

## Lob des CO<sub>2</sub>: das verrufene Gas

Jens Soentgen

### Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Soentgen, Jens. 2011. "Lob des CO<sub>2</sub>: das verrufene Gas." *Chemie in unserer Zeit* 45 (1): 48–55. <https://doi.org/10.1002/ciuz.201100532>.

### Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

**Deutsches Urheberrecht**

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>





## Das verrufene Gas Lob des CO<sub>2</sub>

JENS SOENTGEN

Foto: Dr. Claudia Schmidt, Uni Augsburg, WZU

In den Zeitungen lesen wir über das „Schadgas“ CO<sub>2</sub>, über das „Klimagift“ und über den „Klimakiller“. CO<sub>2</sub> scheint danach etwas Schlimmes zu sein, das man nach Möglichkeit verfolgen und unschädlich machen muss. Passend zu diesem dämonischen, tückischen Stoff gibt es auch schon den professionellen Exorzisten, den CO<sub>2</sub>-Freimacher. Eine ganze Branche lebt davon, alles und jedes CO<sub>2</sub>-frei zu machen. Sie vermag den Bundestag CO<sub>2</sub>-frei zu machen, Flugreisen, Autofahrten oder sogar Kartoffelchips.

Die CO<sub>2</sub>-freimacher sind zweifellos von lauterer Motiven umgetrieben und ich bin weit entfernt davon, ihnen nur Geschäftsinteresse zu unterstellen. Dennoch zementieren sie den Eindruck, CO<sub>2</sub> sei etwas Schlechtes und Böses und wir täten gut daran, es ein für allemal loszuwerden. Allenthalben soll CO<sub>2</sub> gejagt und vermindert werden oder gar in die Erde gepumpt und versiegelt werden.

Ich bin kein Klimaskeptiker und dennoch glaube ich, dass hier eine gefährliche Verwechslung, eine unbewusste Projektion vorliegt. Nicht CO<sub>2</sub> ist gefährlich oder giftig oder schädlich, sondern unser eigener Lebensstil und unsere Wirtschaftsweise. Diese gilt es umzubauen und ökologischer zu machen.

Wir machen es uns einfach. Wir projizieren all' das Kritikwürdige an unserem bequemen und verschwenderischen Lebensstil auf das CO<sub>2</sub> und sagen: das ist böse und wenn das weg ist, kann es weitergehen wie bisher. Das ist eine klassische Verdinglichung. Aus einem politischen und gesellschaftlichen Problem wird ein technisches.

Längst hat sich der Eindruck festgesetzt, CO<sub>2</sub> sei ein Giftstoff. Wenn ich in der CO<sub>2</sub>-Ausstellung (vgl. [www.co2-story.de](http://www.co2-story.de)), die wir am Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg entwickelt haben, vor den Augen von Besuchergruppen ein Glas Leitungswasser mit CO<sub>2</sub> aus einer großen Gasflasche versetze und anschließend herumreiche, dann wollen nur die wenigsten aus dem angebotenen Glas trinken. Sie glauben, CO<sub>2</sub> sei irgendein Produkt der chemischen Industrie, das vermutlich giftig ist. Dass „CO<sub>2</sub>“ und „Kohlensäure“ ein- und dasselbe sind, ist für viele eine überraschende und ein wenig unheimliche Erkenntnis. In der CO<sub>2</sub>-Branche und bei den Soft-Drink-Herstellern spricht man, um nur ja keine *second thoughts* zu riskieren, daher auch stets von Kohlensäure.

Ich glaube, dass dies eine problematische Entwicklung ist. Gefährlich deshalb, weil die wirklichen Verhältnisse auf

den Kopf gestellt werden. Ein Denken, das davon ausgeht, CO<sub>2</sub> sei ein Gift, blockiert nicht nur jede Neugier und Kreativität im Umgang mit diesem Stoff, sondern macht blind für die eigentlichen Probleme und blind auch für mögliche Lösungen. CO<sub>2</sub> ist etwas grundlegend anderes als zum Beispiel FCKW oder SO<sub>2</sub>, und doch wird von ihm inzwischen ähnlich gesprochen wie von diesen. Deshalb ist es Zeit für ein Lob des CO<sub>2</sub>, das provoziert und einige dieser Verzerrungen geraderücken mag. Es ist Zeit für eine Übung in jenem alten literarischen Genre der *enkomia paradoxa*, der paradoxen Lobreden.

CO<sub>2</sub> ist für das Leben auf dieser Erde das wichtigste Gas, denn alle Lebewesen werden bekanntlich aus Kohlenstoffmolekülen aufgebaut. Die meisten dieser Kohlenstoffatome aber stammen, wenn man ihre Metamorphosen über die Nahrungsketten rückverfolgt, ursprünglich vom CO<sub>2</sub>. Brot und Wein, Milch und Honig – sind nichts anderes, als umgewandeltes CO<sub>2</sub>. Seine Rolle für das Leben ist nur mit der des Wassers zu vergleichen.

Ein Lob des Wassers ist gängig, schon Grundschüler können die besonderen Eigenschaften des Wassers preisen. Warum fällt es uns so schwer, CO<sub>2</sub> zu loben? Sehen wir uns einige Dinge an, die wir dem CO<sub>2</sub> verdanken. Betrachten wir seine hochinteressante, leider kaum bekannte Geschichte. Mit drei Sätzen soll meine Lobrede gegliedert sein: *CO<sub>2</sub> ist eine bewusstseinsweiternde Droge, CO<sub>2</sub> lehrt uns, das Ganze zu sehen und CO<sub>2</sub> ist Chancengleichheit.*

### CO<sub>2</sub> ist eine bewusstseinsweiternde Droge und hilft den Menschen, in die Zukunft zu sehen

Hier geht es um die beträchtliche religionsgeschichtliche Bedeutung von CO<sub>2</sub>. Auf diese bin ich gestoßen, als ich mich gefragt habe, ob wohl die Menschen des Altertums oder der Vorzeit nicht bereits Kontakt mit CO<sub>2</sub> gehabt hätten? Nicht, dass die Menschen früher schon von CO<sub>2</sub> gesprochen hätten – diese Bezeichnung ist nicht einmal 200

Jahre in Gebrauch. Aber vielleicht war dieser Stoff unter anderen Namen bekannt. Jedenfalls ist CO<sub>2</sub> keinesfalls ein reines Industrieprodukt, sondern kommt in merklichen Konzentrationen schon in der Natur vor.

Tatsächlich gibt es Orte, an denen sich CO<sub>2</sub> stark ansammelt. Das sind einerseits Vulkane, andererseits aber auch Höhlen. Die meisten Höhlen verdanken Ihre Existenz geradezu dem CO<sub>2</sub>, das sie gemeinsam mit Wasser geformt hat. Und in vielen Höhlen finden wir auch heute noch beträchtliche, gefährliche CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Schwere Wetter nennt sie der Bergmann. Jeder weiß, dass hohe CO<sub>2</sub>-Konzentrationen tödlich sein können. Schon ab 4 Prozent wird es gefährlich, und bei 10 Prozent sind die meisten tot. Aber was geschieht, wenn man sich eine Weile einer hohen, aber nicht lebensgefährlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration aussetzt? Nein, es ist nicht wie in der Schulklasse, dass man allmählich müde wird.

Die britischen Physiologen Haldane Vater und Sohn haben die Wirkungen von CO<sub>2</sub> auf den Organismus untersucht. Auf ihrem Anwesen war ein Labor dafür eingerichtet, das in Aldous Huxleys Roman *Kontrapunkt des Lebens* ironisierend dargestellt wird als „Kammer des Schreckens“. Dorthinein setzten sich die Haldanes recht oft selbst, sie steckten aber auch ihre Assistenten hinein, zudem manche Gäste, von denen einige eher knapp mit dem Leben davonkamen. Unter anderem wurde CO<sub>2</sub> geatmet, um seine physiologischen Wirkungen zu studieren. Die Haldanes wollten ursprünglich die Grubenkrankheiten untersuchen, und die resultieren oft aus CO<sub>2</sub>-Vergiftungen. Als eines der wichtigsten Resultate stellte sich heraus, dass es wie ein *Hormon der Atmung* fungiert. Unsere Atemfrequenz wird nicht über Sauerstoff, sondern über CO<sub>2</sub> gesteuert. Wenn dieses in hoher Dosierung vorhanden ist, atmen wir schneller, weil das im Blut enthaltene CO<sub>2</sub> schwieriger abrauchen kann. Das ist aber noch nicht alles. Nimmt man gezielt höhere Dosen CO<sub>2</sub> ein, kommt es oft zu Zuständen hoher psychischer Erregung, zu Stimmenhören und zu Delirien. Nach

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

Im folgenden finden Sie einige Vorschläge für **Experimente mit CO<sub>2</sub>**, die sich mit einfachsten Mitteln durchführen lassen. Auf unserer Internetseite [www.chiuz.de](http://www.chiuz.de) gibt es als Material zu diesem Aufsatz (dort auf „supporting material“ gehen) weitere Versuchsbeschreibungen, die für jeden Leser zugänglich sind.

### Vom Wassersprudler zum CO<sub>2</sub>-Experimentiergerät

Für die meisten der folgenden Experimente brauchen wir eine CO<sub>2</sub>-Quelle. Die steht in vielen Haushalten in Form eines Wassersprudlers. Das Prinzip eines solchen Geräts ist immer dasselbe: Ein Wassersprudler enthält eine Gasflasche mit Kohlendioxid und dieses wird per Knopfdruck in eine zuvor mit Leitungswasser gefüllte Flasche unter Druck eingeleitet. Die CO<sub>2</sub>-Patronen, die man in das

Gerät einschraubt, enthalten zum Teil flüssiges, zum Teil gasförmiges CO<sub>2</sub>, das unter hohem Druck steht. Das CO<sub>2</sub> selbst stammt in manchen Fällen sogar aus natürlichen Quellen, meist wird es sich aber um ein gereinigtes Industrieprodukt handeln.

Den Wassersprudler kann man mit wenigen Handgriffen zu einem höchst vielseitigen Experimentiergerät umbauen: Man nimmt einen Wassersprudler und sucht im Baumarkt einen Schlauch, der sich gut über den Nippel schieben lässt, durch den das CO<sub>2</sub> in die Sprudelflasche geleitet wird. Der Schlauch sollte fest aufsitzen. In der Regel ist ein Schlauch mit 1 cm Innendurchmesser geeignet. Von diesem braucht man etwa 60 cm, und die schiebt man über den besagten Nippel. Fertig ist der CO<sub>2</sub>-Spender! Damit alle Versuche gut funktionieren, sollte man mit einer frischen CO<sub>2</sub>-Patrone im Sprudler arbeiten.

### SICHERHEITSHINWEIS

Eine typische CO<sub>2</sub>-Patrone enthält 425 Gramm CO<sub>2</sub>, das sind etwa zehn Mol. Ein Mol CO<sub>2</sub> wiegt 44 Gramm und nimmt bei Zimmertemperatur ein Volumen von 24,46 Liter ein, zehn Mol also 244 Liter. Nehmen wir an, wir experimentieren in einem kleinen Raum von 2 mal 2 Metern (der 2,50 Meter hoch ist). Dieser Raum enthält 10 Kubikmeter Luft, d. h. 10.000 Liter. Die enthält normalerweise 0,038 Prozent CO<sub>2</sub>. Das sind 3,8 Liter. Entleert man nun eine ganze Patrone CO<sub>2</sub> in dem Raum, ohne zu lüften, dann erhöht man die Konzentration an CO<sub>2</sub> fast um den Faktor 100. Sie beträgt (mit dem zuvor schon in der Luft vorhandenen CO<sub>2</sub>) nun 2,478 Prozent. Das ist bereits eine gefährliche Konzentration. Sie kann zu Schwindelgefühl, Herzrasen, hoher Erregung, manchmal sogar zur Bewusstlosigkeit



Umbettung der CO<sub>2</sub>-Vergifteten in normale Atmosphäre treten dann öfters Zustände höchster Euphorie ein, manchmal gepaart mit mystischen Weitungserlebnissen.

Man kann sich fragen, ob es zu solchen Zuständen nicht schon im Altertum kam. Tatsächlich verfügen viele Höhlen über erstaunliche CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und professionelle Höhlenforscher haben genau deshalb meist Sauerstoffmasken dabei.

Sehen wir uns die antike Höhlenliteratur an, stoßen wir wie von selbst auf die berühmten Orakelhöhlen der Antike. Hier wurde den Ratsuchenden meist mit verschlüsselten, mehrdeutigen Botschaften Rat gesprochen. Die Orakelstätten der Antike sind von großer Bedeutung für die Geschichte Europas, denn die Orakelsprüche hatten oft Gewicht bei politischen oder militärischen Konflikten. So geht die strategische Entscheidung der wichtigen Seeschlacht von Salamis direkt auf einen Orakelspruch aus Delphi zurück.

Was wird nun über die Orakelstätten, über Cuma, Delphi oder die Trophonios-Höhle berichtet? Meist wird von erregten Zuständen der Kultpriester bzw. -priesterinnen berichtet, die auffallend den Zuständen einer CO<sub>2</sub>-Vergiftung ähneln, insbesondere wird die Kurzatmigkeit erwähnt. Das ist freilich nur ein schwaches Indiz. Es gibt stärkere.

Von der Höhle in Delphi berichtet die Sage ein interessantes Detail:

Danach gehe das Orakel auf eine Entdeckung eines Hirten namens Koretas zurück. Dieser soll beobachtet haben, wie seine Ziegen ein seltsames Verhalten an den Tag legten, sobald sie sich einem Erdsplatt genähert hatten. Sie sprangen herum und ließen ungewohnte Laute ertönen. Als der Hirte zu der Stelle trat, wurde er von prophetischem Geist erfüllt und konnte die Zukunft vorhersagen. Auch seinen Nachbarn erging es so, und schließlich kamen Pilger von überall her; manche aber fielen in ihrem prophetischen Wahnsinn in den Schacht und tauchten nicht wieder auf. Daraufhin beschlossen die Leute von Delphi, eine Frau aus

ihrer Mitte als Prophetin für alle auszuwählen. Und sie verschlossen den Erdsplatt, indem sie einen Dreifuß darüber stellten, auf dem die Prophetin thronte. Dies wurde auch beibehalten, als später der Tempel erbaut wurde. Seit dem 19. Jahrhundert wird vermutet, dass hier Kohlendioxid im Spiel war.

Plutarch, der eine Zeitlang selbst als Apollon-Priester in Delphi wirkte, äußert sich ebenfalls über ein merkwürdiges Phänomen, das in Zusammenhang mit dem Orakel steht, und das auf CO<sub>2</sub> hindeuten könnte. In seiner Schrift über den Niedergang der Orakel (*De defectu oraculorum*) spricht er gegen Ende (ab 443 E) über ein *μαντικὸν πνεῦμα*, einen prophetischen Hauch oder auch Rauch, der der Erde entsteige; auch spricht er von einer Ausdampfung (*anathymiasis*) oder einen Strom, Fluss (*rheuma*). War dies CO<sub>2</sub>? Viele Archäologen glauben das, auch wenn die Flüchtigkeit des Stoffes einen Beweis schwierig macht.

Zuletzt erschien zu dieser Frage 2008 eine ausführliche Studie von Luigi Piccardi, einem italienischen Geologen. Piccardi meint, dass es ein Gemisch aus Schwefelwasserstoff und CO<sub>2</sub> war, das eine Zeitlang, und zwar in Folge eines Erdbebens, in der Nähe des Tempels des delphischen Apollons austrat. Er führt eine Vielzahl geologischer Indizien bei, die nicht unplausibel sind, aber auch nicht so eindeutig, dass man von einem Beweis sprechen möchte. Vielleicht war es ja doch der Gott selbst, und nicht das CO<sub>2</sub>, das für die Weissagung verantwortlich war.

Bleiben wir noch bei den antiken Höhlenbeschreibungen. So berichtet der antike Reiseschriftsteller und Geograph Pausanias von der Trophonioshöhle (im 9. Buch seiner Beschreibung Griechenlands, Kap. 9.39 ff), einer Orakelstätte in Boiotien, einer gebirgigen Gegend in Griechenland. Trophonios war ein Sohn des Apollon, ein Unterweltsgott. Er hatte, so erzählt die Sage, gemeinsam mit seinem Bruder den Tempel in Delphi erbaut, anschließend jedoch seinen Bruder erschlagen und sich dann in jene Höhle bei Lebadeia (heute Livadia) geflüchtet, wo er starb.

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

führen. Daher beim Experimentieren mit CO<sub>2</sub> immer gut lüften!

Kinder dürfen nur im Beisein von Erwachsenen mit dem Wassersprudler und mit Trockeneis hantieren!

### CO<sub>2</sub> ist schwerer als Luft

Hierfür brauchen wir unseren umgebauten CO<sub>2</sub>-Sprudler. Man nimmt einen Luftballon, streift ihn über das Schlauchende und betätigt den Knopf: Der Luftballon füllt sich mit CO<sub>2</sub> und wird verknotet, so dass das CO<sub>2</sub> nicht mehr entweichen kann. Jetzt wird ein zweiter Luftballon aufgeblasen – diesmal mit Atemluft – und ebenfalls mit einem Knoten verschlossen. Nun hebt man beide Ballons in die Höhe und lässt sie gleichzeitig fallen. Der CO<sub>2</sub>-Luftballon ist sehr viel schneller unten.



CO<sub>2</sub> ist ca. 1,6 mal schwerer als Luft. Deshalb sammelt es sich in Bodennähe an. An allen Orten, an denen CO<sub>2</sub> austritt, sind daher kleine Lebewesen besonders gefährdet. So tritt CO<sub>2</sub> zum Beispiel in Burundi in Zentralafrika an verschiedenen Orten aus – es handelt sich dabei um natürliche Entgasungen, die auf vulkanische Aktivität zurückgehen. Dieses CO<sub>2</sub> heißt dort mit einem Suaheli-Wort Mazuku, was übersetzt bedeutet: Böser Wind. Es sammelt sich in Bodenkühen und ist eine ernste Gefahr – besonders für kleine Kinder, die in solche Kühen hineinlaufen. Bei uns in Deutschland gibt es auch einige Orte, an denen CO<sub>2</sub> natürlich austritt: Die Vulkaneifel ist ein solcher Ort, und es kommt nicht von ungefähr, dass es in dieser Gegend einige große Sprudelhersteller und Getränkeunternehmen gibt. Am Laacher See blubbert das CO<sub>2</sub> an bestimmten Stellen empor.



Er gab jenen, die ihn besuchten, die Fähigkeit, die Zukunft zu sehen. Wer das Orakel besuchte, musste umfangreiche Vorbereitungen treffen: So hatte er sich zunächst mehrere Tage in einem Haus aufzuhalten, das dem Agathodaimon (guter Geist) und der Tyche (gutes Geschick) geweiht war. Während dieser Zeit unterzog er sich rituellen Reinigungen am Fluss Herkyna. Vor dem Hinabsteigen in die Höhle mussten mehrere Tiere geopfert werden, von deren Fleisch sich der Fragende ernährte. Bei jeder Opferung waren Priester zugegen, die eine Eingeweideschau vornahmen. Schließlich begab sich, nach weiteren Vorbereitungen, der Orakelsuchende in die Höhle, die auf einem Berg lag. Dort ließ er sich auf einer Leiter in einen Erdschlund hinab und zwängte sich schließlich durch einen schmalen Felsspalt in das Allerheiligste. Hier hörten nun manche etwas, wie Pausanias berichtet, andere hingegen sahen etwas. Am Ende scheinen aber die meisten der Bewusstlosigkeit nahe gewesen sein. Hier lag eine akute Gefahr, denn der Orakelsuchende musste sich selbst aus dem engen Spalt wieder herauszwängen. Oben wurde er dann von Priestern in Empfang genommen, auf den Thron der Mnemosyne, der Erinnerungsmuse gesetzt und befragt. Anschließend wurde er seinen Begleitern übergeben und erlangte sein Bewusstsein erst nach und nach vollständig wieder. Auch hier kann man annehmen, dass die Orakelsuchenden eine Kohlendioxidvergiftung erlitten – denn zu den bekannten Symptomen solcher Vergiftungen, die schon bei einem CO<sub>2</sub>-Gehalt von 4 Prozent auftreten können, zählt neben Delirien, Krämpfen, Schwindel und starker psychischer Erregung auch das Ohrensausen [13].

## CO<sub>2</sub> lehrte uns, das Ganze zu sehen

Sehen wir uns ein Zweites an, das wir dem CO<sub>2</sub> verdanken. Ich komme damit auf seine wissenschaftshistorische Bedeutung. CO<sub>2</sub> hat eine einzigartige Stellung in der Wissenschaftsgeschichte, weil es das erste Gas war, das als solches benannt wurde. CO<sub>2</sub> stand bei der Formung des Gasbegriffs

Pate, denn es lässt sich leicht isolieren: in Brauereien und auch Winzereien konnte man es einfach abschöpfen und untersuchen. Es hat zudem aufgrund seines bizzeligen Geruchs eine prägnante stoffliche Identität – es lädt geradezu dazu ein, in ihm etwas besonderes zu erkennen, nicht nur einen beliebigen „Dampf“. Der Alchemist Johann Baptist van Helmont bezeichnete es als „zusammengesessenen Geist“ (so die schöne Übersetzung von Rosenroths) oder auch *Spiritus Sylvester* (wilder Geist). CO<sub>2</sub> erschloss der Chemie den Luftraum: ein entscheidender Schritt. Denn erst die Einbeziehung der Gase (der „Luftarten“, wie man zunächst sagte) ermöglichte der Chemie das vollständige Studium stofflicher Metamorphosen, erst durch den Gasbegriff und die diesem hinterherwachsende pneumatische Experimentiertechnik wurde die Chemie universell. Alle anschließenden Fortschritte in der chemischen Theorie, insbesondere die Entdeckung des Periodensystems hängen von dieser einen Errungenschaft ab. Der Gasbegriff markiert einen entscheidenden Wendepunkt in der Geschichte der Chemie.

Aber das ist noch nicht alles. CO<sub>2</sub> führte auch zu einer zentralen ökologischen Einsicht. Die Analyse seiner natürlichen Funktionen führte erstmals zu der Einsicht, dass die Natur keine Ansammlung von vielen in sich schönen Einzelheiten ist, die bestenfalls durch ihre Rolle, dem Menschen zu dienen zusammenhängen. Auf den Spuren des CO<sub>2</sub> erkannte man erstmals, dass die Natur ein einziges, organisches Gebilde ist, in dem alles mit allem verbunden ist, die unscheinbarsten Dinge mit den größten und erhabens-ten.

Hier spielt ein britischer Prediger, Joseph Priestley, eine bestimmende Rolle. Ihn trieb eine bestimmte Frage um. Er hatte, wie schon viele andere vor ihm, festgestellt, dass seine „fixe Luft“ („fixed air“; er sprach auch von „mephitic air“: so nannten die Engländer den „zusammengesessenen Geist“ van Helmonts) nicht nur bei der Biergärung entsteht, sondern auch dort, wo viele Kerzen brennen oder viele

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

Gefährlicher ist sein Vorkommen in Brauereien, wo es infolge des Gärungsprozesses reichlich entsteht. Hier sammelt es sich ebenfalls in tiefergelegenen Räumen an und stellt eine ernsthafte Gefahr für die Arbeiter dar. Alle Brauereien haben daher CO<sub>2</sub>-Warngeräte, die meist in Kniehöhe installiert sind.

Lässt man die Ballons eine Weile liegen, dann stellt man fest, dass der CO<sub>2</sub>-Ballon sehr schnell einschrumpelt und bald platt ist. Das CO<sub>2</sub> greift die Ballonhaut an! Zunächst ärgerlich, aber das Phänomen zeigt auch, dass CO<sub>2</sub> bestimmte Stoffe löst. Ein Effekt, der längst technisch genutzt wird: CO<sub>2</sub> wird, meist in flüssiger Form, in der Industrie als Lösungsmittel verwendet – zum Beispiel bei der Herstellung entcaffeinierter Kaffees oder auch zur Kleiderpflege.

### In Cola ist ziemlich viel CO<sub>2</sub>

In Sprudel und überhaupt in allen Softdrinks ist ziemlich viel Kohlensäure enthalten: Pro Liter Getränk sind es über 4 Liter Kohlensäure. Meist merkt man das nicht, da die Kohlensäure langsam herausperlt. Nur, wenn alles plötzlich aufschäumt, dann wird es auffällig. Wie kann man aber die ganze Kohlensäure auf einen Schlag sichtbar machen?

Das gelingt mit folgendem Versuch, der unter der Bezeichnung Cola-Mentos-Fontäne oder auch Colafontäne eine echte Internetsensation wurde und weltweit für viel Freude gesorgt hat. Im Internet finden sich viele Filme, in denen solche Fontänen zu sehen sind, und es gibt Akrobaten, die zugleich zehn oder zwanzig Colaflaschen oder sogar hunderte Colaflaschen zünden (zu sehen z.B. auf [www.eeppybird.com](http://www.eeppybird.com)). Am besten funktioniert

dieses Experiment mit Cola Light, da in normaler Cola weniger CO<sub>2</sub> gelöst ist – denn hier ist das Wasser durch den vielen Zucker schon mehr oder weniger gesättigt und kann kaum noch etwas aufnehmen. Übrigens: den Versuch sollte man unbedingt draußen durchführen!

Man benötigt 1 Literflasche Cola Light und 4 Mentos-Bonbons. Der Versuch: Einfach die vier Mentos-Bonbons in die eben geöffnete Cola-Light-Flasche werfen und zurücktreten. Man muss alle vier auf einmal hineinwerfen, also zwischen zwei Finger schieben und rein damit! Das plötzlich austretende CO<sub>2</sub> nimmt fast die gesamte Flüssigkeit mit und es entsteht ein wirklich ansehnlicher Geysir. Natürlich kann man diesen Versuch noch vielfach abwandeln – auf der genannten Webadresse findet man sogar Spezialverschlüsse, die noch tollere Effekte erzeugen! Aber der ganz einfache

Menschen atmen. Lässt man eine Kerze gar in einem abgeschlossenen Gefäß brennen, dann erlischt sie bald, genauso wie eine Kerze, die mit Kohlendioxid begossen wird. Die Luft, in der die Kerze verlöscht ist, kann von keinem Tier mehr geatmet werden; Mäuse ersticken darin. Sie ist „verdorben“ und zwar, wie Priestley meinte, durch ein Übermaß an Phlogiston, das diese Luft aufnehmen musste. Wie, so fragte sich Priestley, könnte man diese verdorbene Luft wiederherstellen? Konnte man die „fixe Luft“ wieder in gute, atembare Luft zurückverwandeln? Priestley war nicht der erste, der sich diese Frage stellte. Zu seiner Zeit gab es zwar noch keine richtige universitäre Forschung, dafür aber eine ganze Menge spleeniger Lords und Müßiggänger, die sich in ihrer reichlich vorhandenen freien Zeit mit allen möglichen und unmöglichen Fragen befassten und diese natürlich nach Art der Adligen schnurstracks lösten. So meinte ein gewisser Graf von Saluce, dass man solche „verdorbene Luft“ wiederherstellen könne, indem man sie entweder abkühle oder indem man sie in einer Schweinsblase gewissermaßen zärtlich massiert und sie so wieder zum Leben zurückbefördert. Allen diesen Hinweisen ging der sorgfältige Priestley nach. Aber nachdem er die Resultate des Grafen bei seinen Versuchen nicht bestätigen konnte, versuchte er etwas Neues.

Und dabei kommt nun eine ganz besondere Pflanze ins Spiel, die Minze. Wir wissen nicht, weshalb er gerade diese Pflanze wählte. Meine Vermutung ist, dass Priestley sich sagte: Wenn der Atem nach dem Genuss von Minze angenehm duftet, ja, wenn Minzblätter auf den Boden gestreut werden, um die Luft in einem Raum angenehmer zu machen, dann kann diese Pflanze vielleicht die phlogistonübersättigte Luft wieder reparieren! Damals wuchs die Minze in vielen englischen Hausgärten. Zwar bekränzte man sich nicht mehr, wie noch im antiken Griechenland, mit Minzweigen, aber sie wurde als Tee getrunken, als Gewürz verwendet und hatte damals wie auch heute noch viele Anwendungen als Heilmittel. Priestley setzte also in eines sei-

ner Glasgefäße, das mit verdorbener Luft angereichert war, einen Stängel Minze, und gab noch etwas Wasser dazu, damit die Pflanze nicht gleich eingehe. Die Minze und ihr zarter, verführerischer Duft wurde zur Muse seiner wissenschaftlichen Arbeit – und bescherte ihm eine der bedeutendsten Einsichten der modernen Naturwissenschaft. Ich zitiere aus der zeitgenössischen Übersetzung seiner Arbeiten, in der statt von der Minze von der Münze gesprochen wird:

*„Ich setzte hierauf am 17. August 1771 einen Stängel von der Münze in eine Menge Luft, in der ein Wachslicht ausgelöscht war, und fand am 27. eben dieses Monats, dass ein anderes Licht vollkommen gut darinne brannte.“ [24].*

Neugierig wie Priestley war, versuchte er, ob es nur die duftende Minze ist, die die Kraft hat, die schlechte Luft wieder gut zu machen, oder ob nicht andere Kräuter denselben Dienst tun. Er erprobte erst einmal eine nahe, ebenfalls duftende Verwandte der Minze, die Melisse. Dann wurde er kühner und probierte es schließlich sogar mit einer stinkenden Pflanze – auch sie machte aus der fixen Luft Atemluft. Auf den guten Geruch kam es also gar nicht an! Priestley beobachtete auch, dass Minze in CO<sub>2</sub> sogar weit besser gedeiht als solche, die in normaler Luft stehengelassen wird. Priestley verallgemeinerte kühn, dass *alle* Pflanzen sich von jener fixen Luft ernähren – solange sie wachsen [26]. Das, was die Tiere und die Menschen verbrauchen, stellen sie stillschweigend wieder her – Stunde für Stunde.

Seine Zeitgenossen erkannten die ungeheure Tragweite seiner Entdeckung sofort. Tatsächlich handelt es sich hier um die zentrale ökologische Einsicht, auch wenn man damals den Namen Ökologie, der erst von Ernst Haeckel geprägt wurde, noch nicht verwandte. Uns ist diese Einsicht so geläufig, dass wir blind für ihren revolutionären, beglückenden Gehalt sind.

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

che Effekt ohne Zurüstung ist schon eindrucksvoll genug.

### CO<sub>2</sub> macht es warm

Die Sonne bestrahlt die Erde und erwärmt sie dabei. Das Licht, das sie aussendet, wird von der Erdoberfläche zum Teil in infrarote Strahlen (Wärmestrahlung) umgewandelt. Man kann sie normalerweise nicht sehen. Sie sind aber maßgeblich für die Temperatur der Luft. Weil die Erde beständig infrarote Strahlen aussendet, ist die Luft in Erdnähe wärmer als die Luft in größeren Höhen – wie man bei jedem Flug feststellen kann.

In der Atmosphäre gibt es mehrere Gase, die ebenfalls in der Lage sind, infrarote Strahlung zu absorbieren und dann wieder auszustrahlen. Hierzu gehört in erster Linie der Wasserdampf, aber auch Spurengase wie das CO<sub>2</sub> oder Methan und

andere. Diese Gase bewirken zusammen den Treibhauseffekt, ohne den die Temperatur auf Erden bei minus 18 Grad Celsius läge.

In der didaktischen Literatur werden viele Experimente genannt, die angeblich den Treibhauseffekt beweisen. Fast alle sind jedoch irreführend, da sie nicht den Treibhauseffekt des CO<sub>2</sub> nachweisen, sondern nur verdeutlichen, dass Glastreibhäuser und Wintergärten wirklich funktionieren. Der Umstand, dass die Luft in einer umgekehrten gläsernen Salatschüssel wärmer wird als die Umgebungsluft ist aber nicht auf CO<sub>2</sub> zurückzuführen sondern darauf, dass die Konvektion unterbleibt! Die wenigen Versuche, die wirklich auf den Temperatureffekt von CO<sub>2</sub> abzielen, sind ausnahmslos hochkompliziert und bisweilen auch nicht reproduzierbar. Angesichts der wissenschaftlichen und vor allem auch politischen Bedeu-

tung des Phänomens wahrlich eine erschreckende Bilanz!

Der im folgenden beschriebene Versuch geht einen neuen Weg und ist in der hier beschriebenen Form der einzige, der tatsächlich zuverlässig in kürzester Zeit und mit einfachsten Mitteln den CO<sub>2</sub>-Treibhauseffekt nachweist.<sup>1</sup>

Man benötigt: Zwei Einweg-Plastikflaschen Cola (Ein Liter oder 1,5-Liter; am besten Cola-light, in der besonders viel CO<sub>2</sub> gelöst ist), einen Baustrahler aus dem Baumarkt (ohne Energiesparlampe, je mehr Watt, desto besser!!), zwei Innen-Außen-Thermometer.

Der Versuch: Man entleert eine der beiden Colaflaschen in einen Topf, lässt die Cola ca. 2 Tage stehen, bis alle Kohlensäure herausgeblubbert ist (ev. ab und an hin- und herschwenken). Anschließend füllt man die ausgegaste Cola wieder zu

## CO<sub>2</sub> ist Chancengleichheit

Soweit einige Einsichten, die wir dem CO<sub>2</sub> verdanken. Blicken wir nun kurz auf den Stoff selbst. Das auffälligste an ihm ist, dass es ein Gas ist. Für den CO<sub>2</sub>-Freimacher und für alle CO<sub>2</sub>-Jäger ist die gasförmige Natur unseres Stoffes eigentlich das Haupttargernis. Wäre es doch nur fest! Dann könnte man es zusammenkehren, in Fässer schippen und relativ leicht endlagern. Andererseits würden uns dann freilich auch die ungeheuren Mengen CO<sub>2</sub>, die wir tagtäglich durch unseren Lebensstil produzieren, viel stärker auffallen. Die Vulkane produzieren bekanntlich nur einige hundert Millionen Tonnen. Die CO<sub>2</sub>-Produktion der Menschen wird in Milliarden Tonnen gemessen.

Die Tatsache, dass CO<sub>2</sub> gasförmig ist, macht es aber auch so angsterregend. Es gilt als unsichtbar, und gerade das Unsichtbare besorgt uns Menschen am stärksten.

Tatsächlich ist es höchst überraschend, geradezu eine Anomalie, dass CO<sub>2</sub> gasförmig ist. Denn fast alle anderen Oxide von fast allen anderen Elementen sind nicht gasförmig, sondern Feststoffe.

Wie stellt sich diese Gasförmigkeit, diese Anomalie des CO<sub>2</sub>, aus Sicht des Lebens dar? Dazu müssen wir kurz auf den Kohlenstoff selbst blicken.

Kohlenstoff ist das Schlüsselement des Lebens, sein Hauptbaustoff. C-Atome sind flexibel wie kein anderes Atom. Sie bilden Gruppen und Kreise, Netze und Cluster, alles. In alle Richtungen des Periodensystems sind sie offen, fast allen anderen Atomen können sie die Hand zu Verbindungen reichen. Deshalb sind 95 Prozent aller chemischen Stoffe, die wir überhaupt kennen, Kohlenstoffverbindungen.

Kohlenstoff hört sich in unseren Ohren dennoch nicht sehr speziell an. Der Name erinnert an schmutzige Kohlen. Man meint, damit sei ein häufiger Stoff bezeichnet, schließlich gibt es allenthalben Kohlenstoff. Kohlenstoff ist nichts Edles. Etwas zum Verbrennen. Meinen wir.

Tatsächlich ist Kohlenstoff sehr selten auf Erden. Von 100.000 Atomen aus der Erdkruste sind nur etwa 60 Koh-

lenstoffatome! Kohlenstoff ist weitaus seltener als zum Beispiel Sauerstoff oder Magnesium, als Eisen oder gar Silicium. Wenn wir die Carbonatgesteine, in denen der größte Teil des Kohlenstoffs fixiert ist, abziehen, und erneut nachrechnen, dann liegt der Kohlenstoffgehalt der Erdkruste sogar nur bei 1 Promille! Es ist nicht viel Übertreibung dabei, wenn ich sage, Kohlenstoff ist beinahe so selten wie Gold.

Was aber bedeutet die Seltenheit des Kohlenstoffs für das Leben? Weil Kohlenstoff so selten ist, und weil es andererseits Grundbaustein des Lebens ist, muss jedes Kohlenstoffatom recycelt werden. Tatsächlich gehen im Kreislauf des Lebens auch nur sehr wenige Kohlenstoffatome verloren. Deshalb finden Archäologen oder Paläontologen auch so selten organische Materialien. Alles andere bleibt eher erhalten, insbesondere das Gold und die Edelsteine, die *wir* als selten und kostbar bezeichnen! Für das Leben wertloser Kram – im Gegensatz zum Kohlenstoff. Deshalb gehen nur winzige Bruchteile organischen Materials im globalen Kreislauf verloren. Sie bilden Kohle-Lagerstätten, Erdölvorkommen und Erdgas. Dies sind Rücklagen des Lebens, die normalerweise nach und nach durch die Plattentektonik wieder freigesetzt werden. Ihre Recyclierung ist aufgeschoben.

Alles, woraus wir heute aufgebaut sind, steckte vorher in anderem Leben und wird wieder in neuem Leben stecken. Die Kohlenstoffatome meiner Hand steckten zum Beispiel mit Sicherheit schon einmal in urzeitlichen Fischen, in Palmen an einem Strand, in winzigen Algen, in Vögeln. Meine Hände waren Blätter, Augen, Flügel. Gerade der Kohlenstoff wird deshalb, wenn wir sterben, mit Sicherheit restlos verwertet werden.

Vor diesem Hintergrund aber erhält die Gasförmigkeit des CO<sub>2</sub> eine ganz neue Bedeutung. Denn nur sie ermöglicht diese perfekte, unendlich komplexe und unendlich genaue Kreislaufwirtschaft. Wäre Kohlenstoff ein unlöslicher Feststoff, so wäre das Leben ein Fehlstart geworden, weil ihm das Material ausgegangen wäre. Wäre CO<sub>2</sub> eine Flüssigkeit, dann wäre es aus dem Wasser nie herausgekom-

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

ca. 1/4 bis 1/3 in die Einwegflasche. Nun öffnet man die zweite Colaflasche, gießt soviel von der sprudelnden Cola ab, bis die Flüssigkeit in beiden Flaschen den gleichen Stand hat. Man fädelt die Messfühler (= lange Kabel mit einem metallischen Nippel) des Innen-Außen-Thermometers in die Colaflaschen (je ein Messfühler in je eine Flasche). Die Messfühler dürfen die Flaschenwände nicht berühren und sollten einige Zentimeter über der Wasseroberfläche hängen.) Man liest die Temperatur ab und notiert sie – sie sollte in etwa gleich sein, doch kann es sein, dass aufgrund der überall vorhandenen Wärmestrahlung jetzt schon eine höhere Temperatur in der CO<sub>2</sub>-Flasche ablesbar ist. Man verschließt nun die Flaschen mit den Drehverschlüssen, was nicht ganz gehen wird, da ja die Kabel dazwischenhängen. Ein wirklich dichter Verschluss ist auch nicht nötig, aber eine Abdeckung

ist dennoch wichtig. Wichtig ist, dass nach dem Verschließen die beiden Messfühler immer noch frei in der Luft hängen und etwa auf gleicher Höhe sind.

Nun stellt man den Baustrahler etwa zwanzig Zentimeter vor den Flaschen auf und schaltest ihn ein: Beide Flaschen sollten gleichmäßig beschienen werden. Die schwarze Cola nimmt die Energie auf und wandelt sie in Wärmestrahlen um. Und diese wiederum, zusammen mit der direkten Einstrahlung, erwärmen die Flaschenatmosphäre. Die CO<sub>2</sub>-reiche Flaschenatmosphäre erwärmt sich deutlich stärker, als die CO<sub>2</sub>-arme Atmosphäre der abgestandenen Cola. Der Unterschied steigert sich, je länger man die Flaschen bestrahlt, er beträgt 1 bis 2 Grad. Nach ca. 5 Minuten Bestrahlung kann man den Versuch abbrechen. Man kann den Temperaturunterschied nicht nur messen, man kann ihn





men. Nur weil CO<sub>2</sub> ein Gas ist, das sich hervorragend in Wasser löst, konnte das Leben universell werden, Land und Luft erobern. Nur deshalb kann das Leben liquide bleiben.

CO<sub>2</sub> ist für das Leben der allerwichtigste Stoff, Vorstufe buchstäblich allen Lebens! Alles, was wir sehen, wenn wir „ins Grüne“ blicken, war einmal CO<sub>2</sub>: Weizen und Mohn, Apfel und Erdbeere, Blüte und Gras.

Wenn CO<sub>2</sub> in Wasser gelöst wird, hat es zwei Hydroxylgruppen und damit schon die Grundstruktur vieler organischer Moleküle. Aber CO<sub>2</sub>, das schwerer ist als Luft und sich daher in Bodennähe ansammelt, kann noch mehr. Als schwache Säure löst es den Fels, mobilisiert Spurenelemente und Mineralien und bereitet dem Leben einen Boden, auf dem es gedeihen kann, wenn nicht gar Nischen und Höhlen, in die es sich zurückziehen kann.

CO<sub>2</sub> ist der letzte Weg allen Fleisches, wie Primo Levi in seinem *Periodischen System* richtig sagte. Deshalb ist auch aus heutiger Perspektive wahrscheinlich, dass nach dem Klimawandel, wie auch immer er ausfallen wird, auf lange (!) Sicht der CO<sub>2</sub>-Mangel das Leben bedroht. CO<sub>2</sub>-Starvation: Die Pflanzen werden an CO<sub>2</sub>-Mangel eingehen, und damit werden dann auch die Tiere ihr Ende finden, lange bevor die Erde durch die Erwärmung der Sonne so heiß wird, dass auf ihr ohnehin kein Leben mehr möglich sein wird. Auch in dieser sehr langfristigen Projektion zeigt sich, dass die Charakterisierung des CO<sub>2</sub> als Lebenselixier treffender ist als seine Bezeichnung als Klimakiller.

### Zusammenfassung

Die in der öffentlichen Diskussion verbreitete Charakterisierung von CO<sub>2</sub> als Klimakiller wird in diesem Essay als Projektion kritisiert: Mit der Vokabel „Klimakiller“ wird aus einem politischen und kulturellen Problem ein technisches gemacht. Zugleich wird der Blick auf das CO<sub>2</sub> selbst verstellt. Daher stellt sich der Autor in die Tradition der *enkonomia paradoxa*, der paradoxen Lobreden und stimmt eine *Laudatio* auf das CO<sub>2</sub> an. Er zieht dazu Fakten aus der Religionsgeschichte, aus der Wis-

senschaftsgeschichte, aus der Kulturgeschichte und insbesondere aus der ökologischen Chemie heran und stellt sie in einen größeren Zusammenhang. Ziel ist es, durch notwendige Provokationen zu einem realitätsnäheren Bild des Stoffes CO<sub>2</sub> zu gelangen. Experimente mit CO<sub>2</sub>, darunter auch das einfachstmögliche Experiment zum Treibhauseffekt, ergänzen die Darstellung.

### Summary

This essay is a thought-provoking *laudatio* of carbon dioxide. It shows, that this gas, albeit one of the causes of climate change, is an essential part of life on earth. The author tells the little known story of carbon dioxide and points on facts from science and from the history of science. Thus, he gives a three-dimensional picture of this unique substance. Without being a „climate sceptic“, he criticises the common picture of CO<sub>2</sub> as a reification. A couple of new didactic experiments on CO<sub>2</sub>, including an impressive and simple experiment on the greenhouse effect, are added.

### Schlagworte

Kohlendioxid, Treibhauseffekt, Klimawandel

### Literatur

- [1] Atkins, P. W., *Im Reich der Elemente*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin 1997.
- [2] Berzelius, J. J., Essay on the cause of chemical proportions, and on some circumstances relating to them; together with a short and easy method of expressing them, *Annals of Philosophy* 1814, 3, 51.
- [3] Bösch, S., Reller, A. und Soentgen, J., Stoffgeschichten – eine neue Perspektive für eine transdisziplinäre Umweltforschung, *GAIA* 13 2004, 1, 19.
- [4] Billerbeck, M. und Zubler, C., *Das Lob der Fliege* von Lukian bis L. B. Alberti, Gattungsgeschichte, Texte, Übersetzungen und Kommentar, Peter Lang (Sapheneia, Bd. 5), Bern 2000.
- [5] Crawford, E., Arrhenius, From Ionic Theory to the Greenhouse Effect, Science History Publications, USA 1996.
- [6] Fernandez, R., El concepto de anathymiasis en Plutarco, Manuela García Valdés (ed.), *Estudios sobre Plutarco, Ideas Religiosas*, Actas del

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

auch fühlen: Nimmt man unmittelbar nach Versuchsende den Deckel ab und steckt den kleinen Finger in die CO<sub>2</sub>-reiche Flaschenatmosphäre, dann spürt man im Vergleich, dass diese wärmer ist als die CO<sub>2</sub>-arme Flaschenatmosphäre der abgestandenen Cola. Es ist also, wenn man mit einem solchen qualitativen Ergebnis zufrieden ist, auch möglich, den Versuch ohne Thermometer durchzuführen. Sogar auf den Baustrahler kann man verzichten, da man die Flaschen auch an einem heißen Sommertag in die Sonne stellen kann.

Dieser Treibhausversuch ist nicht nur der einzige, der mit einfachsten Mitteln auskommt und trotzdem funktioniert, er zeigt auch in der hier beschriebenen Form in aller wünschenswerten Deutlichkeit die Eigenschaften eines auf Kausalität ausgerichteten Experimentes: Zwei Situationen wer-

den geschaffen, die sich nur in einem einzigen Faktor unterscheiden – und so kann gezeigt werden, dass für die Wirkung auch tatsächlich genau dieser Faktor ausschlaggebend ist. Dass hierzu die Situation drastisch vereinfacht werden muss, kann an dem Experiment ebenfalls verdeutlicht werden. Allerdings gibt es in der Chemie und in der Physik auch andere Formen des Experimentierens, (z.B. das rein explorative Experimentieren), die ebenfalls notwendig sind.

### Haushaltsgeräte erzeugen CO<sub>2</sub>

Jedes Gerät, sei es ein Computer, eine Waschmaschine oder ein Trockner, erzeugt CO<sub>2</sub>. Zwar nicht direkt. Unmittelbar verbraucht es nur Strom. Doch der deutsche Strom wird überwiegend durch Verbrennung fossiler Energieträger gewonnen. Und genau dabei entsteht CO<sub>2</sub>.

Man kann nun einen Überblick über die CO<sub>2</sub>-Produktion der eigenen Haushaltsgeräte gewinnen, indem man ihren Stromverbrauch misst – und diesen Stromverbrauch in Gramm CO<sub>2</sub> umrechnet. Dazu benötigt man: Ein Strommessgerät, das man zum Beispiel kostenlos bei vielen Stadtwerken entleihen kann. Man kann solche Geräte auch für ca. 40 Euro im Handel erwerben. Mit einem einfachen Kniff lässt sich das Gerät in ein CO<sub>2</sub>-Messgerät umbauen.

Der Versuch: Fast alle Strommessgeräte erlauben es, dass man den Tarif eingeben kann. Eine Kilowattstunde Haushaltsstrom kostet in Deutschland etwa 20 Cent. Eine Kilowattstunde produziert derzeit im Durchschnitt 570 Gramm CO<sub>2</sub> (genaue Werte kann man beim Stromversorger erfragen). Wäre man statt von einem durchschnittlichen Stromversorger z.B. von einem „Ökostrom“-Anbie-

- III Simpoio International sobre Plutarco, Ediciones Clásicas, Madrid 1994, S. 25.
- [7] Fontenrose, J., *The Delphic Oracle. Its Responses and Operations*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles 1978.
- [8] Goodman, M., Suffer and Survive, Gas Attacks, Miners' Canaries, Spacesuits and the Bends, *The Extreme Life of Dr. J.S. Haldane*, Simon and Schuster, London, New York 2007.
- [9] Hales, S., Statical essays, containing vegetable statics; or, an account of some statical experiments on the sap in vegetables. Vol. I. By Stephen Hales. The second edition, with amendments London 1731. Eighteenth Century Collections Online, [www.galenet.gale-group.com](http://www.galenet.gale-group.com)
- [10] van Helmont, J. B. und Knorr von Rosenroth, C. (Übersetzer und Herausgeber), *Aufgang der Artzney-Kunst*, Band 1., Kösel-Verlag, München 1971 (1683).
- [11] van Helmont, J. B. und Knorr von Rosenroth, C. (Übersetzer und Herausgeber), *Aufgang der Artzney-Kunst*, Band 2., Kösel-Verlag, München 1971 (1683).
- [12] Herman, J. S., Water Chemistry in Caves, David C. Culver, William B. White, *Encyclopedia of Caves*, Elsevier Academic Press, Amsterdam, Bosten 2005, S. 609.
- [13] Lehewess-Litzmann, I., Kohlensäure-Vergiftungen, *Archives of Toxicology*, Springer, Berlin 1943, 1, 29.
- [14] Lersch, B.M., Geschichte der Balneologie, Hydroposie und Pegologie oder des Gebrauches des Wassers zu religiösen, diätischen und medicinischen Zwecken, *Ein Beitrag zur Geschichte des Cultus und der Medicin*, Verlag der Stahel'schen Buch- und Kunsthandlung, Würzburg 1863.
- [15] Levi, P., *Das Periodische System der Elemente*, Hanser, München 1987.
- [16] Needham, A. E., *The uniqueness of biological materials*, Pergamon Press, New York 1965.
- [17] Pagel, W., The wild spirit (Gas) of John Baptist von Helmont and Paracelsus, *Ambix*, Cambridge 1962, 10, 1.
- [18] Pausanias, *Beschreibung Griechenlands*, herausgegeben und übersetzt von Jacques Laager, Manesse, Zürich 2004.
- [19] Piccardi, L. und Masse, W. B. (Hrsg.), *Myth and Geology*, The Geological Society, London 2007.
- [20] Piccardi, L., Monti, C., Vaselli, O., Tassi, F., Gaki-Papanastassiou, K. und Papanastassiou, D., Scent of a myth: tectonics, geochemistry and geomythology at Delphi (Greece), *Journal of the Geological Society*, London 2008, Vol. 165, 5.
- [21] Plinius Secundus, G., Naturkunde, Lateinisch-deutsch, Buch 23, *Medizin und Pharmakologie. Heilmittel aus Kulturpflanzen*, Artemis & Winkler, München und Zürich 1993.
- [22] Plinius Secundus, G., Naturkunde, Lateinisch-deutsch, Buch 31, *Medizin und Pharmakologie. Heilmittel aus dem Wasser*, Artemis & Winkler, München und Zürich 1994.
- [23] Pohlenz, M., *Die Stoa. Geschichte einer geistigen Bewegung*, 2. Edition, Ggen, Vandenhoeck & Ruprecht 1959.
- [24] Priestley, J., *Versuche und Beobachtungen über verschiedene Gattungen der Luft*, Teil 1, Rudolph Gräffer, Wien und Leipzig 1778. Digitalisiert unter: <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/home>
- [25] Reuter, K., Über Kohlensäurevergiftung, insbesondere als Mittel zum Selbstmord, *Friedrichs's Blätter für gerichtliche Medizin und Sanitätspolizei*, Nürnberg 1914, 65, 161.
- [26] Streller, S. und Roth, K., *Mein kleiner grüner Kaktus*, Chem. unserer Zeit 2010, 44, 284.
- [27] Soentgen, J. und Reller, A. CO<sub>2</sub> – Lebenselixier und Klimakiller, oekom Verlag, München 2009.
- [28] Weart, S. R., *The Discovery of Global Warming*, Harvard University Press, Cambridge, London 2003.

## Der Autor



Jens Soentgen, geb. 1967 in Bensberg, studierte Chemie (Staatsexamen 1994), promovierte aber in Philosophie mit einer Arbeit über den Stoffbegriff (1996). Lehraufträge führten ihn anschließend an verschiedene Universitäten in der Bundesrepublik. Mehrfach war er in Brasilien als Gastprofessor für Philosophie tätig. Seit 2002 ist er wissenschaftlicher Leiter des Wissenschaftszentrums Umwelt der Universität Augsburg. Gemeinsam mit einem interdisziplinären Team konzipierte und realisierte er die Ausstellungen Staub – Spiegel der Umwelt und CO<sub>2</sub> – Ein Stoff und seine Geschichte ([www.staubausstellung.de](http://www.staubausstellung.de) bzw. [www.co2-story.de](http://www.co2-story.de)). Jens Soentgen gibt im oekom-Verlag die Reihe Stoffgeschichten heraus, in der bereits Bände über Aluminium, Holz, Staub, Kaffee sowie CO<sub>2</sub> erschienen.

### Korrespondenzadresse:

Dr. Jens Soentgen  
Universität Augsburg  
Wissenschaftszentrum Umwelt  
Universitätsstraße 1a  
86159 Augsburg  
E-Mail: [soentgen@wzu.uni-augsburg.de](mailto:soentgen@wzu.uni-augsburg.de)

## EXPERIMENTE MIT CO<sub>2</sub>

ter versorgt, dann würde der Strom kein einziges Gramm CO<sub>2</sub> erzeugen – weil er dort nämlich aus Windkraft oder Wasserkraft oder auch aus Photovoltaik erzeugt wird. Umgekehrt – wenn der Strom insgesamt nur aus der Verbrennung von Braunkohle generiert würde, dann wären es rund 1000 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde. Aber im Durchschnitt sind es in Deutschland derzeit 570 Gramm. Denn außer aus Braunkohle gewinnen wir unseren Strom auch aus Erdgas, aus Kernkraftwerken, aus Wasserkraft oder Windenergie.

Diese 570 Gramm – oder 0,57 Kilogramm kann man nun statt der 20 Cent als Tarife eingeben. Dann zeigt das Strommessgerät einem an, wieviel Gramm oder Kilogramm das Gerät, welches man gerade misst, im Durchschnitt produziert. Eine interessante Information! Wenn das Strommessgerät keine Programmierung zulässt, kann man

durch Umrechnen aus den verbrauchten Kilowattstunden die CO<sub>2</sub>-Produktion errechnen.

Wenn man nun mit dem Strommessgerät den eigenen Haushalt durchmisst, erhält man, vielleicht erstmals, ein Gefühl dafür, was alles verbrannt werden muss, damit wir unseren alltäglichen Komfort aufrechterhalten können. Und, vielleicht noch wichtiger, man erhält ein Gefühl dafür, wo besonders viel Energie geschluckt wird. Manchmal sind es ganz kleine Geräte, die sogar dann, wenn sie ausgeschaltet sind, munter weiter Strom ziehen! Dies kann man oft unterbinden. Und zwar entweder, indem man die Geräte ersetzt, oder indem man eine Steckerleiste kauft, die das Gerät dann, wenn es nicht genutzt wird, auch tatsächlich vom Netz nimmt. Wo wir gerade beim Energiesparen sind: Natürlich ist es auch empfehlenswert, Energiesparlampen zu kaufen. Denn die ver-

brauchen nur ein Minimum des Stromes, den sonstige Lampen benötigen.

Ansonsten gilt, dass der Stromverbrauch nur einen Teil des CO<sub>2</sub> darstellt, den ein normaler Haushalt produziert. Die größte Energiemenge – und damit auch der größte CO<sub>2</sub>-Ausstoß ist mit dem Heizen verbunden – und mit der Warmwasserbereitung. Aber um diese herunterzuregulieren, reichen einfache Maßnahmen wie der Kauf einer Steckerleiste in der Regel nicht.