

„Houston, wir haben ein Problem“

Kohlendioxid - Bedeutung für die Raumluftqualität

Dipl.-Ing. Ludger Hohenberger

**Unfallkasse Nordrhein-Westfalen
Regionaldirektion Westfalen-Lippe**

Leiter der Abteilung „Biologische, chemische
und physikalische Einwirkungen“ und
stellvertretender Leiter des DGUV Sachgebiets „Gefahrstoffe“
beim Fachbereich „Rohstoffe und chemische Industrie“



 **0251 / 2102-3243 oder 0151-14828855**

Salzmannstr. 156

48159 Münster

 **l.hohenberger@unfallkasse-nrw.de**

 **www.unfallkasse-nrw.de**

Erinnern Sie sich noch?

Am 21. Juli 1969 um 3:56 Uhr MEZ betraten die amerikanischen Astronauten Neil Armstrong und Edwin Aldrin als erste Menschen im Zuge der Mission „Apollo 11“ den Mond.

Wissen Sie, warum die Mission „Apollo 13“ - unter der Leitung von Kommandant Jim Lovell - vom 11. April bis zum 17. April 1970 gescheitert ist?

Was war geschehen?

Die erste benannte Mondlandung war erst wenige Monate her, eine zweite hatte es auch schon gegeben. Zwei Astronauten von „Apollo 13“ sollten nun ebenfalls über den Mond laufen.

NASA-Missionen scheinen zu diesem Zeitpunkt fast schon routiniert, bis es rund 56 Stunden nach dem Start von „Apollo 13“ zur einer Explosion im Sauerstofftank der Weltraumkapsel kommt. Infolgedessen sanken die O_2 Werte dramatisch. Die drei Astronauten sind zu diesem Zeitpunkt mehr als 300.000 Kilometer von der Erde entfernt – und in akuter Lebensgefahr.

Die drei Astronauten hören einen Knall und bemerken eine Vibration, eine Warnlampe geht an. Ein Astronaut informiert das Kontrollzentrum in Houston. Sein Satz geht in die Geschichte ein:

„Houston, wir haben ein Problem!“

Vorausschauenderweise hatte die NASA für derartige Ereignisse ein Abbruchprogramm erarbeitet. So wurde zum Beispiel die (frühzeitige) Rückkehr zur Erde berechnet und die vorgesehene Mondlandung wurde unverzüglich abgebrochen.

Das Kontrollzentrum bittet die Astronauten, in die an das Mutterraumschiff angedockte spinnenbeinige Mondlandefähre „Aquarius“ umzusteigen, wo es noch genug Sauerstoff gibt.

Währenddessen wird im Kontrollzentrum gerechnet. Die Mondlandefähre ist erst einmal ein „Rettungsboot“. Den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre würde sie allerdings nicht überstehen. Daher müssen die Astronauten letztendlich zurück in das Mutterraumschiff.

Jim Lovell, Kommandant, erinnert sich später: „Wir haben uns Gedanken gemacht, wieviel Strom, Wasser und Atemluft wir nach der Explosion noch hatten.“

Der Crew war sehr wohl bewusst, dass sie plötzlich jede Menge Probleme hatten und ihnen war klar, dass das herausragende der Anstieg des Kohlendioxid-Gehalts in der Kabinenluft war.

Jim Lovell: „Wir atmen Kohlendioxid aus und wenn es nicht aus der Kabinenluft entfernt wird, dann wirkt es in hohen Konzentrationen tödlich – und wir waren auf dem Weg dahin. Aber wir konnten nichts machen. Uns war klar, das hätte uns umbringen können.“

CO₂ in geschlossenen Räumen: Gesundheitsschädlich?

Die Wirkung von Kohlendioxid (CO₂) auf Menschen:

- bis 1,5 Vol.-% ... geringe Auswirkungen, aber wachsende Konzentrationsschwäche
- 3 Vol.-% ... Müdigkeit, vertiefte Atmung, Kopfschmerz, erhöhter Blutdruck und Puls, nachlassendes Hörvermögen
- 4 bis 5 Vol.-% ... tieferes und schnelleres Atmen, deutliche Vergiftungssymptome
- 5 bis 10 Vol.-% ... mühsame Atmung, Kopfschmerz und Verlust des Urteilsvermögens
- über 10 Vol.-%... Bewusstlosigkeit innerhalb von 1 min., akute Lebensgefahr

Fazit

Kohlenstoffdioxid-Konzentrationen von über 8 Vol.-% führen innerhalb von 30 bis 60 Minuten zum Tod. Das wäre für die „Apollo13-Crew“ in weniger als 48 Stunden der Fall gewesen.

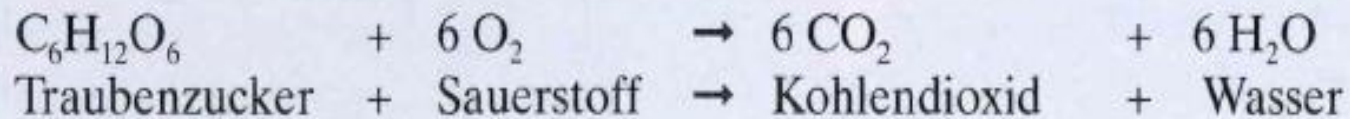
Oftmals macht gerade das krank, was am wenigsten verdächtig ist. Ein ganz bedeutender Schadstoffemittent im Innenraum ist aus physiologischen Gründen der Mensch selbst und zwar durch die Abgabe von Kohlendioxid.

Ist die Kohlendioxid-Konzentration (CO_2) in der Atemluft höher als normal, kann das CO_2 aus dem Blut nicht in der notwendigen Menge in die Lunge übertreten und somit kann das Blut nicht genügend Sauerstoff aufnehmen. Das Problem ist also nicht etwa mangelnder Sauerstoff, sondern ein zu viel an Kohlenstoffdioxid in der Atemluft.

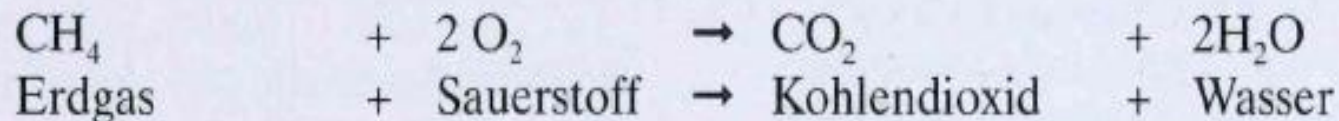
Der Atemluftbedarf des Menschen ist vom Grad seiner körperlichen Aktivität abhängig. Mit der Atemluft werden je nach Aktivität 14 bis über 35 l/h Sauerstoff aufgenommen und 12 bis über 30 l/h Kohlendioxid abgegeben. Die ausgeatmete Luft enthält rund 4 Vol.% Kohlendioxid.

CO₂ ein Verbrennungs- bzw. Stoffwechselprodukt

So wie ein Ofen „verbrennt“ der Mensch zur Energiegewinnung Kohlenhydrate zu Kohlendioxid und Wasser und gibt diese Verbrennungsprodukte in Gas- bzw. Dampfform an die Umgebung ab. Handelt es sich beim Ofen um das Brennmaterial Holz („Polyzucker“), so nutzt der Mensch das Brennmaterial Traubenzucker.



Zum Vergleich unsere Erdgasheizung:



Ein populärer Irrtum: „Zu wenig Sauerstoff in der Raumluft“

In der Praxis zeigt sich, dass der beschriebene Zusammenhang vielen Menschen selten bekannt ist. In der Regel wird über „zu wenig Sauerstoff“ in der Raumluft geklagt. Führt man aber zum Beispiel Kohlendioxid- bzw. Sauerstoffkonzentrationsmessungen in Klassenräumen durch, dann zeigt sich, dass der Sauerstoffgehalt immer zwischen 20 und 21 Vol.-% liegt.

Außenluft enthält:

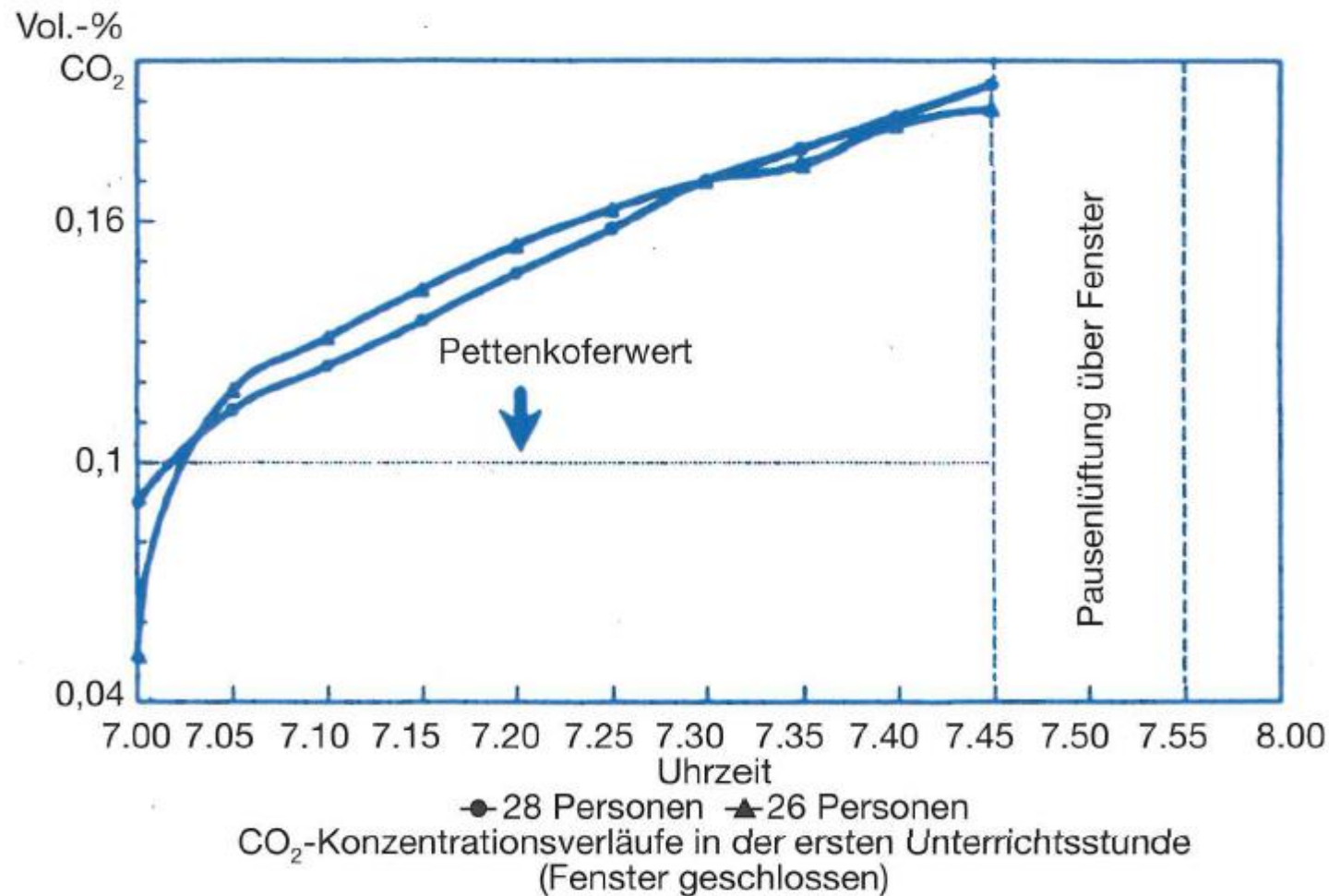
ca. 78,09 Vol.-% Stickstoff

ca. 20,94 Vol.-% Sauerstoff

ca. 0,93 Vol.-% Argon

ca. 0,03 Vol.-% Kohlendioxid

ca. 0,01 Vol.-% Wasserstoff, Ammoniak, Ozon, Radon
und weitere Spurengase



In einem vollbelegten Klassenraum ist spätestens nach 20 Minuten „die Luft im Klassenraum verbraucht“.

Wie reagiert der Mensch auf zu viel CO₂

Rückblick auf die chemische Gleichung



Nach der Gleichung verschwindet für jedes gebildete Raumteil CO₂ das gleiche Raumteil O₂.

Steigt der CO₂ in der Raumluft um 0,5 Vol.-% von 0,03 Vol.-% (gute Außenluftqualität) auf 0,53 Vol.-% (etwas über den MAK-Wert von 0,5 Vol.-%), so sinkt der O₂-Gehalt um die gleichen 0,53 Vol.-% von 20,94 Vol.-% (Außenluftqualität) auf 20,41 Vol.-%.

Die Sauerstoffkonzentration sinkt dabei nur um 1/40 (2,5 %) ihres Anfangswertes. Nach der barometrischen Höhenformel entspricht das einen Höhenunterschied von rund 300 Metern. Das entspricht etwa einem Höhenunterschied Münster/ Meinerzhagen. Dazu braucht niemand ein Sauerstoffgerät. 😊

Der CO₂-Gehalt hingegen ist etwa auf das 18-fache (1.800 %) gestiegen. Darauf ist der menschliche Organismus nicht ohne weiteres vorbereitet. ☹️

Noch einmal zurück an den Anfang

Rettungsmanöver der „Apollo-13“

Ingenieure entwerfen einen Filter aus Schläuchen, Batterien, Bändern, Plastik und Pappe aus einem Flughandbuch. Das Kontrollzentrum teilt der Crew eine improvisierte Lösung mit.

Die Astronauten folgen den Anweisungen, bauen diesen Filter und retten sich so vor dem sicheren Tod.

Der defekte Teil des Raumschiffs wird abgesprengt, dann wechseln die Astronauten zurück in die Kapsel und navigieren mit einem komplizierten Manöver zurück zur Erde. Am 17. April 1970 - nach vier banger Tagen - landet das Team im Pazifischen Ozean.

Bilanz der bisherigen Apollo Missionen UK NRW und Perspektive

Im Anschluss an die „Apollo 13“ folgen noch vier weitere „Apollo-Missionen“ (14 – 17) und bringen erfolgreich US-Astronauten auf den Mond.

Bilanz: Bislang waren insgesamt 12 Menschen auf dem Mond.

Perspektive: Mit der sogenannten „Artemis-Mission“ sollen (frühestens) 2025 wieder US-Astronauten auf dem Mond landen, darunter auch die erste Frau. Quelle: GN vom 13.11.2021

Zu guter Letzt, Ein weiterer populärer Irrtum: Fenster müssen abgeschlossen sein

Nach den einschlägigen Vorschriften der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand (z. B. Unfallkasse NRW) dürfen Fenster nicht in die Aufenthaltsbereiche der Schüler*innen hineinragen.

Gegen ganz geöffnete, in der Endstellung verbleibende (Drehflügel-)Fenster z. B. an den Stirnseiten des Klassenraums (Fensterscharniere, stirnwandseitig) bestehen bei ausreichender Brüstungshöhe keine Bedenken.

(vergleiche §§ 8 Abs. 1 und 10 Abs. 2 UVV „Schulen“).