

Kap.12 Gase

Die Erdatmosphäre ist eine Gashülle um den Planeten. Sie bedingt das Blau des Himmels - dank seiner Atmosphäre ist der blaue Planet blau - und ist der Ort des Wettergeschehens. Gase sind in den Gewässern der Erde, im Süßwasser der Seen und Flüsse und im Salzwasser der Ozeane gelöst. Auch zumindest die oberen Gesteinsschichten enthalten Gase eingeschlossen in den Poren.

Beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand wird die kompakte Materie stark verdünnt. 1 l flüssiges Wasser etwa, liefert rund 1330 l Wasserdampf, d. h. eine Verdünnung um mehr als das Tausendfache. Als Folge davon sind Stoffeigenschaften, die für flüssige und feste Stoffe für jeden Stoff verschieden sind, für alle Gase in guter Näherung gleich: Wird ein Gas unter Druck gesetzt, so verringert sich sein Volumen umgekehrt proportional zum Druck, $V_p/V_0 = p_0/p$ (V das Volumen, p der Druck; Gesetz von Boyle-Mariotte). Besonders die Temperaturendeckung ist für alle Gase in guter Näherung dieselbe, $V_t = V_0(1+t/273)^1$ (t die Temperatur in °C; Gesetz von Gay-Lussac) mit dem universellen Ausdehnungskoeffizienten $1/273$. Schließlich ist das Volumen eines Mols eines jeden Gases dasselbe, 24 l/mol bei 20°C und 1 bar. Die drei Gesetze werden in der allgemeinen Gasgleichung, $p \cdot V = nRT$, mit der Gaskonstanten R (8.31 J/mol·K) und der Molzahl n zusammengefasst. Diese Beziehung gestattet die direkte Bestimmung der Molmasse eines unbekanntes gasförmigen Stoffes aus der Gasdichte (m/V) nach der Methode von Dumas.

12.1 Zusammensetzung der Luft

Die hauptsächlichlichen Gase der Luft sind Stickstoff und Sauerstoff, die im Verhältnis 21 zu 78 vorliegen. Dieses Verhältnis herrscht auch noch in der oberen Atmosphäre bis 100 km Höhe, wo der gesamte Gasdruck nur noch einen kleinen Bruchteil des Gasdrucks an der Erdoberfläche ausmacht. Da die Gashülle der Erde von ihrer eigenen Schwere zusammengedrückt wird, nimmt der Gasdruck mit der Höhe exponentiell ab, was durch die 'Barometrische Höhenformel' $p_h = p_0 e^{-Mgh/RT}$, mit p_h Druck in der Höhe h in km, p_0 Druck am Boden, M mittleren Molmasse der Luft (14.4 g/mol), g Schwerebeschleunigung (9.81 m/s²), R Gaskonstante (8.31 J/mol.K), T absoluten mittleren Temperatur (ca. 250 K), wiedergegeben wird.

Für die ersten 10 km ist die Druckabnahme wie folgt

Tab. 12.1 Druckabnahme mit der Höhe

Höhe/m	0	1000	2000	3000	4000	5000	9000	10 000
Luft- druck/ hPa	1013 = 1 bar	898	794	701	616	540	307	264

¹ Mit der sog. 'absoluten' Temperaturskala $T = t+273$ K, wird das Gesetz von Gay-Lussac zu $V_t = V_0(T/273)$, was der Anlass für die Einführung dieser Skala war.

d. h. in 10 km Höhe, was etwa der Flughöhe von Langstreckenjets und der Obergrenze der Wettererscheinungen entspricht, ist der Luftdruck nur noch $\frac{1}{4}$ des Drucks am Boden. Deshalb wird bei der Sicherheitsbelehrung vor jedem Flug von einem eventuellen Druckabfall (bei Lecks in der Flugzeughaut) gesprochen.

Neben Stickstoff und Sauerstoff enthält die Luft eine gewisse Menge Wasserdampf als meist unsichtbares Gas. Dieser Wasserdampfgehalt der Luft, die Luftfeuchte, ist lokal und nach Wetterbedingungen sehr unterschiedlich. Je kälter die Luft, desto weniger Luftfeuchte kann sie enthalten. Über den Polen ist daher die Luftfeuchte ca. 0.1%, während sie in den Tropen etwa 3% absolut beträgt.

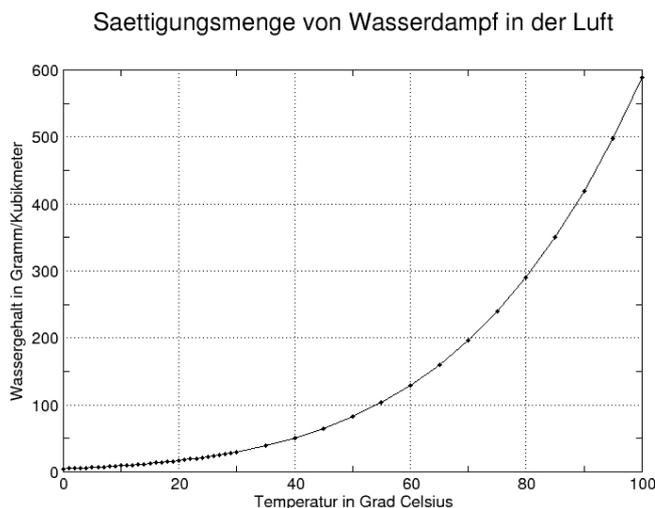


Abb. 12.1

Gewöhnlich wird die Luftfeuchtigkeit als 'relative Feuchte' angegeben, d. h. als den Anteil in %, den die Luft bei der herrschenden Temperatur maximal enthalten kann. Erst wenn die Luftfeuchte den der Temperatur entsprechenden Gehalt übersteigt, kondensiert sie in Form feiner Tröpfchen, sichtbar als Nebel bzw. Wolken.

Nach Stickstoff, Sauerstoff und Wasserdampf ist der mengenmäßig nächstgrößere Anteil das Edelgas Argon mit 0.9 %. Die anderen Edelgase sind untergeordnet beteiligt. Auf diese Tatsache wurde schon der englische Forscher Henry Cavendish 1783 aufmerksam. Wenn er nämlich in einer Funkenstrecke den Stickstoff mit Sauerstoff vollständig zu den Stickoxiden NO bzw. NO₂ umsetzte und dieses in Wasser absorbierte, so blieb immer ein kleiner Rest von etwa 1 % des ursprünglichen Luftvolumens übrig, welches Cavendish nicht weiter bestimmen konnte. Erst 100 Jahre später, im Jahre 1894, als man durch Robert Bunsen gelernt hatte, die chemischen Grundstoffe in ihren Verbindungen anhand ihrer optischen Spektren zu identifizieren (s. Kap. 2, Analytische Methoden), entdeckte Lord Rayleigh und W. Ramsay bei der elektrischen Anregung dieses Luftrestes zunächst das Argon und einige Jahre später bei der sorgfältigen Fraktionierung von flüssiger Luft (s. u.) die Edelgase Neon, Krypton und Xenon. Helium war schon früher im Sonnenspektrum aufgefunden worden. Die Atome dieser Edelgase verfügen über 'abgeschlossene Schalen' (Edelgasschalen) von 2, 8, 18, 32 Elektronen und haben daher kein Bestreben, chemische Verbindungen einzugehen. Sie verbinden sich auch nicht mit sich selbst und liegen deshalb im Unterschied zu allen anderen Elementgasen 'einatomig' vor. Sie bilden eine eigene Gruppe des Periodensystems, die (heutige) 18. Gruppe.

12.2 Spurengase

Große Aufmerksamkeit verdienen die Spurengase in der Atmosphäre, die alle im ppm- (parts per million) Bereich auftreten aber u. U. große Wirkung entfalten. Hier ist zuerst das Kohlendioxid zu nennen mit gegenwärtig 0.038% (= 380 ppm); daneben die Stickoxide, NO_x, Schwefeldioxid, Methan, Halogenkohlenwasserstoffe.

Tab. 12.2 Zusammensetzung der Luft

N ₂	O ₂	Ar	CO ₂	Ne	He	CH ₄	Kr	H ₂	NO	CO
Stickstoff	Sauerstoff	Argon	Kohlendioxid	Neon	Helium	Methan	Krypton	Wasserstoff	Stickstoffmonoxid	Kohlenmonoxid
78.08 %	20.95 %	0.934 %	0.038 % 380 ppm	18 ppm	5 ppm	1.7 ppm	1 ppm	0.5 ppm	0.3 ppm	0.2 ppm

Stickstoff und Sauerstoff nehmen wir mit jedem Atemzug auf. Im Stoffwechsel wird aber nur der Sauerstoff verwendet. Der Stickstoff wirkt als Verdünnung. Dadurch wird in der Lunge das Blut mit weniger Sauerstoff beladen als dies in einer Atmosphäre von reinem Sauerstoff der Fall wäre, denn das würde alle Lebensprozesse so stark beschleunigen, dass wir nur eine kurze Lebensspanne hätten. Patienten, deren Blut nicht mehr genügend Sauerstoff aufnehmen kann, wird eine mit Sauerstoff angereicherte Atemluft verabreicht.

12.3 Luftverflüssigung

Als technische Gase kommen heute Stickstoff und Sauerstoff in reiner, meist verflüssigter Form in den Handel. Dem liegt die sog. 'Luftverflüssigung' zugrunde. Sie beruht auf einem Effekt, der bei allen Gasen auftritt, umso stärker, je mehr das Verhalten von dem eines 'idealen Gases' (s. die allgemeine Gasgleichung oben) abweicht. Lässt man ein komprimiertes Gas durch eine Düse austreten, wobei es sich entspannt, so kühlt sich das Gas dabei ab. Es ist dies der Joule-Thomson-Effekt, benannt nach den Forschern J. P. Joule und Lord Thomson.² Die technische Ausführung stammt von Carl Linde, dessen Name die Firma noch immer trägt.³ Beim Linde-Verfahren wird die Luft zunächst auf 200 bar komprimiert, wobei sie sich um 45° erwärmt.

² This you learned in your school/that Messers Thomson and Joule/made a comprimized gas/ through a thin hole to pass/which, expanding, then became cool.

³ Linde, gases and more

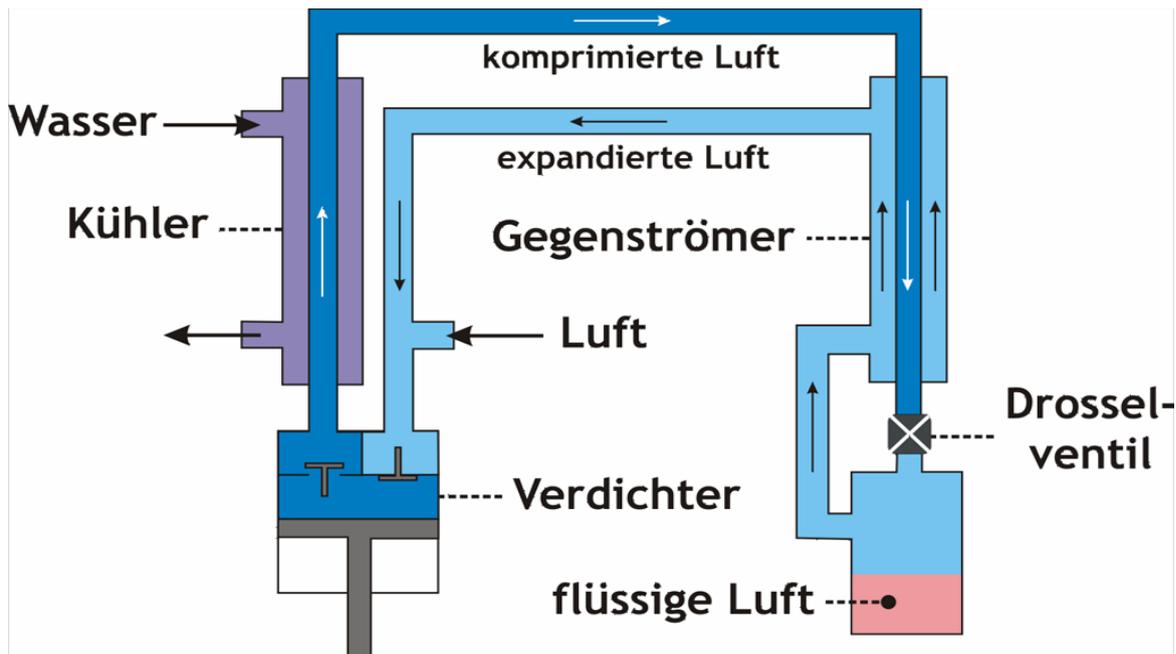
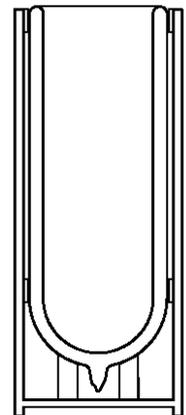
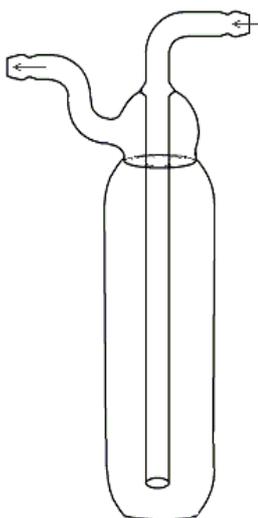


Abb. 12.2 Schema des Linde-Verfahrens

Die komprimierte Luft wird dann gekühlt und danach entspannt. Dadurch erhält sie eine Temperatur unterhalb der Raumtemperatur. Mit dieser kalten Luft wird jetzt die komprimierte Luft weiter abgekühlt, die sich beim Entspannen wiederum stärker abkühlt. Dies geht schrittweise so fort bis die Luft sich beim Entspannen schließlich soweit abkühlt, dass sie, bei -190°C (83 K), flüssig wird. Wird nun das flüssige Gemisch aus Stickstoff und Sauerstoff über eine Kolonne destilliert, so geht zunächst der niedriger siedende Stickstoff (Sp. -196°C) über und danach der Sauerstoff (Sp. -183°C). Flüssiger Stickstoff ist eine farblos durchsichtige, leicht bewegliche Flüssigkeit, flüssiger Sauerstoff ist dagegen hellblau. Die verflüssigten Gase werden in sog. 'Dewar-Gefäßen' (Skizze rechts) aufbewahrt. Dies sind doppelwandige Glas- oder Metallbehälter mit verspiegelter Innenseite und einem Vakuum zwischen den Wänden, das für eine gute Wärmeisolierung sorgt. Die von außen und über die Oberfläche zugeführte Restwärme wird durch Verdampfung der Flüssigkeit ausgeglichen. Auch für den Transport über Land in Lastwagen sind solche Dewargefäße entwickelt worden.



Als sog. Schutzgas kommt Stickstoff, auf 200 bar komprimiert, in Stahlflaschen in den Handel. Er wird im chemischen Labor und in der chemischen Technik gebraucht, um Reaktionen unter Luftausschluss durchzuführen. Verflüssigt wird er in großem Maße als Kühlmittel verwendet. Gewebeproben etwa, die in flüssigem Stickstoff schockgefroren werden, erstarren so schnell, dass sich nur winzige Eiskriställchen bilden können und die Zellen nicht zerstört werden. Da bei dieser Temperatur keinerlei Stoffwechsel, Fäulnis oder Zersetzung mehr stattfindet, können die Proben beliebig lange konserviert werden.



Im Laboratorium ergibt sich oft die Notwendigkeit, eine Destillation bei vermindertem Druck vorzunehmen, was gleichbedeutend ist mit niedrigerer Temperatur, sog. Vakuumdestillation. Damit keine flüchtigen Stoffe in die Vakuumpumpe gelangen und das Pumpenöl verdünnen, wird zwischen Destillationsapparatur und Vakuumpumpe eine 'Kühlfalle' (Skizze links), die in eine Dewar-Gefäß mit flüssigem Stickstoff eintaucht, geschaltet. In der Kühlfalle frieren alle flüchtigen Bestandteile aus. Der Umgang mit vielen, bei Raumtemperatur gasförmigen Verbindungen, wie CO_2 , H_2S , SO_2 , NH_3 , SiH_4 , B_2H_6 usw. wird sehr erleichtert, wenn diese in einer mit flüssigem Stickstoff gekühlten Kühlfalle ausgefroren werden.

Sauerstoff ist mittlerweile ebenfalls ein großtechnisches Produkt geworden und wird zum Frischen von Roheisen bei der Stahlerzeugung verwendet (s.

Kap.6).

Neben Stickstoff ist besonders das Edelgas Argon als Schutzgas geeignet. Da es schwerer als Luft ist, bleibt es (ähnlich CO_2) in offenen Gefäßen am Boden liegen. In der Technik wird es bei anspruchsvolleren Schweißarbeiten verwendet um die Schweißnaht vor Sauerstoffzutritt und dem damit verbundenen Verzundern zu schützen (Schutzgasschweißen).

Helium findet sich als Bestandteil von Erdgas und ist ein Produkt des radioaktiven Zerfalls. Es wird aus Erdgas abgetrennt und in einer Prozedur ähnlich dem Linde-Verfahren verflüssigt, wobei es bis auf eine Temperatur von 4.2 K (-269°C) abgekühlt werden muss. Dies ist die tiefste Temperatur, die mit einem Kühlmittel erreichbar ist. Eine noch tiefere Temperatur erreicht man, wenn aus einem Reservoir von verflüssigtem Helium das Gas abgepumpt wird, so dass der Flüssigkeit zusätzlich Verdampfungswärme entzogen wird. Eine Reihe von Metallen (z. B. auch Quecksilber) werden bei dieser Temperatur supraleitend, d. h. der Ohm'sche Widerstand verschwindet. In den Kernspintomographen der medizinischen Diagnostik finden sich solche Metallringe aus einer Co/Sm-Legierung gekühlt mit flüssigem Helium⁴ und daher supraleitend. Sie leiten verlustfrei die enorm hohen Ströme, die wiederum das Magnetfeld liefern in dem sich die Kernspins der Wasserstoffatome der Verbindungen des Gewebes ausrichten, was mit Computerprogrammen schließlich in ein Bild des betr. Gewebes umgesetzt werden kann (s. Kap.2).

Die anderen Edelgase findet man vorzugsweise in Leuchtstoffröhren (Neonröhren), wo sie durch elektrische Anregung intensiv farbige Lichter liefern. Xe wird neuerdings als sehr schonendes Analgetikum in der Klinik eingesetzt.

⁴ In einem großen Dewargefäß befindet sich flüssiger Stickstoff, der durch einen weiteren Dewarmantel vom flüssigen Helium getrennt ist. Das ständig verdampfende Helium wird aufgefangen und unter Druck in Stahlflaschen geleitet, so dass es verlustfrei aufs Neue verflüssigt werden kann.

12.4 Ozon

Setzt man Sauerstoff einer elektrischen Entladung oder einer intensiven Ultraviolettstrahlung aus, so bildet sich eine neue Form von Sauerstoff, das Ozon, O_3 . Den charakteristischen Geruch von Ozon kann man überall wahrnehmen, wo UV-Strahler, 'Höhensonnen' und Sonnenbänke verwendet werden. Es wirkt stark oxidierend und bakteriostatisch und wird heute in zunehmendem Maße anstelle von Chlor als Desinfektionsmittel in der Wasseraufbereitung, als Bleichmittel für Papier und Fasern und bei der Lebensmittelkonservierung eingesetzt (s. auch Chemie der Stratosphäre, unten).

12.5 Kohlendioxid und Klimawandel

Ein Atmosphärgas besonderer Aktualität ist das Kohlendioxid, CO_2 , mittlerweile stereotyp als 'Klimakiller' apostrophiert. Was hat es damit auf sich? CO_2 entsteht bei allen Verbrennungen von Kohlenstoff und von kohlenstoffhaltigen Substanzen, nicht nur in Kohlekraftwerken sondern ebenso aus den Kohlenwasserstoffen Benzin, Diesel, Heizöl, Kerosin, egal ob eine solche Verbrennung nun mit Feuererscheinungen verbunden ist wie im Verbrennungsmotor oder gedämpft als Stoffwechselprozess abläuft. So atmet ein Mensch bei jedem Atemzug etwa 60 ml (30 mg) CO_2 aus. Die weltweite Emission wird auf 38 Mrd. t jährlich geschätzt. Dies ist weit mehr, als durch das Pflanzenwachstum gebunden wird, zumal die Holzmasse der Erde durch Abholzung, Brandrodung und Vordringen von Wüsten insgesamt abnimmt. Aus diesem Grunde steigt der Gehalt an Kohlendioxid stetig an und zwar zeitlich beschleunigt von etwa 280 ppm im Jahr 1860 als die Messungen begannen, bis aktuell 380 ppm. Nun ist dieser Gehalt noch immer weit von einer direkten Beeinträchtigung entfernt, gilt doch eine Luft mit 0.1% (10 000 ppm) CO_2 immer noch als Frischluft und erst ein CO_2 -Gehalt von 1% macht sich durch größere Müdigkeit als 'verbrauchte Luft' bemerkbar. Der Anstieg von CO_2 in der Atmosphäre hat jedoch eine andere Wirkung.

Das von der Sonne auf die Erde einfallende Licht wird zu einem gewissen Teil an Wolken und von der Schneedecke der Polargebiete reflektiert. Was auf der Erdoberfläche auftrifft, sorgt hier für deren Erwärmung. Nun strahlt jeder Körper gemäß seiner Temperatur Wärmestrahlung ab, so auch die Erde in den Weltraum. Diese unsichtbare, infrarote Wärmestrahlung tritt nun nicht vollständig in den Weltraum aus, sondern wird zu einem großen Teil von den in der Atmosphäre vorhandenen Gasen Wasserdampf und Kohlendioxid absorbiert. Diese strahlen die Wärme ebenfalls ab, doch gelangt ein großer Teil dann wiederum auf die Erde. Es ist dies ein ähnlicher Vorgang wie in einem Treibhaus, wo die Glasscheiben das sichtbare Licht ungehindert durchlassen, die Wärmestrahlung aber absorbieren bzw. in das Treibhaus zurück reflektieren, wodurch sich dieses stärker als die Umgebung erwärmt. Dieser Treibhauseffekt war während der Erdgeschichte je nach Zusammensetzung der Atmosphäre unterschiedlich wirksam und hat für sehr unterschiedliche mittlere Temperaturen der Erdoberfläche gesorgt. Der Anstieg der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 150 Jahren bewirkt nun eine kleine Verschiebung zugunsten einer stärkeren Erwärmung, was insgesamt erhebliche Auswirkungen auf das Klima und die Lebensmöglichkeiten auf dem Planeten hat. Weltweit beobachtete Phänomene wie das Abschmelzen der Gletscher aller hohen Gebirge sowie der polaren Eisdecken mit einem messbaren Anstieg des Meeresspiegels als Folge sind untrügliche Zeichen dieser Veränderung. Als realistische Gegenmaßnahmen können derzeit einzig die Nutzung von Sonnen- und Windenergie, mit allen Folgen für das Landschaftsbild, angesehen werden. Letztlich wird nur eine Änderung des individuellen Lebensstils, befördert und erzwungen durch

die knapper werdenden Öl- und Gasreserven, den Trend stoppen können.

Kohlendioxid als reiner Stoff hat auch nützliche Eigenschaften. Beim Abkühlen unter Normaldruck (1 bar) wird es nicht flüssig, sondern bei -78.5°C fest. Das lässt sich schon beobachten wenn man das Gas aus einer Stahlflasche ausströmen lässt, nach einiger Zeit hat es sich durch den Joule-Thomson-Effekt soweit abgekühlt, dass Kohlendioxidschnee austritt. Festes Kohlendioxid ist ein beliebtes Kühl- und Kältemittel, das beim Erwärmen nicht schmilzt, sondern sublimiert⁵, d. h. abdampft, und kommt in dieser Form in Blöcken als sog. 'Trockeneis' in den Handel. Werden Stücke davon in Wasser geworfen, so entwickelt sich durch die Erwärmung sehr viel Gas, welches Wasserdampf in Form eines dichten Nebels mitreißt, ein wunderbarer Theaternebel oder beliebt zur Dekoration von chemischen Labors im Fernsehen. Um flüssiges CO_2 zu erhalten muss es unter einem Druck von mindestens 5.2 bar stehen. Wird der Druck auf 74 bar erhöht, so geht es oberhalb einer Temperatur von 31°C in einen neuen Zustand über, eine Art Flüssigkeit, deren Viskosität aber der eines Gases gleichkommt. Man nennt dies den *überkritischen Zustand*. Den zeigen zwar viele Flüssigkeiten, doch für Kohlendioxid ist er besonders leicht herzustellen. Das überkritische CO_2 ist ein gutes Lösemittel für unpolare Stoffe und kann mit Vorteil zur Extraktion verwendet werden, da es bei Entspannung spontan verdampft. Bekannt ist die Extraktion von Kaffeebohnen, die Pulverkaffee liefert. Doch auch andere Extraktionen wie die von Kohlenwasserstoffen aus Ölschiefer oder die Anwendung als Wärmeübertragungsflüssigkeit in der Geothermie (Erdwärmenutzung) sind in der Entwicklung.

12.6 Methan

Mit Methan machten zuerst die Bergleute in Kohlegruben eine oft unliebsame und gefährliche Bekanntschaft. Das Gas bildet sich beim Inkohlungsprozess der Steinkohle und ist als solches oft in dieser eingeschlossen. Beim Abbau der Kohle in unterirdischen Stollen wird es freigesetzt und bildet mit Luft explosive Gemische, in der Bergmannsprache die 'schlagenden Wetter'. Die erste Maßnahme gegen diese Gefahr erfand um 1815 Humphrey Davy in Form der Davy'schen Sicherheitslampe, bei der die Flamme von einem Drahtgitter umgeben war, welches als Flammenhemmer diente.

Ähnlich wie das Kohlendioxid absorbiert auch Methan Wärmestrahlung. Die stärkere Absorption pro Gaseinheit wird durch den sehr viel geringeren Anteil in der Atmosphäre (s. Tab.12.2) gedämpft, doch trägt auch Methan zur Klimaveränderung bei. Methan ist der Hauptbestandteil des Erdgas' und ist ein Stoffwechselprodukt vieler anaerober Bakterien. Die Gasblasen, die man manchmal aus moorigen Weihern und Sümpfen aufsteigen sieht, stammen von solchen bakteriellen Fäulnisprozessen, daher auch der Name 'Sumpfgas' für Methan. Eine beträchtliche Quelle von Methan sind Rinder, in deren Verdauungstrakt die Methan erzeugenden Bakterien aktiv sind. Großflächige Rinderhaltung vermehrt auf die Dauer den Methangehalt in der Atmosphäre.

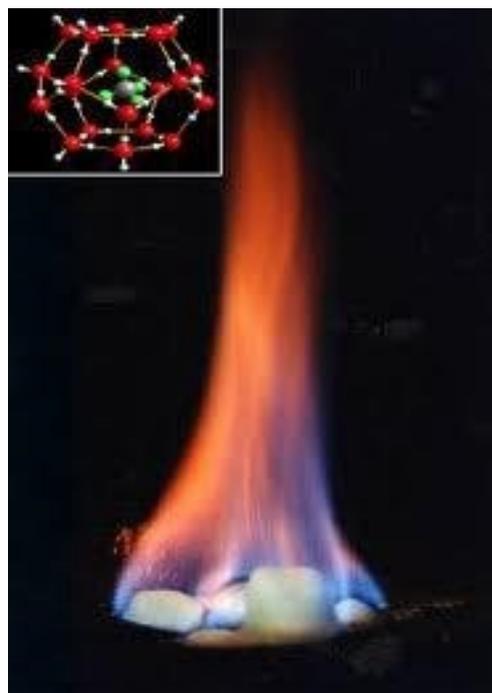
Werbeaufschrift: 'Kohlensäure, die kluge Kälte'

Viel Methan ist in den Permafrostböden der nordischen Tundren (Kanada, Alaska, Sibirien) eingefroren. Dieses Methan wird frei und gelangt in die Atmosphäre wenn durch die Klimaerwärmung solche Permafrostböden auftauen. Andererseits hat Methan in der Atmosphäre nur eine mittlere Lebensdauer von 5 Jahren bevor es zu CO_2 oxidiert wird. Im Ozean gelöstes

Methan braucht dazu 50 Jahre.

Als Kohlenwasserstoff ist Methan sehr wenig in Wasser löslich (ca. 30 mg/l). In der Kälte, bei 2 -4 °C, und unter einem Druck von 20 bar, das entspricht 190 m Wassertiefe, bildet es jedoch ein sog. 'Gashydrat', eine Art Verbindung aus Methan und Wasser in genau festgelegtem Verhältnis. Die Wassermoleküle bilden einen dodekaedrischen Käfig, der ein Methanmolekül einschließt. Die Zusammensetzung ist $\text{CH}_4(\text{H}_2\text{O})_{5,75}$, weil die Wassermoleküle mehreren Käfigen angehören. Das Aussehen des Stoffes entspricht lockerem Eis. Es entsteht, wenn Methanobakterien im Meer in größerer Tiefe, 300 – 800 m, organisches Material zu Methan abbauen. Dieses kann dann als Methanhydrat in größeren Lagern im Tiefenwasser verbleiben, während es sich an der Oberfläche unter Freisetzung von Methan auflöst. Solche Lager von Methanhydrat sind weltweit vor allem an den Tiefseeabhängen der Kontinentalränder geortet worden und man schätzt, dass der darin als Methan gebundene Kohlenstoff mengenmäßig alle anderen fossilen Kohlenstoffquellen, Kohle, Erdöl, Erdgas, übertrifft. Bislang ist jedoch eine wirtschaftliche Ausbeutung noch nicht gelungen. Andererseits stellen die Methanhydratlager auch ein zusätzliches Klimarisiko dar, weil bei Erwärmung des Meerwassers größere Mengen Methan in Freiheit gesetzt werden könnten, was wiederum den Klimawandel beschleunigt.

Abb. 12.3 Struktur eines Methanhydratbrockens

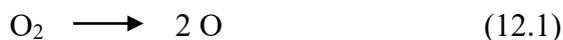


12.7 Stratosphärenchemie

Die Stratosphäre, das ist die atmosphärische Schicht zwischen 10 und 50 km Höhe, ist gekennzeichnet durch einen Temperaturanstieg mit der Höhe. Während in den ersten 10 km die Temperatur auf etwa -50°C absinkt, steigt sie danach wieder an. Der Grund hierfür sind chemische Reaktionen in der Stratosphäre unter dem Einfluss des Sonnenlichtes. Der energierei-

che UV- (Ultraviolett-) Anteil des auf die Erde einfallenden Sonnenlichtes bewirkt eine Spaltung des Sauerstoffmoleküls und die Bildung von Ozon.

UV-Licht ($\lambda < 240$ nm)



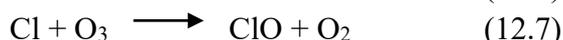
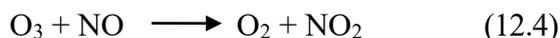
Ozon absorbiert nun weiteres, längerwelliges UV-Licht und wird dabei wieder in Sauerstoff umgewandelt

UV-Licht ($\lambda < 340$ nm)



Da die Menge an jeweils vorhandenem Ozon viel geringer ist als die Menge an Sauerstoff, läuft Reaktion(12.3) langsamer ab als(12.2). Das führt zu einer gewissen stationären Konzentration von Ozon in der Stratosphäre. Durch den stetigen Auf- und Abbau von Ozon wird das energiereiche UV-Licht absorbiert und schließlich in Wärme umgewandelt, daher der Temperaturanstieg. Die Absorption, d. h. die Entfernung dieses UV-Anteils aus dem Sonnenlicht ist wichtig für das Leben auf der Erde, denn würde dieser Teil der Strahlung bis zum Erdboden durchdringen, wäre das schädlich für alle Lebewesen.

Durch die von der menschlichen Technik freigesetzten Spurengase werden nun zusätzliche Wege für den Ozonabbau in den oberen Luftschichten geöffnet. Wirksam sind hier Stickoxide und Halogenkohlenwasserstoffe, die bevorzugt mit Ozon reagieren



In diesen Reaktionsfolgen wirken NO bzw. Cl katalytisch, d. h. ein Molekül bewirkt den Abbau vieler Moleküle Ozon, bei Cl etwa 100 000. Die Folge ist eine Verringerung der Ozonschicht, was vor allem über den Polgebieten beobachtet wird. Hier bilden sich während der extrem kalten Polarnacht (bis -85°C) Wolken von Reservemolekülen wie etwa ClONO₂. Bei beginnender Sonneneinstrahlung im antarktischen Frühling lösen sich diese auf, setzen Cl- und NO-Radikale in Freiheit, die dann die Ozonschicht abbauen. Dadurch gelangt aber mehr UV-Licht in tiefere Luftschichten und die Ozonbildung findet dort statt, wo sie unerwünscht ist weil Ozon, eingeatmet, sich aggressiv gegenüber allen Körpersubstanzen verhält. An Sommertagen mit viel Sonnenlicht und geringem Luftaustausch in der unteren Atmosphäre kann es passieren, dass die Ozonkonzentration in der bodennahen Luft bis zu Werten ansteigt, die als gesundheitsgefährdend gelten. Die Menschen werden dann aufgefordert, bei geschlossenen Fenstern in ihren Wohnungen zu bleiben.