Distickstoffoxid N ₂ O (Lachgas)	310
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	bis zu 14.000
Fluorkohlenwasserstoffe (FKW/HFKW)	12-12.000
Tetrafluorethan (R-134a, HFC-134a)	1.300
R 404 (Kältemittelgemisch)	3.300
Schwefelhexafluorid SF ₆	22.200

Flüssiges CO₂ ...

... existiert nur bei Temperaturen zwischen -56,6 und 31 °C und Drücken über 5,18 bar. Um Kohlendioxid flüssig zu entnehmen, kommen Steigrohrflaschen zum Einsatz. Dazu ist in der Flasche ein Steigrohr bis kurz über dem Boden montiert. Hierbei erfolgt die Entnahme immer ohne Druckminderer, daher sind diese Behälter besonders gekennzeichnet.

Kaltmahlen: Viele Roh- und Zwischenprodukte werden in Pulverform benötigt, lassen sich aber nur schlecht mahlen. Beispiele: Thermoplaste, Elastomere, Wachse, Lackzusatzstoffe, Gewürze sowie einige Metalle. Die Mahlwerke verkleben, das Mahlgut verklumpt (agglomeriert) zu größeren Partikeln oder wird thermisch geschädigt und erleidet einen Qualitätsverlust. Beim Kaltmahlen versprödet die Kälte des flüssigen Kohlendioxids das Produkt so weit, dass sich sogar hohe Feinheitgrade erreichen lassen. Das Verdrängen des Luftsaauerstoffs bietet gleichzeitig einen wirksamen Schutz vor Staubexplosionen.

Formen/Extrudieren: Beim Einsatz von CO₂ anstelle von Druckluft wird der Kunststoff von dem durch die Druckabsenkung entstehenden Trockeneisschnee gleich beim Formen gekühlt, wodurch kürzere Taktzeiten möglich sind.

Treibgas: CO₂ als Treibgas zum Aufschäumen von Baustoffen oder in Spraydosen ist eine umweltfreundliche Alternative zu (chlorierten) Kohlenwasserstoffen.

Extraktion: Überkritische Stoffe (Fluide) existieren jenseits des sogenannten kritischen Punkts (für CO₂ bei 31 °C, 74 bar) und besitzen die Dichte von Flüssigkeiten sowie die Viskosität von Gasen. Die hohe Löslichkeit von überkritischem CO₂ für unpolare Stoffe (z. B. Fette, Wachs, Aroma- und Duftstoffe) macht den Einsatz giftiger organischer Lösemittel überflüssig.



So wird überkritisches CO₂ für die Hochdruckextraktion von Naturstoffen wie Koffein aus Kaffee oder Aromen aus Gewürzen verwendet. Es ist aufgrund der niedrigen kritischen Temperatur sehr schonend, Enzyme bleiben aktiv, im Produkt verbleiben keine Rückstände des Lösemittels.

Reinigen: Zum Reinigen und Entfetten von Elektronikbauteilen und neuerdings auch von Textilien kommt überkritisches oder flüssiges Kohlendioxid unter hohem Druck (40-50 bar) zum Einsatz. Auf diese Weise lassen sich Perchlorethylen oder Kohlenwasserstoffe ersetzen. Diese Art der Textilreinigung wurde bereits mit dem „Blauen Engel“ als umweltfreundlich ausgezeichnet.

Festes CO₂ ...

... wird auch als Trockeneis bezeichnet. Kohlendioxid kann unterhalb des Tripelpunkts (5,18 bar, -56,6 °C) nur im gasförmigen oder festen Zustand vorliegen. Trockeneis geht durch Sublimation direkt in den gasförmigen Zustand über. Es ist im Weltall weit verbreitet und kommt dort beispielsweise in Meteoriten und planetaren Eisflächen wie den Polkappen auf dem Mars vor.

Trockeneisstrahlen: Hier kommen Trockeneispellets oder Trockeneisschnee zum Einsatz. Treffen diese beim Druckluftstrahlen auf eine Oberfläche, so kühlen Bauteil und Oberflächenbeschichtung (Letztere bis zur Versprödung) schlagartig ab. Thermische Spannungen zwischen den Materialien führen zu Rissen in der Beschichtung, in die das Trockeneis eindringt, sublimiert (d. h. direkt vom festen in den gasförmigen Zustand übergeht) und so die Beschichtung absprengt. Die Trockeneispartikel sind nicht sehr hart (vergleichbar mit Gips), so dass das Bauteil selbst nicht beschädigt wird. Anders als bei herkömmlichen Strahlverfahren ist wegen der Sublimation keine Entsorgung des Strahlmittels erforderlich. Zurück bleibt nur die Verschmutzung selbst.



Schädlingsbekämpfung: Bei der sogenannten Druckbehandlung wird CO₂ in einen druckfesten Behälter beispielsweise mit Getreide oder Tee gegeben. Die Körperzellen der Schädlinge (ausgewachsene Tiere, Larven, Eier) nehmen das CO₂ auf. Bei der anschließenden plötzlichen Druckabsenkung werden die Zellen durch die Ausdehnung des Gases

zerstört. Diese Methode ist eine ungiftige Alternative zu Gasen wie Phosphorwasserstoff usw.

Analytik: In der überkritischen Fluid-Chromatographie kommt ebenfalls überkritisches CO₂ zum Einsatz. Mit diesem Verfahren lassen sich analytische Aufgaben angehen, die mit der Gas- oder der Flüssig-Chromatographie nicht mehr zu bewältigen sind, da die Eigenschaften von Fluiden bezüglich Dichte, Viskosität und Diffusion zwischen denen von Gasen und Flüssigkeiten angesiedelt sind.

Falls Sie weitere Fragen über die Umweltrelevanz unserer Produkte und Verfahren haben, sprechen Sie uns bitte an.



Kontakt

AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
Hans-Günther-Sohl-Straße 5
40235 Düsseldorf
Fon: (0211) 66 99 - 0
Fax: (0211) 66 99 - 222
pr@airliquide.de



Air Liquide ist **Weltmarktführer** für technische und medizinische Gase sowie damit verbundene Serviceleistungen und in 75 Ländern vertreten. Gestützt auf ständig verbesserte **Technologien** kann der Konzern im Einklang mit seiner Verpflichtung zu **nachhaltiger Entwicklung** seinen Kunden **innovative Lösungen** anbieten, die bei der Herstellung zahlreicher Produkte des täglichen Bedarfs und zum Schutz des menschlichen Lebens eingesetzt werden. Air Liquide wurde 1902 gegründet und beschäftigt heute über 40.000 Mitarbeiter.