

Unser großer Luft- Ozean (1)

Wetter ist das, was wir jeden Tag erleben. **Klima** ist die Summe aller Witterungsverläufe über eine bestimmte Zeitspanne, und zwar entweder für eine bestimmte Region oder für unseren Planeten als ganzes. Dies alles wird in unserer Erdatmosphäre hervorgerufen.

DIE ATMOSPHERE UNTERGLIEDERT SICH in vier verschiedene Schichten. Jene unterscheiden sich durch ihre jeweilige Temperatur und die Richtung ihres Temperaturverlaufs. Der unterste Bereich der Atmosphäre heißt *Troposphäre*. Ihr Name bedeutet „*Sphäre, in der umgewendet wird*“. Sie hat diesen Namen erhalten, weil die vertikale Durchmischung der Luft für sie charakteristisch ist. Die Troposphäre reicht durchschnittlich bis in 12 km über der Erdoberfläche. Sie enthält bereits 80 % aller atmosphärischen Gase. Dabei ist nur ihr unteres Drittel, das schon die Hälfte aller Gase in der Atmosphäre enthält, der Teil, den wir atmen können.

Das Entscheidende an der Troposphäre ist, dass ihr Temperaturverlauf „auf dem Kopf steht“: An der Erdoberfläche ist sie am wärmsten und nach oben kühlt sie sich um 6,5°C pro Kilometer Höhenunterschied ab. Man könnte ja erwarten, dass die Luft dort am wärmsten ist, wo sie der Sonne am nächsten kommt. Aber so ist es nun mal nicht, und gerade deswegen wird die gründliche Durchmischung der Troposphäre hervorgerufen. Schließlich steigt warme Luft nach oben.

Die Troposphäre besitzt noch eine Besonderheit, deren sich viele Menschen gar nicht bewusst sind: Sie ist der einzige Bereich der Atmosphäre, dessen durch den Äquator getrennte nördliche und südliche Hälften sich kaum durchmischen. Die Bewohner der Südhalbkugel leiden somit unter weniger Luftverschmutzung als die Menschen auf der stärker bevölkerten Nordhalbkugel. Der Blick zum Horizont und zum Sternenhimmel ist auf der Südhalbkugel weniger eingeschränkt als in der nördlichen Hemisphäre. (!)

Die *Tropopause* trennt die Troposphäre von der darüber liegenden *Stratosphäre*. Im Gegensatz zur Troposphäre wird die Stratosphäre mit zunehmender Höhe immer wärmer. Das liegt am Ozongehalt der oberen Stratosphäre. Ozon fängt die Energie des ultravioletten Lichtes ein und strahlt sie als Hitze wieder ab. Da sie nicht von aufsteigender warmer Luft durchmischt wird, ist die Stratosphäre deutlich geschichtet und starke Winde zirkulieren darin.

Etwa 50 km über der Erdoberfläche folgt die *Mesosphäre*. Sie ist mit - 90° C der kälteste Bereich der Gesamtatmosphäre. Darüber schließt sich noch die letzte Schicht der Atmosphäre an, bestehend aus einem sehr dünnen Gas. Man nennt sie *Thermosphäre*. Dort können Temperaturen von 1000°C erreicht werden, aber weil die Gase so hauchfein verteilt sind, ist jene Temperatur nicht echt fühlbar.

UNSER GROßER LUFTOZEAN setzt sich zu 78 % aus **Stickstoff**, zu 20,9 % aus **Sauerstoff** und zu 0,9 % aus **Argon** zusammen. Diese drei Gase machen über 99,95 % der Luft aus, die wir atmen. Hinzu kommt, dass diese Luft Wasserdampf aufnehmen kann. Aber diese Fähigkeit hängt von ihrer Temperatur ab. Je höher sie ist, desto mehr Wasserdampf kann darin enthalten sein. Im Durchschnitt besteht das, was wir bei 25 Grad einatmen, zu 3 % aus **Wasserdampf**.

Dürfen wir nun das verbleibende Zwanzigstel von einem Prozent, das sich noch in den erwähnten Gasen der Atmosphäre befindet, vernachlässigen oder einfach unter den Tisch fallen lassen? Nehmen wir zum Beispiel das **Ozon**. Seine Moleküle setzen sich aus drei Sauerstoffatomen zusammen. Diese sind selbst im Rahmen dieser winzigen Minderheit von „**Spurengasen**“ ziemlich selten. Ozon macht nur zehn von einer Million Molekülen aus, die

in den Strömungen unseres Luftozeans umgewälzt werden. Jedoch ohne den Schutzeffekt jener zehn Moleküle pro Million würden wir bald erblinden, an Krebs sterben oder eine ganze Reihe anderer Probleme bekommen.

Ebenso wichtig für unser Fortbestehen sind die Treibhausgase, von denen CO₂ das häufigste ist. Weniger als vier von 10.000 Molekülen in unserer Atmosphäre sind davon vorhanden, doch spielt dieses Gas eine entscheidende Rolle dabei, uns vor dem Erfrieren zu schützen, und gerade weil es so rar ist, genauso vor einer Überhitzung zu bewahren. (623 Wörter)

Unser großer Luft- Ozean (2)

TREIBHAUSGASE haben eine große Macht über die Temperaturverhältnisse auf einem Planeten. Die Atmosphäre der Venus besteht zu 98 % aus CO₂. Ihre Oberflächentemperatur beträgt ca. 470° C. Sollte Kohlendioxid einmal einen Anteil von nur 1 % in unserer Atmosphäre erreichen, würde die Oberflächentemperatur der Erde nahe an den Siedepunkt kommen. CO₂ ist das häufigste der Spuren- oder Treibhausgase auf unserem Planeten. Es entsteht, wenn wir etwas verbrennen oder wenn etwas sich zersetzt.

Seit den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hat der Wissenschaftler *Charles Keeling* regelmäßig den *Mount Mauna Loa* auf Hawaii bestiegen, um dort möglichst ohne irgendeine Verfälschung die CO₂- Konzentration in der Atmosphäre zu messen. Aus seinen Werten entwickelte er eine grafische Darstellung, die *Keeling -Kurve*. In ihr kann man entdecken, dass unser Planet „atmet“. In jedem Frühling auf der Nordhalbkugel, wenn die sprießenden Pflanzen unserer Lufthülle CO₂ entziehen, beginnt das große Einatmen unserer Erde. Die CO₂ - Konzentration geht zurück. Wenn dann im Herbst die Zersetzung CO₂ erzeugt, kommt es zum „Ausatmen“; das die Luft wieder mit CO₂ anreichert.

KEELING ENTDECKTE aber noch etwas anderes: dass nach jedem Ausatmen ein bisschen mehr CO₂ in der Erdatmosphäre war als bei dem davor. Jene kleinen Spitzen in der Keeling - Kurve sind ein Hinweis darauf, dass der CO₂ - Gehalt unserer Atmosphäre langsam, aber stetig und regelmäßig ansteigt. Wenn man den Verlauf der stetig ansteigenden Kurve in die Zukunft verlängert, könnten wir im 21. Jahrhundert eine Verdopplung des bisherigen CO₂-Gehalts erleben. Wir hätten dann einen Anstieg von drei Molekülen pro 10.000 Moleküle zu Beginn dieses Jahrhunderts auf sechs pro 10.000 Moleküle am Ende des Jahrhunderts. Darin steckt das Potenzial der Erwärmung unseres Planeten um drei Grad, evtl. auch noch darüber.

Als den Wissenschaftlern erstmals klar wurde, dass der CO₂- Gehalt der Atmosphäre etwas mit einer Klimabeeinflussung zu tun hat, entstand zunächst einmal eine große Verwirrung.

(Zitat) „**Sie wussten, dass CO₂ nur Strahlung mit einer Wellenlänge von mehr als rund zwölf Mikrometern (ein menschliches Haar ist rund 70 Mikrometer dick) und dass schon eine kleine Menge des Gases sämtliche Strahlung in diesem Bereich einfängt. (...) Darüber hinaus ist das Gas so selten, dass es unscheinbar schien, es könne das Klima eines ganzen Planeten ändern.**

VIELE WISSENSCHAFTLER MACHTEN SICH DAMALS NICHT KLAR, dass, bei sehr niedrigen Temperaturen - beispielsweise über den Polen und weit oben in der Atmosphäre -, mehr Energie jener Wellenlängen unterwegs ist, die CO₂ am effizientesten absorbiert. Noch wichtiger war die Entdeckung, dass CO₂ allein weniger für den Klimawandel verantwortlich ist, sondern als Auslöser für das potenteste Treibhausgas, Wasserdampf, dient. Und zwar, indem es die Atmosphäre nur ein wenig erwärmt, was es dieser aber ermöglicht, mehr Feuchtigkeit aufzunehmen und zu speichern, die in der Folge die Atmosphäre weiter aufheizt. So kommt es zu einer positiven Rückkopplungsschleife, die die Temperatur unseres Planeten immer weiter in die Höhe schraubt. Wasserdampf ist zwar ein Treibhausgas, zugleich ist er aber auch, was den

Klimawandel angeht, ein großes Rätsel, denn er bildet Wolken, und Wolken können sowohl Licht reflektieren als auch Wärme festhalten. Indem sie mehr Wärme einsammeln als sie Licht reflektieren, tendieren hohe, dünne Wolken dazu, den Planeten aufzuheizen, während tiefe, dicke Wolken das Gegenteil bewirken. Kein anderer einzelner Faktor birgt mehr Unsicherheiten, was Vorhersagen des künftigen Klimawandels angeht“. („Wir Wettermacher“; Tim Flannery, S. 49/50). Zitat Ende

DAS CO₂ IN UNSERER ATMOSPHERE hat zwar noch einen verschwindend kleinen Anteil und seine Kapazität, Wärmeenergie zu binden, ist nur gering, aber es hält sich sehr lange dort oben. Rund 56 % von allem CO₂, das Menschen durch Verbrennungsprozesse je freigesetzt haben, sind noch über uns vorhanden, und sie sind direkt wie indirekt - die Ursache für rund 80 % aller globalen Erwärmung. Ein uns stets bekannter Anteil von CO₂ verbleibt somit sehr langfristig in unserer Atmosphäre. Wir kennen ihn und sind damit in der Lage, wenn auch mit gerundeten Werten, ein Kohlenstoff-Budget für die Menschheit zu berechnen. (647 Wörter)

Unser großer Luft- Ozean (3)

Die Temperaturen im Weltraum

sind mit rund **-270°C** recht frisch. Unsere Sonne sorgt mit ihrer Strahlung als Energielieferant jedoch dafür, dass auf unserer Erde keine eisigen Weltraumtemperaturen herrschen. Sehr wichtig für unsere Lebensmöglichkeiten hier ist jedoch die Tatsache, dass ein **Gleichgewicht von Ein- und Ausstrahlung** herrscht, denn ansonsten würde unser Planet entweder immer heißer, bis er sich auflöst, oder immer kälter, bis er als ein riesiger Schneeball enden würde.

WENN ES BEI UNS AN DER ERDOBERFLÄCHE ein reines Strahlungsgleichgewicht gäbe, dann lässt sich theoretisch errechnen, dass unsere Erde eine durchschnittliche Oberflächentemperatur von **-18°C** haben müsste. Das wäre für uns ein ziemlich lebensfeindlicher Umstand. Die durchschnittliche Erdoberflächentemperatur beträgt jedoch glücklicherweise **+15°C** und liegt damit 33 Grad über dem Wert des reinen Strahlungsgleichgewichts. Es sind genau diese 33 Grad, die man als den natürlichen Treibhauseffekt bezeichnet. Und dieser schafft erst die Voraussetzungen für Leben, wie wir es kennen. Über die dafür verantwortlichen Treibhausgase habe ich Ihnen bereits an dieser Stelle berichtet. Zu **CO₂** und **Ozon** kommen aber noch andere hinzu: Das wichtigste ist der Wasserdampf (damit hörte mein voriger Beitrag auf), dann noch das Lachgas oder Distickstoffoxid (N₂O), das Methan (CH₄) und die ausschließlich von uns Menschen produzierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Sie alle haben die Eigenschaft, die eingehende kurzwellige Sonnenstrahlung relativ ungehindert passieren zu lassen, langwellige Strahlung, die von der Erde her kommt, jedoch zu absorbieren. Dabei erwärmen sie sich und senden ihrerseits wieder langwellige Wärmestrahlung aus. Auf diese Weise kommen die vorhin genannten 33 Grad zustande.

Für 21 der 33 Grad ist allein der Wasserdampf verantwortlich, für 7 Grad das Kohlendioxid und für die restlichen 5 Grad alle übrigen Gase. Wenn man sich in Erinnerung ruft, dass unsere Atmosphäre zu über 99 % aus Stickstoff und Sauerstoff besteht, bleibt für die restlichen Gase kein großer Anteil mehr übrig. Deshalb nennt man sie ja auch „**Spurengase**“. Trotz ihrer geringen Konzentration besitzen aber gerade jene Gase im energetisch wichtigen Bereich des Spektrums eine große **Emission** und **Absorption** und sind deshalb für Temperaturänderungen sehr von Bedeutung. Sie sind es, welche den Wärmestau von 33 Grad auf unserer Erde bewirken. Man vergleicht ihn oft mit einem gläsernen Treibhaus, bei dem

das Glas die kurzwellige Sonneneinstrahlung zwar durchlässt, die langwellige Wärmestrahlung aber zurückhält. Den Begriff „Treibhaus“ sollte man jedoch nur als Metapher verwenden, denn unsere Lufthülle hat schließlich kein Glasdach und ein Lufttransport aus dem „Treibhaus“ ist jederzeit möglich.

DER MENSCH - und das nennt man den **anthropogenen Treibhauseffekt** - verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt vor allem durch das Freisetzen großer CO₂ - Mengen. Den Beginn kann man etwa um 1800 zurzeit der Industriellen Revolution ansetzen. Dieses Kohlendioxid hält sich über Jahrzehnte in der Atmosphäre. So hat sich seine Konzentration von 0,028 % in der vorindustriellen Zeit auf 0,038 % heute erhöht. Die Ozeane haben glücklicherweise gut 30 % unseres Kohlendioxids aufgenommen und damit verhindert, dass die Konzentration in der Atmosphäre noch schneller steigt. Nachteil: Unsere Ozeane werden dadurch immer saurer (Kohlensäure), was z.B. die Korallen schädigt. Die Vegetation nimmt ebenfalls eine Menge dieses Gases auf, denn die Pflanzen benötigen es zur *Photosynthese*, ohne die wir keinen Sauerstoff zum Atmen hätten.

CO₂ ist für das Leben auf der Erde also enorm wichtig. In den letzten 100 Jahren kann man einen deutlichen Temperaturanstieg auf der Erde feststellen. Er deckt sich übrigens gut mit einer Zunahme der **Sonnenaktivität** in jener Zeit. Zwischen 1940 und 1970 gingen die Temperaturen wieder etwas zurück, vornehmlich durch den vermehrten Aerosoleintrag (Staub oder Ruß) in unserer Atmosphäre. Danach stiegen die Temperaturen durch industrielle Maßnahmen der Luftreinigung wieder an. Eine neuerliche Änderung der Sonnenintensität konnte jedoch nicht nachgewiesen werden, und so gilt der Mensch für die Änderungen des Klimas der letzten 30 Jahre als in erheblichem Maße (mit)verantwortlich. Die Wissenschaft geht inzwischen von einer Wahrscheinlichkeit von über 90 % aus und derzeitige Klimaprojektionen bestätigen den Fortgang dieser Entwicklung. (638 Wörter)

Ende des Dreiteilers (1.915 Wörter)