



THE ANTHROPOCENE SYMPOSIUM



ZUSAMMENFASSUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN BEITRÄGE

*Konferenz zu Ehren von Atmosphärenchemiker und Nobelpreisträger
Paul J. Crutzen am 2. Dezember 2013 in Mainz.*

Max-Planck-Institut für Chemie
(Otto-Hahn-Institut)

Hahn-Meitner-Weg 1
55128 Mainz
Deutschland

Telefon: +49-6131-305-0
E-Mail: pr@mpic.de
www.mpic.de



INHALT

Vorwort 4

Programm des Symposiums 6

Interview mit Paul Crutzen 8

Prof. Dr. Hartmut Graßl 10

Prof. Dr. Ralph J. Cicerone 12

Prof. Dr. Mario J. Molina 14

Prof. Dr. Susan Solomon 16

Prof. Dr. Veerabhadran Ramanathan 18

Prof. Dr. Henning Rodhe 20

Prof. Dr. Jack Fishman 22

Prof. Dr. John P. Burrows 24

Prof. Dr. Klaus Töpfer 26

Prof. Dr. Meinrat O. Andreae 28

In der Broschüre finden sich thematische Weltkarten. Auf den Karten ist die Fläche eines Landes proportional zu dem Anteil dargestellt, den es bei einem Thema hat, wie beispielsweise den Ausstoß an Treibhausgasen. Obwohl die Weltkarten nicht immer den Beitrag der Sprecher aufgreifen, zeigen sie doch viele verschiedene Aspekte des Anthropozäns. Die Karten stammen von der Webseite www.worldmapper.org.

VORWORT



JOS LELIEVELD

Paul Crutzen sagte einmal von sich, dass er wohl überdurchschnittlich viele neue Ideen habe, dass aber nicht alle davon sehr gut seien. Eine Untertreibung, denn seine Ideen machten ihn nicht nur weltberühmt, sondern rüttelten die Welt auch wach: Paul Crutzen entdeckte als erster den zerstörerischen Einfluss des Menschen auf die Schutzschicht der Erde, die Ozonschicht. Er erkannte, dass die vermehrte Produktion von Stickoxiden zum Abbau des Ozons in der Stratosphäre führt, genauso wie die Fluorchlorkohlenwasserstoffe aus Sprühdosen und Kühlschränken, besser bekannt als FCKWs, wie später festgestellt wurde. Letztere wurden von seinen Kollegen Mario Molina und Frank Sherwood Rowland als Ozonkiller entlarvt, und gemeinsam erhielten alle drei im Jahr 1995 den Nobelpreis für Chemie, die größte wissenschaftliche Auszeichnung.

Von einer zweiten Idee sagt Paul Crutzen allerdings, dass dies seine wichtigste sei: die Idee des Nuklearen Winters. Zusammen mit John Birks beschrieb er in den 1980er Jahren die möglichen Folgen eines weltweiten Atomkriegs – ein damals sehr realistisches Szenario. Das Konzept besagt, dass die indirekten Folgen eines Atomkriegs die direkten überschatten würden, da durch die riesigen Brände von Städten, Industrien und Wäldern Unmengen an Rußpartikeln freigesetzt würden, die das Sonnenlicht absorbieren. Die Folgen wären Dunkelheit und Kälte, und an-

schließende Hungersnöte. Vielleicht hat dieses Szenario bei der Einsicht geholfen, das weltweite Wettrüsten mit Atomwaffen zu stoppen.

Einer weiteren „Crutzen-Idee“ haben wir am 2. Dezember 2013 ein wissenschaftliches Symposium gewidmet: das Anthropozän. Paul Crutzen schlug diesen Begriff als das Erdzeitalter vor, das dem Holozän folgt. Er selbst erklärt das Anthropozän mit den Worten: „Wir sind als Menschen zur entscheidenden Macht aufgestiegen und greifen tief in den Stoffwechsel der Erde ein. Deshalb müssen wir eine neue Perspektive finden und global zusammenarbeiten. Der Mensch sitzt am Steuer. Jetzt lautet die Frage: Wohin fahren wir?“

Dieser Frage haben sich im Rahmen des Symposiums bedeutende Forscher und Weggefährten von Paul Crutzen gestellt und die Einflüsse des Menschen auf geologische, biologische und atmosphärische Prozesse diskutiert. Die vorliegende Broschüre fasst diese Auseinandersetzung zusammen. Sie ist gleichzeitig auch Ausdruck unserer Anerkennung des großartigen Wissenschaftlers und Menschen Paul Crutzen.

J. Lelieveld

Jos Lelieveld

Stellvertretender geschäftsführender Direktor
des Max-Planck-Instituts für Chemie

THE ANTHROPOCENE SYMPOSIUM



THE ANTHROPOCENE SYMPOSIUM

MONDAY, DEC. 2nd, 2013

KURFÜRSTLICHES SCHLOSS MAINZ, GERMANY

PROGRAMM

CEREMONY

9.00	MUSIC <i>Max Brass and Woodwinds</i>
	OPENING REMARKS
	Jos Lelieveld <i>Managing Director, Max Planck Institute for Chemistry</i>
Tributes	Wolfgang Schön <i>Vice President, Max Planck Society</i>
	Georg Schütte <i>State Secretary, Federal Ministry of Education and Research</i>
	Michael Müller <i>Former Parliamentary State Secretary</i>
	Bernd Schmidbauer <i>Former Minister of State</i>
	Doris Ahnen <i>Minister for Science and Research of the Federal State of Rhineland Palatinate</i>
	Paul Crutzen <i>Max Planck Institute for Chemistry</i>
10.30	MUSIC <i>ChemJazzle and United Crazy Ozone Sample</i>
	COFFEE BREAK

Max Brass & Woodwinds

TITLE: Gaelic Coffee
COMPOSER: Michael Bretz, *1983
PUBLISHED BY: Blechpresse, Musikverlag
TITLE: Alla Battaglia
COMPOSER: Andrea Gabrieli (1510-1586)
ARRANGED BY: Udo Wessiepe
PUBLISHED BY: Stretta Music

PERFORMED BY:
Ellen Gute (Trumpet), Markus Greule (Trumpet), Franz Meixner (Flugelhorn), Hella Riede (Trombone), Uwe Parchatka (Tuba), Julia Remmers (Flute), Steve Galer (Soprano saxophone), Gerhard Lammel (Clarinet), Damien Amedro (Alto saxophone), Thomas Wagner (Tenor saxophone), Carina Sauvage (Bariton saxophone), Anke Nölscher (Bassoon)

ChemJazzle

TITLE: It Is Man’s World
COMPOSER: Peter Gabriel, Giacomo Puccini
WORDS: Frank Helleis
ARRANGEMENT: Frank Helleis

PERFORMED BY: *Markus Greule (Vocals), Frank Helleis (Vocals), Johannes Schneider (Vocals, Guitar), Andrea Arangio (Bass), Thomas Berkemeier (Percussion)*

United Crazy Ozone Sample

TITLE: Noble Paul’s Tango
COMPOSER: Henry Mancini, Piero Trombetta, William Steffe
WORDS: Mark Lawrence, Christoph Brühl, Jens-Uwe Grooss, Frank Helleis, Thomas Koop, Stefanie Meilinger
ARRANGEMENT: Frank Helleis

PERFORMED BY: *Mark Lawrence (Vocals, Sax), Christoph Brühl (Vocals), Thomas Koop (Vocals), Jens-Uwe Grooss (Vocals, Cello), Franz Meixner (Vocals, Tenor horn), Markus Greule (Vocals, Trumpet), Frank Helleis (Vocals, Sax), Johannes Schneider (Vocals, Guitar), Andrea Arangio (Bass), Thomas Berkemeier (Percussion)*

SYMPOSIUM

11.30	START SYMPOSIUM	
11.30	Hartmut Graßl <i>Max Planck Institute for Meteorology, Germany</i>	Shaping Germany’s Role in Ozone and Climate Policy – The Push by Paul Crutzen
11.55	Ralph J. Cicerone <i>National Academy of Science, USA</i>	Stratospheric Ozone and Climate Change: Different Human Causes and Responses
12.20	Mario J. Molina <i>University of California, San Diego, USA</i>	Climate Change: Science and Policy
12.45	LUNCH BREAK	
14.15	Susan Solomon <i>Massachusetts Institute of Technology, USA</i>	Ozone Depletion: An Enduring Challenge
14.40	Veerabhadran Ramanathan <i>Scripps Institution of Oceanography, USA</i>	The Two Worlds in the Anthropocene: A New Approach for Climate Change Mitigation
15.05	Henning Rodhe <i>University of Stockholm, Sweden</i>	The Anthropocene Sulfur Cycle
15.30	Jack Fishman <i>Saint Louis University, USA</i>	Tropospheric Ozone in the Anthropocene: Are We Creating a Toxic Atmosphere?
15.55	COFFEE BREAK	
16.30	John P. Burrows <i>University of Bremen, Germany</i>	Living in and Observing the Anthropocene from Space
16.55	Klaus Töpfer <i>Institute for Advanced Sustainability Studies, Germany</i>	The Anthropocene – Sustainability in a World of 9 Billion People
17.20	Meinrat O. Andreae <i>Max Planck Institute for Chemistry, Germany</i>	400,000,036 Years of Biomass Burning
17.45	CLOSING REMARKS and DRINKS RECEPTION	

Die Videos der Vorträge findet man im Internet unter www.tinyurl.com/mpi-chemie



INTERVIEW

mit Paul Crutzen

„WISSENSCHAFTLER SIND UNENTBEHRlich“

Herr Crutzen, Sie haben den Begriff des Anthropozäns eingeführt. Was verstehen Sie darunter?

Crutzen: Anthropozän bedeutet, dass der Mensch über die Natur hinausgewachsen ist. Gerade in den letzten 100 Jahren hat die menschliche Aktivität enorm zugenommen. Die Weltbevölkerung ist um den Faktor 4, die Weltwirtschaftsleistung um den Faktor 14, die Industrieproduktion um das 40-fache gestiegen. Die Menschheit ist dabei zur prägenden Größe der Natur geworden. An den Daten zum Klima und den Veränderungen der Atmosphärenchemie ist das besonders deutlich zu erkennen.

Glauben Sie, dass die Menschen weltweit den Begriff Anthropozän aufgreifen und anerkennen werden? Immerhin bedeutet er ja auch das Eingeständnis, dass wir Menschen die Verantwortung dafür tragen, wie sich die Welt verändert.

Crutzen: Nicht jeder Mensch wird das akzeptieren. Aber in wissenschaftlichen Kreisen sieht man den Einfluss menschlicher Aktivitäten sehr deutlich. Und ich glaube, dass sich mit der Zeit die Erkenntnisse über die Auswirkungen unseres Handelns durchsetzen werden. Ich bin schon jetzt erstaunt, wie weit sich der Begriff Anthropozän bereits herumgesprochen hat.

Wenn der Mensch die Verantwortung trägt, muss er auch Fehlentwicklungen korrigieren. Das Ozonloch ist ein Paradebeispiel dafür. Hier wurde eine zerstörerische Entwicklung durch das Verbot von FCKW-Gasen gestoppt. Warum ist ähnliches bei anderen Themen wie beispielsweise dem Klimawandel bisher nicht gelungen?

Crutzen: Vielleicht weil der Mensch ja auch vom CO₂-Ausstoß profitiert. Es ist schön und bequem, sich in ein Auto zu

setzen und durch die Welt zu fahren. Die negativen Effekte werden dann schnell übersehen.

Beim Symposium zum Anthropozän sprachen die meisten Redner über das Klima und die Atmosphärenchemie. Sie selbst sagten am Ende, es gebe weitere wichtige Themen, die nicht behandelt wurden. Was gehört auf die Agenda bei künftigen Diskussionen zum Anthropozän?

Crutzen: Die Frage, wie wir in Zukunft unsere Lebensmittel produzieren. Dafür ist Phosphor als Dünger nötig. Aber die Menge des verfügbaren Phosphors auf der Erde ist begrenzt. Dieses Problem wird stark unterschätzt. Denn wir können Phosphor nicht wie Stickstoff mit einem Haber-Bosch-Verfahren nach Bedarf aus der Luft gewinnen. Ein weiteres Thema ist die Stabilität unserer künftigen Energieversorgung, vor allem durch die Nutzung der Sonnenenergie.

Viele der Themen rund um das Anthropozän umfassen sehr komplexe Zusammenhänge. Die muss man erst einmal verstehen, dafür ist Forschung notwendig. Sind Wissenschaftler wichtiger als Politiker für die Zukunft unseres Planeten?

Crutzen: Wissenschaftler sind auf jeden Fall unentbehrlich (lacht).

Sollten Wissenschaftler mit Blick auf das Anthropozän auch zu Politikern werden?

Crutzen: Das ist fast unausweichlich. Ich glaube, dass diese strenge Unterscheidung zwischen Wissenschaft und Politik verschwinden sollte. Beim Kampf gegen das Ozonloch haben wir ja gesehen, wie sinnvoll und erfolgreich das sein kann.



PROF. DR.
HARTMUT GRASSL
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Deutschland

SHAPING GERMANY'S ROLE IN OZONE AND CLIMATE POLICY – THE PUSH BY PAUL CRUTZEN

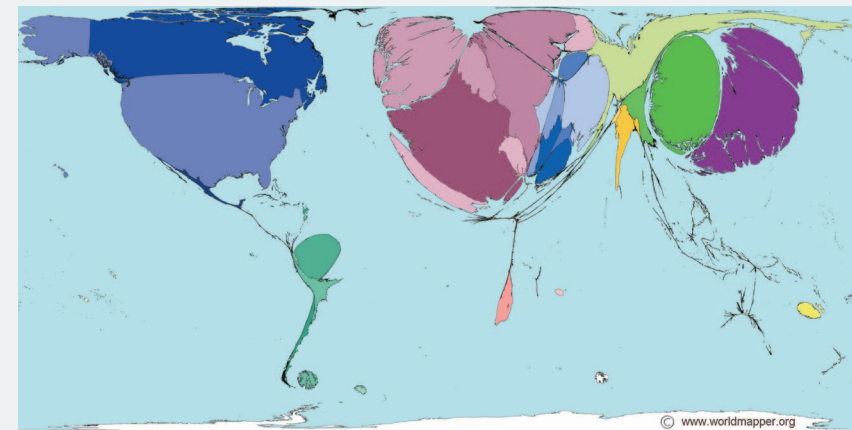


Prof. Dr. Hartmut Graßl ist ehemaliger Direktor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie und emeritierter Professor für Allgemeine Meteorologie an der Universität Hamburg.

1978 habilitierte Graßl an der Universität Hamburg und lehrte Meteorologie an den Universitäten in Kiel und in

Hamburg. Er war von 1994 bis 1999 Direktor des Weltklimaforschungsprogramms bei der World Meteorological Organization in Genf. Zudem war Graßl zweimal (1992-1994 und 2000-2004) Vorsitzender im Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderung“. Zu seinen Forschungsgebieten gehören die Aerosol- und Klimafor-schung, die Erdbeobachtung aus dem Weltraum sowie die Fernerkundung der Atmosphäre mit Lidar- und Radarmethoden. Graßl war einer der ersten deutschen Wissenschaftler, der auf die Auswirkung des Klimawandels hinwies.

1998 erhielt er gemeinsam mit seinen Kollegen Dr. Prof. Dr. Len-nart Bengtsson und Prof. Dr. Klaus Hasselmann den Deutschen Umwelt-preis und 2002 das Große Bundesverdienstkreuz am Bande.



ATOMMÜLL

Die Flächen zeigen die geographische Verteilung des Anteils am Schwermetall-Atommüll, der von Kernkraftwerken weltweit produziert wird. Jährlich werden etwa 8.910 Tonnen an Schwermetall-Atommüll produziert. Diese Abfälle stammen hauptsächlich aus Kernkraftwerken. Drei Staaten produzieren mehr als 1.000 Tonnen jährlich: die Vereinigten Staaten, Kanada und Frankreich. Pro Kopf produziert dabei Kanada den meisten nuklearen Abfall, Schweden liegt nicht weit dahinter. Stand 2001.

Paul Crutzen hat mit seinen Arbeiten zu verschiedenen Themen rund um die Atmo- sphärenforschung der Welt einige wichtige politische Impulse gegeben.

Crutzen war einer der ersten, die vor den globalen Klimafolgen eines Atomkriegs warnten. Durch die ausgelösten Flächenbrände könnte so viel Ruß in die obere Atmosphäre getragen werden



Aufgrund des nuklearen Aufrüstens während des kalten Kriegs warnte Crutzen vor einem nuklearen Winter. Hier ein Atombombentest der US Regierung auf dem Bikini-Atoll im Jahr 1954. Quelle: U.S. Regierung

und sich dort großräumig verteilen, dass sogar die Sonneneinstrahlung über längere Zeit verringert würde. Mit diesem „nuklearen Winter“ wären nicht nur ein Rückgang der Temperaturen verbunden, sondern auch Missernten sowie negative Auswirkungen auf die Fischbestände im Meer.

Ende der 1980er Jahre waren Paul Crutzen und Hartmut Graßl Mitglieder der Enquete Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages. Sie empfahl der Bundesregierung das „Montreal-Protokoll“ zu verschärfen. Ziel war es, die Emissionen bestimmter chlor- und bromhaltiger Chemikalien, die stratosphärisches Ozon zerstören können, rasch weitgehend zu reduzieren und dann ganz zu eliminieren. Eine Maßgabe war beispielsweise, Produktion und Ausstoß von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) bis zum Jahr 2000 um 95 Prozent zu reduzieren. Crutzen hatte auf die Inhalte dieses Protokolls maßgeblichen Einfluss. „Paul Crutzen ist eine Person, die Weltinnenpolitik betreibt“, so Graßl.

1993 befassten sich Crutzen und Graßl mit den möglichen Folgen des geplanten deutschen Hyperschallflugzeugs Sänger II. Berechnungen zeigten, dass

nur 50 dieser Maschinen, die mit Mach 7 in 26 Kilometer Höhe um den Globus fliegen sollten, durch ihre Abgase zu einer Gefahr für die Ozonschicht der Atmosphäre werden könnten.

Im Jahr 2008 heizte Crutzen mit einer anderen Studie die Debatte über das Geo- und Klimaengineering an. Er zeigte, wie man mit dem gezielten Eintrag von Schwefelpartikeln in die Stratosphäre die globalen Temperaturen reduzieren könnte. Dafür wurde er heftig kritisiert, wenngleich Crutzen laut Graßl genau das erreichte, was er wollte: Er stieß damit weitere Diskussionen und Forschungsarbeiten über die Rolle der Stratosphäre im irdischen Klima und die möglichen negativen Auswirkungen des Geoengineerings an.

In letzter Zeit setzte sich Paul Crutzen dafür ein, fehlgeleitete Klimapolitik zu korrigieren. Er konnte zeigen, dass die Produktion von Bioenergie aus stark gedüngtem Mais mit gesteigerten Emissionen von Lachgas (N_2O) einhergeht. Vier Prozent des eingesetzten Stickstoffdüngers landen den Berechnungen nach in Form von N_2O als Treibhausgas in der Atmosphäre. Eine Biogas-Anlage, die hauptsächlich mit Mais gefüttert wird, hilft demnach nicht beim Klimaschutz.

**PROF. DR.
RALPH J. CICERONE**
National Academy of Science
USA

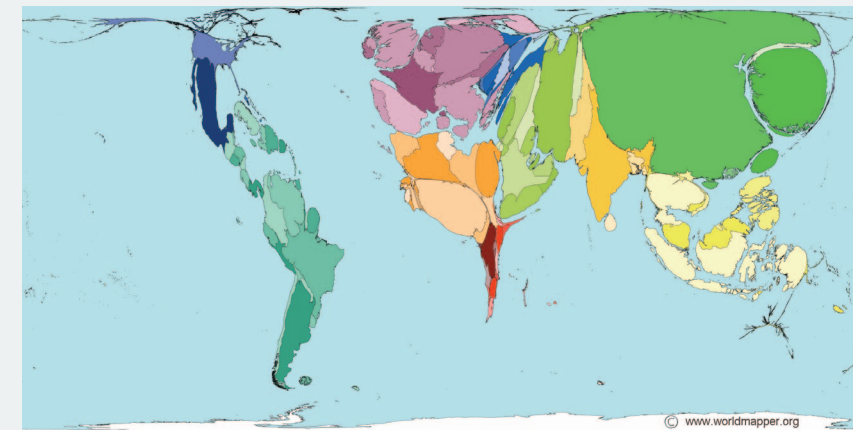
OZONE DEPLETION AND CLIMATE CHANGE: DIFFERENT HUMAN CAUSES AND RESPON- SES



Prof. Dr. Ralph J. Cicerone ist Präsident der National Academy of Science in den Vereinigten Staaten. Sein Forschungsfokus liegt auf der Atmosphärenchemie, dem Klimawandel und dem Ursprung von atmosphärischem Methan und Stickstoffoxid.

Cicerone erlangte seinen Abschluss als Ph.D. an der University of Illinois als Elektroingenieur. Zu Beginn seiner Karriere hatte er eine Stelle am Lehrstuhl für Elektro- und Computeringenieurwesen an der University of Michigan. Ein Auftrag der NASA ermöglichte ihm den Wechsel in ein neues Forschungsgebiet.

1973 wurde Cicerone mit Richard S. Stolarski von der NASA beauftragt, die Schädlichkeit von Chlorgas, das in Form von Salzsäure (HCl) als Abfallprodukt von Space Shuttles in die Stratosphäre gelangt, zu untersuchen. Dabei entdeckten sie den Effekt der ClOx-Kette, die als Katalysatoren für die Zerstörung der Ozonschicht verantwortlich sind. Sie kamen damit zu derselben Erkenntnis wie auch Molina, Rowland und Crutzen bei ihren Forschungen.



FLUORCHLORKOHL- WASSERSTOFFE

Die Flächen zeigen die geographische Verteilung der emittierten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Diese Chemikalien wurden zum Beispiel als Treibmittel in Spraydosen und als Kühlmittel verwendet. 1987 wurde mit dem Montreal-Protokoll der weltweite Ausstieg aus der Nutzung von ozonabbauenden Chemikalien geregelt. Diese Karte zeigt die geschätzten 110.000 Tonnen FCKW, die im Jahr 2002 emittiert wurden.

Warum suchen die Menschen mit Blick auf den Klimawandel nicht in gleicher Weise nach dringenden Lösungen wie im Fall des Ozonabbaus in der Stratosphäre? Dafür gibt es neun Anhaltspunkte:

1. Der Rahmen: Das Ozonloch wurde von der Öffentlichkeit als eine unerwartete, gefährliche wissenschaftliche Entdeckung aufgenommen. Der Klimaschutz hingegen wird heute vor allem als ein politisches Problem gesehen.
2. Die Belege: Es gibt eindeutige Beweise für den Ozonabbau durch Chlor- und Bromverbindungen. Der Klimawandel ist weniger eindeutig und wird von weitaus mehr Variablen beeinflusst.

3. Gesundheitseffekte: Mit einem Ozonloch könnte es mangels Schutz vor UV-Strahlung mehr Hautkrebsfälle geben. Dem Klimawandel werden keine akuten Gesundheitsfolgen nachgesagt.

4. Komplexität: Die chemischen Zusammenhänge des Ozonlochs sind weniger komplex und überall auf der Welt gleich. Beim Ausmaß des Klimawandels gibt es natürliche, lokale und historische Unterschiede.

5. Die Verantwortlichen: Für den Ozonabbau konnte man den wenigen Herstellern von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und bromierten Kohlenwasserstoffen die Schuld zuschieben. Am Klimawandel sind alle Nutzer fossiler Brennstoffe, ganze

Nationen, vergangene und künftige Emittenten beteiligt.

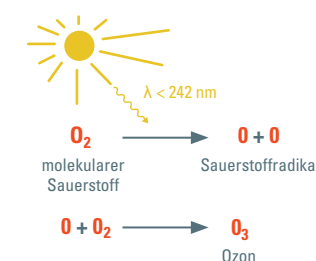
6. Die Abhängigkeit: FCKW werden nicht unbedingt gebraucht (als Treibgas oder Kühlmittel). Fossile Brennstoffe hingegen sind kaum verzichtbar für Heizung, Strom, Beleuchtung, Transport etc.

7. Ersatzmöglichkeiten: Statt FCKW können andere Treibgase und Kühlmittel verwendet werden. Der Umstieg von fossilen Brennstoffen auf erneuerbare Energien und Atomkraft ist nicht so schnell im notwendigen Umfang möglich.

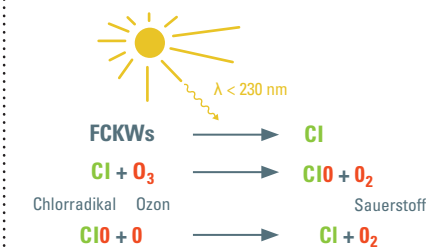
8. Die Gutachten: Im Falle des Ozonlochs gab es immer wieder unabhängige wissenschaftliche Bestandsaufnahmen. Die Berichte des Weltklimarates IPCC sind zwar umfassend, aber stärker politisch beeinflusst.

9. Die Gegner: Nur die wenigen Hersteller von FCKW traten gegen das Verbot ein. Dem Klimaschutz stehen aber große finanzielle Interessen von Ölfirmen und Industrie entgegen. Zudem haben viele Menschen eine ablehnende Haltung gegenüber Regulierungsvorgaben ihrer Regierungen.

Ozonbildung



Ozonabbau



Die chemische Reaktion der Ozonentstehung und der Zerstörung durch FCKW.

PROF. DR.
MARIO J. MOLINA
University of California, San Diego
USA

CLIMATE CHANGE: SCIENCE AND POLICY



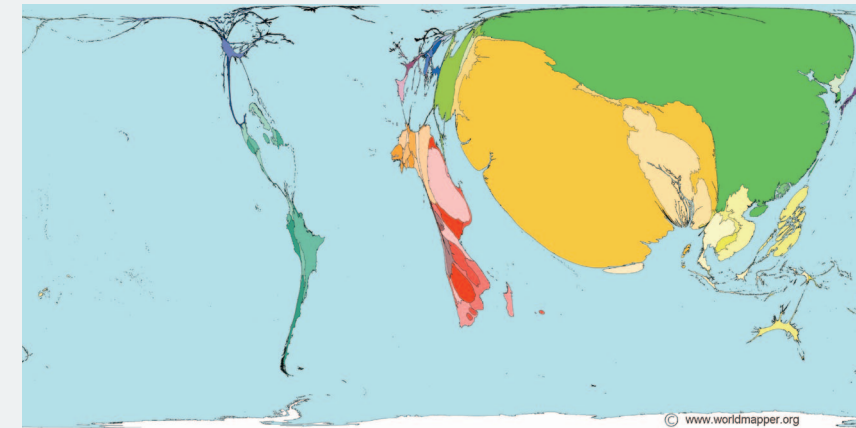
Prof. Dr. Mario J. Molina erhielt 1995 mit Paul J. Crutzen und dem Chemiker Frank Sherwood Rowland den Nobelpreis für Chemie für die Erforschung der Mechanismen, die zur Zerstörung der Ozonschicht führen. Bereits 1994 erhielt er mit Crutzen zusammen den Max-Planck-Forschungspreis.

Molina erlangte 1965 seinen B.S. in Chemieingenieurwesen an der Univer-

sidad Nacional Autonoma de Mexico und studierte bis 1967 an der Universität Freiburg im Breisgau. Er setzte seine Ausbildung an der University of California, Berkeley, fort, wo er 1972 promovierte. Ein Jahr später schloss Molina sich einer Forschungsgruppe der University of California an, die von Prof. Rowland geleitet wurde und kam so in Kontakt mit dem Thema der Fluorchlorkohlenwasserstoffe. Molina und Rowland entdeckten, dass diese Gase die Ozonschicht zerstören können. Sie wurden bestätigt durch das im Jahr 1985 entdeckte Ozonloch über der Antarktis.

Seit 2004 ist Molina an der University of California, San Diego, in den Fachbereichen Chemie und Biochemie und dem dortigen Center for Atmospheric Sciences der Scripps Institution of Oceanography tätig.

2013 wurde ihm die Freiheitsmedaille für seine herausragenden wissenschaftlichen Forschungserkenntnisse vom amerikanischen Präsidenten Barack Obama verliehen.



KATASTROPHENFÄLLE

Die abgebildeten Flächen zeigen den Anteil aller Menschen weltweit, die zwischen 1975 und 2004 von Katastrophen betroffen waren. Dies sind Dürren, Epidemien, Vulkane, Stürme, Brände und Ereignisse, die durch Unfälle oder indirekt durch Kriege verursacht werden. Von einer Katastrophe betroffen bedeutet hier, dass Hilfe für das Überleben benötigt wurde, wie zum Beispiel Unterkünfte, Wasser, sanitäre Einrichtungen, Medikamente und Lebensmittel.

Von den zwischen 1975 und 2004 von Katastrophen betroffenen Menschen lebten 43% in Süd-asien, 41% in Ostasien und 5% in Südafrika.

Als Mario Molina 1974 gemeinsam mit F. Sherwood Rowland die chemischen Zusammenhänge entdeckt und aufgeklärt hatte, wie Chlor-Moleküle zum Abbau des Ozons in der Stratosphäre führen, mussten beide um einige Lorbeeren ihrer Arbeit fürchten.

Sie hatten ihre Studie beim prestigeträchtigen Wissenschaftsmagazin Nature eingereicht, um sie dort zu veröffentlichen. Fast hätte ihnen Paul Crutzen einen Strich durch diese Rechnung gemacht – wenn auch ungewollt. Er präsentierte die Erkenntnisse schon auf einem wissenschaftlichen Symposium in Schweden, bevor sie in Nature publik wurden. Eine schwedische Tageszeitung berichtete sogar darüber. Da Nature

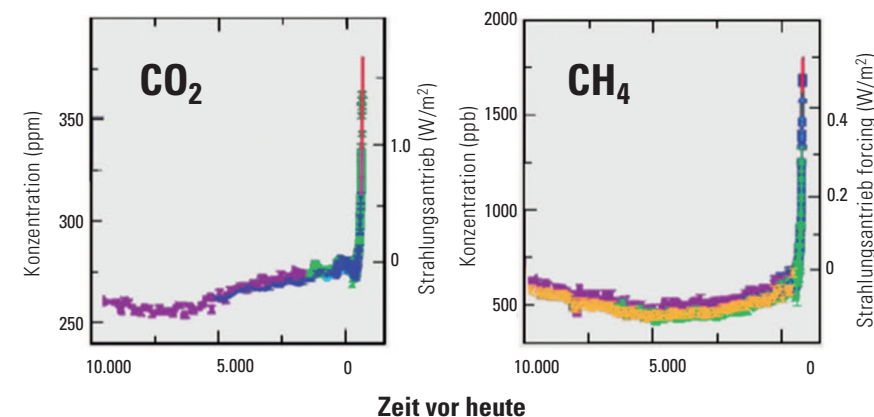
von seinen Autoren Exklusivität verlangt, wäre gemäß den strengen Regeln dort eigentlich keine Veröffentlichung mehr möglich gewesen. Molina bezeichnet es als sein Glück, dass die Herausgeber offenbar keine schwedischen Zeitungen lasen.

Heute beschäftigt sich Molina mit den Grundlagen und Folgen des Klimawandels. Dass die Durchschnittstemperatur auf der Erde bei 15 Grad Celsius liegt, obwohl sie von ihrem Strahlungshaushalt her eigentlich nur minus 18 Grad Celsius erreichen dürfte, hängt mit dem Treibhauseffekt durch Wasserdampf und Gase wie CO₂ und Methan in der Atmosphäre zusammen. Deren rasante Zunahme in den letzten Jahrzehnten ist der Grund für den messbaren Anstieg der globalen Temperaturen. Das gilt als so gut wie erwiesen. Der Weltklimarat IPCC nennt in seinem neuesten Bericht

von 2013 eine hohe Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent.

Entsprechend klein ist heute in Umfragen der Anteil der Forscher, die den Klimawandel noch leugnen: Es sind nur drei Prozent, und die meisten davon fachfremd. Für Molina ist es unverständlich, warum ihnen noch immer Gehör geschenkt wird. „Gehen Sie zu ihrem Zahnarzt, wenn sie Herzprobleme haben?“, fragt er.

Trotz des breiten Konsens in der Wissenschaft bekommen in der medialen Berichterstattung die wenigen Kritiker aus Molinas Sicht einen unangemessen breiten Raum. Entsprechend groß ist auch der Anteil der Zweifler am Klimawandel in der Bevölkerung. Laut einer Umfrage in Großbritannien aus dem Jahr 2010 liegt er bei 74 Prozent.



Die Konzentration von Kohlendioxid und Methan in der Atmosphäre innerhalb der letzten 10.000 Jahre. Quelle: WG1- AR4, IPCC 2007

Dennoch plädiert Molina dafür, alles daran zu setzen, den CO₂-Gehalt der Atmosphäre bei 550 ppm (parts per million, Teile pro eine Million Teile) zu stabilisieren. Dadurch könnte das „Klimaroulette“ weitaus moderater gehalten werden: Während bei einem ungebremsten CO₂-Anstieg die globale Durchschnittstemperatur im Extremfall um mehr als sieben Grad Celsius zunehmen könnte, lägen bei der 550-ppm-Variante die Maximalwerte bei drei bis vier Grad Celsius. Das würde auch Extremwetterereignisse wie Hitzewellen oder Wirbelstürme mildern helfen.

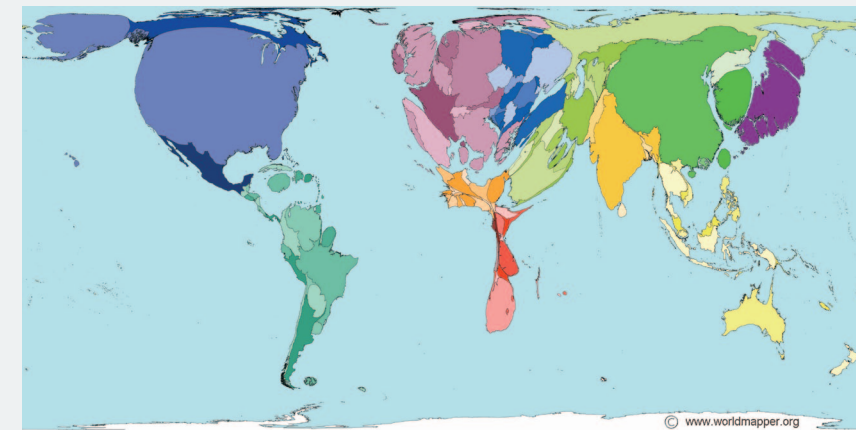
OZONE DEPLETION: AN ENDURING CHALLENGE



Susan Solomon wurde 1999 für ihre Forschung am antarktischen Ozonloch mit der National Medal of Science ausgezeichnet. Das US-Nachrichtenmagazin TIME ernannte Solomon 2008 zu einer der 100 einflussreichsten Personen der Welt.

Solomon erhielt 1977 ihren Bachelorabschluss am Illinois Institute of Technology, USA, und promovierte 1981 in atmosphärischer Chemie an der University of California, Berkeley. In den Jahren 1986 und 1987 war sie Leiterin der National Ozone Expedition in der antarktischen McMurdo Station. Ziel der Expeditionen war, eine Erklärung für die schnell fortschreitende Zerstörung des Ozonlochs zu finden. Im Zuge dieser Forschung konnten genug Daten gesammelt werden, um zu beweisen, dass Fluorchlorkohlenwasserstoffe für die Zerstörung verantwortlich sind. Sie bestätigte mit Ihrer Arbeit die vorherigen Erkenntnisse von Molina, Rowland und Crutzen.

Zurzeit hat sie die Ellen Swallow Richards Professur für Atmosphärenchemie und Klimawissenschaft an dem Massachusetts Institute of Technology, USA, inne.



TREIBHAUSGASE

Die Flächen zeigen den Anteil am Erderwärmungspotenzial basierend auf den Treibhausgasemissionen, die im Jahr 2002 von dort stammten.

Die dargestellten Treibhausgase sind Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid. Die Regionen, welche die meisten Treibhausgase emittieren, sind die Vereinigten Staaten, China, die Russische Föderation und Japan. Die höchsten Emissionen pro Kopf gibt es in Katar mit 86 Tonnen Kohlendioxid jährlich. Katar verfügt über erhebliche Öl- und Gasreserven und wurde im Jahr 2002 von 600.000 Menschen bewohnt.

Seit den 1960er Jahren wurde in der Antarktis eine deutliche Abnahme der Ozonkonzentration in der Stratosphäre gemessen.

Die Lage hat sich seit etwa einem Jahrzehnt auf niedrigem Niveau stabilisiert und sollte sich in Zukunft wieder bessern. Der Erfolg liegt in den Bemühungen, die Welt vor einem wachsenden Ozonloch zu bewahren. Dennoch bleibt die Dynamik der Ozonschicht noch immer von großem Interesse für aktuelle Forschungsarbeiten.

Zwei Fragen stehen dabei im Vordergrund: Inwieweit kann es auch über der Arktis zu einem ähnlich dramatischen Ozonverlust wie über der Antarktis kommen? Und welche Rolle spielt dabei die Denitrifikation, also der Austrag von Salpetersäure durch Sedimen-

tationsprozesse, wenn Eiskeime aus Stratosphärenwolken in tiefere Atmosphärenschichten absinken?

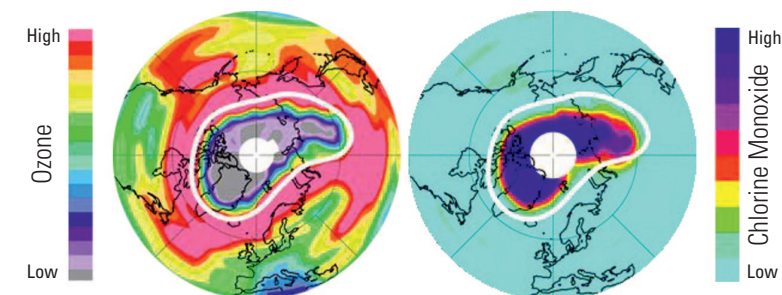
Schon 1999 hatten Forscher um Paul Crutzen in einem Paper in der Zeitschrift Science gezeigt, dass diese Denitrifikation den Ozonabbau in der arktischen Stratosphäre fördert. Als jüngster Beleg kann das sehr kalte Jahr 2011 dienen. Damals wurde über der Arktis ein deutlicher Ozonverlust verzeichnet. Allerdings kamen die gemessenen Werte noch bei weitem nicht an die niedrigen Ozonkonzentrationen über der Antarktis heran.

Satellitenmessungen zeigen, dass die Denitrifikation in der Antarktis viel umfassender ist als in der Arktis. Die wichtigsten Einflussgrößen dafür sind polare Stratosphärenwolken, gepaart mit sehr niedrigen Temperaturen unter

minus 85 Grad Celsius. Bei solchen Bedingungen ist der Ozonabbau am stärksten. Schon bei geringfügig höheren Temperaturen – etwa minus 82 Grad gegenüber minus 85 Grad Celsius – bleibt deutlich mehr Ozon erhalten. Nach aktuellem Kenntnisstand ist es in der arktischen Stratosphäre bisher nicht kalt genug für einen dramatischen Ozonabbau.

Forscher erwarten jedoch, dass sich die Stratosphäre im Zuge des Klimawandels in Zukunft weiter abkühlen wird. Nach Einschätzung von Susan Solomon könnte ein Anstieg der CO₂-Konzentration auf über 700 ppm (parts per million, Teile pro eine Million Teile) in der Atmosphäre die Temperaturen der Stratosphäre so weit absinken lassen, dass sich auch in der Arktis chemische Reaktionsverhältnisse ausbilden, wie sie heute schon über der Antarktis herrschen.

Allerdings stehen andere dynamische Entwicklungen der Atmosphäre, die eher zu einer Erwärmung der Arktis beitragen, dem entgegen. Wie das Zusammenspiel der verschiedenen Kräfte letztlich ausgeht, lässt sich heute noch nicht sagen. Susan Solomon selbst wäre nicht allzu überrascht, wenn sich eines Tages über der Arktis ein Ozonloch ähnlichen Ausmaßes wie in der Antarktis entwickeln würde.



Mitte März 2011 wurden über der Arktis sehr niedrige Ozonmengen in der unteren Stratosphäre festgestellt. Am gleichen Tag fand man dort große Mengen an Chlormonoxid – dem wichtigsten Molekül der Ozonzerstörung in den kalten Polarregionen. Quelle: NASA

**PROF. DR.
VEERABHADRAN
RAMANATHAN**
*Scripps Institution of Oceanography
USA*

THE TWO WORLDS IN THE ANTHROPOCENE: A NEW APPROACH FOR CLIMATE MITIGA- TION



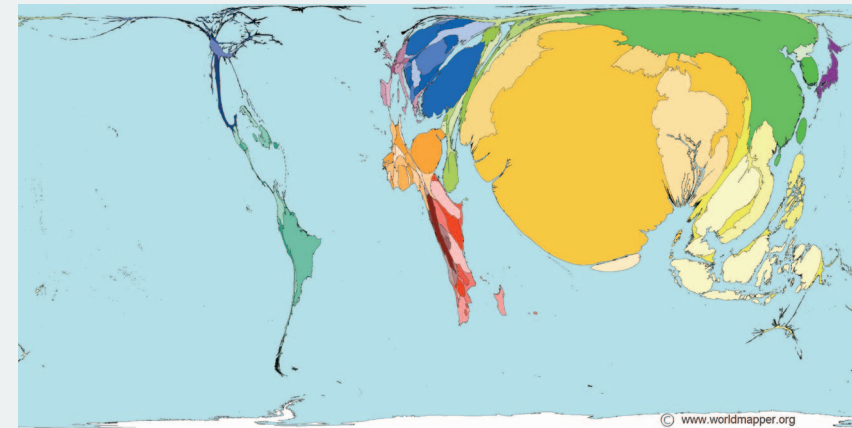
Prof. Dr. Veerabhadran Ramanathan ist Professor für Atmosphären- und Klimawissenschaften an der Scripps Institution of Oceanography der University of California in San Diego.

Ramanathan entdeckte 1975 einen Zusammenhang zwischen dem „Greenhouse Effect“ und den Fluorchlorkohlenwasserstoffen. Bereits 1980 prophezeite er eine globale Erderwärmung.

Zusammen mit Paul J. Crutzen leitete er 1990 ein internationales Feldexperiment in Südasien. Bei diesem Experiment entdeckten sie das Phänomen der Atmospheric Brown Clouds (ABCs) über dem südasiatischen Kontinent. Diese Wolken bilden sich durch verschiedene Schwebeteilchen wie Ruß und Gase, die bei der Verbrennung von Biomasse und industriellen Verfahren entstehen. Sie haben verheerende Folgen für das Klima und die Gesundheit.

Ramanathan leitete das Projekt Surya in Südasien und Kenia, das den Effekt von Ruß und anderen klima-erwärmenden Emissionen dokumentierte. Mithilfe von solarbetriebenen und energieeffizienteren Kochherden konnte die Konzentration von Ruß und Methangas in ländlichen Gegenden reduziert werden.

2013 wurde er von den United Nations mit dem Champions of Earth for Science and Innovation Award ausgezeichnet und arbeitet in der päpstlichen Akademie der Wissenschaften mit.



ARBEITERINNEN IN DER LANDWIRTSCHAFT

Die Flächen zeigen den Anteil an Frauen weltweit, die in der Landwirtschaft arbeiten. Von allen Arbeiterinnen in der Landwirtschaft leben und arbeiten 39 Prozent in Indien. Stand 2004



Ein typisches Bild in Indien: eine Frau kocht auf einer offenen Feuerstelle. Der entstehende Ruß hat nicht nur negative Auswirkungen auf das Klima, sondern beeinträchtigt oftmals auch die Gesundheit.

Im Jahr 2013 verbrachte Veerabhadran Ramanathan zehn Wochen lang in kleinen, von Armut geprägten indischen Dörfern.

Aus den Lebenserfahrungen dort entwickelte er die Vorstellung, dass die Weltbevölkerung von sieben Milliarden Menschen heute im Grunde wie in zwei Welten lebt, die allerdings voneinander abhängig sind. Er nennt sie die „Oberen vier Milliarden“ (Top 4 Billion) und die „Unteren drei Milliarden“ (Bottom 3 Billion).

Die „Oberen vier Milliarden“ verhalten sich, als wären fossile Energieträger grenzenlos vorhanden. Ihr Hauptproblem ist der Verbrauch. Die „Unteren drei Milliarden“ wiederum haben kaum Zugang zu fossiler Energie oder können sich „saubere Energie“ nicht leisten.

In den vergangenen Jahren forschte Ramanathan viel über den Einfluss von Ruß und anderen Smog bildenden Partikeln auf das Klima. Es handelt sich um sogenannte Short Lived Climate Pollutants (SLCP), die u.a. bei ineffizienten Verbrennungsprozessen entstehen. Sie wirken sich auch auf das Klima aus, indem sie „braune Wolken“ in der Atmosphäre bilden. Diese verringern die Sonneneinstrahlung am Boden, steigern dafür aber das Aufheizen der Atmosphäre. Dunkler Rußniederschlag fördert das Abtauen von Schnee- und Eisflächen, während die SLCP in der Luft den Monsun abschwächen können. Global gesehen stellen die Short Lived Climate Pollutants derzeit nach CO₂ den zweitgrößten Treiber des Klimawandels dar. Daneben ist Ruß aus Koch- und Heizungsstellen in Innenräumen ein großes Gesundheits- und Umweltproblem.

Ramanathan plädiert für Klimaschutzstrategien, die sowohl auf die Welt der Oberen vier als auch die der Unteren drei Milliarden ausgerichtet sind. Da die Oberen vier Milliarden für 90 Prozent der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich zeichnen, ist es ihre zentrale Aufgabe, ihren „Kohlenstoff-Fußabdruck“ zu reduzieren. Zugleich sollte es in ihrem eigenen Interesse sein, den Unteren drei Milliarden zu sauberen Verbrennungsprozessen zu verhelfen, um das Rußproblem zu mildern. Die entsprechende Technik ist mittlerweile vorhanden.

Ein Beispiel, wie solche Hilfe aussehen kann, ist das Projekt Surya, das Ramanathan mit initiierte. Es zielt darauf, Haushalten aus der Welt der Unteren drei Milliarden rußfreie Kochmöglichkeiten und solare Beleuchtungssysteme zu bieten. Das hilft nicht nur im Hinblick auf das Klima, sondern hat noch weitere positive Effekte: Frauen müssen nicht mehr zeitaufwändig Feuerholz sammeln. Außerdem vermindert sauberere Luft Atemprobleme und lässt landwirtschaftliche Nutzpflanzen besser wachsen. Zudem bremsst die so verbesserte Lage auf dem Land die Abwanderung der Menschen in die Mega-Cities.

Das Projekt Surya:
www.suryaproject.org

**PROF. DR.
KNUT HENNING
RODHE**
University of Stockholm
Sweden

THE ANTHROPOCENE SULFUR CYCLE

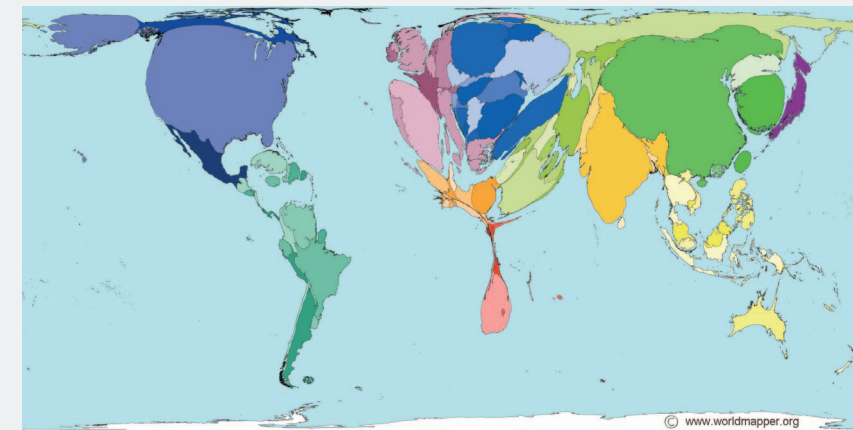


Prof. Dr. Knut Henning Rodhe ist ein schwedischer Meteorologe und emeritierter Professor der chemischen Meteorologie der Universität in Stockholm. Sein Forschungsinteresse gilt den Aerosolen, der chemischen Zusammensetzung von Wolken, dem biogeochemischen Kreislauf und dem Klimawandel.

Rodhe lehrte nach seinem Abschluss weiter an der Universität von Stockholm und war Gastwissenschaftler im National Center for Atmospheric Research in Colorado, an der Florida State University und der University of Hawaii.

Seit 2008 ist er Gastprofessor an der Universität von Stockholm und Leiter einer Forschungsgruppe, die an dem internationalen Forschungsprojekt „The Atmospheric Brown Clouds“ beteiligt ist. Dieses Projekt soll die ausgedehnten braunen Dunstschichten und deren Auswirkung auf das Klima und die Umwelt erklären. Die Wolken treten in allen Teilen der Welt auf, vor allem aber in Süd- und Ostasien. Die Gruppe von Rodhe konzentriert sich auf die Situation in Indien, Nepal und den Malediven.

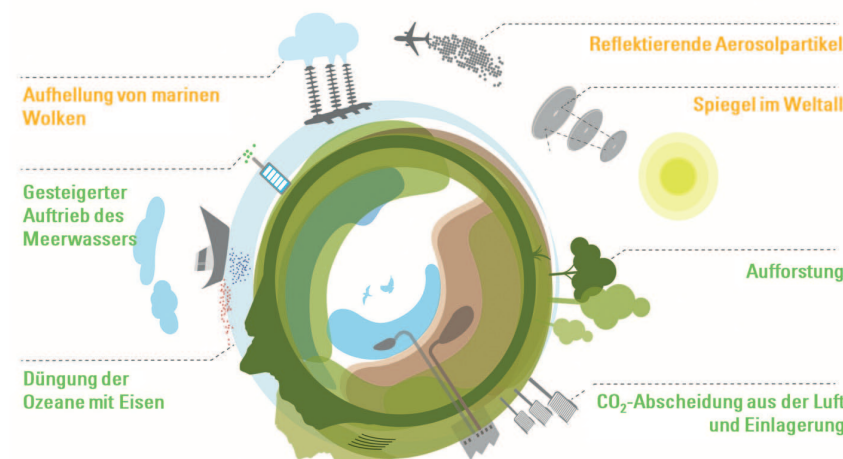
Rodhe arbeitete mit Paul Crutzen am Phänomen des sauren Regens.



SCHWEFELDIOXID

Die Flächen zeigen den Anteil der emittierten Schwefeldioxide aus der Verbrennung von Kohle, Braunkohle und Erdöl-Produkten. Schwefeldioxid wird auch bei Vulkanausbrüchen und Waldbränden frei. Im Jahr 2002 wurden weltweit 97 Millionen Tonnen Schwefeldioxid durch Verbrennung ausgestoßen.

Strahlungsmanagement



CO₂-Entfernung (Carbon Dioxide Removal - CDR)

Geoengineering: Verschiedene Ideen, das Klima zu beeinflussen. Quelle: IASS, Potsdam

Seit den 1950er Jahren sind die vom Menschen verursachten Schwefelemissionen weltweit deutlich gestiegen.

Das Verhältnis der anthropogenen zu den natürlichen Schwefelemissionen lag in Europa und Nordamerika in den 1980er Jahren bei zehn zu eins. Heute sind solche Verhältnisse vor allem in China zu finden. Das hat nicht nur Auswirkungen auf das Klima, sondern fördert auch die Versauerung von Böden und Seen. Es ist ein Zeichen für das Anthropozän.

Schon Ende der 1960er Jahre erkannte der schwedische Meteorologe Svante

Odén, dass der pH-Wert des Regens in weiten Teilen Mitteleuropas sinkt. In den 1980er Jahren befürchteten Experten in Deutschland wegen des sogenannten sauren Regens ein weiträumiges Waldsterben. Dass das nicht in dem damals erwarteten Ausmaß eingetreten ist, dürfte auch mit den Bemühungen der Europäer zusammenhängen, den Schwefeleintrag in die Umwelt zu reduzieren. Zwischen 1980 und 2000 konnte hier ein Rückgang von 70 Prozent verzeichnet werden.

Dennoch ist heute noch fast überall auf der Welt ein geringerer pH-Wert des Regens und der Böden im Vergleich zu vorindustriellen Zeiten zu beobach-

ten. Das gilt vor allem für China und die angrenzenden asiatischen Länder. Bei anhaltender Belastung könnte die Versauerung der Böden durch den Eintrag von Schwefelsäure vor allem in vielen Regionen Chinas in den nächsten Jahrzehnten zu spürbaren Problemen führen.

Schwefelpartikel, die als Aerosole in der Atmosphäre schweben, haben auch einen messbaren Effekt auf das Klima. Die Sulfate wirken kühlend, weil sie die Sonneneinstrahlung reduzieren und somit den Klimawandel abmildern können. Damit stellt sich die widersprüchliche Frage, was sinnvoller wäre: Die Schwefelemissionen zu reduzieren, um der Versauerung gegenzusteuern, oder sie beizubehalten und gar in manchen, ökologisch weniger empfindlichen Regionen zu fördern, um den Temperaturanstieg zu bremsen? Henning Rodhe plädiert dafür, bei den sogenannten weißen Partikeln (Sulfate und organische Aerosole) im gleichen Maß auf eine Reduktion der Emissionen zu setzen wie bei schwarzen Partikeln (Ruß).

Paul Crutzen schlug 2006 vor, im Sinne eines Geoengineering künftig zur Milderung des Klimawandels gezielt Schwefel in die Stratosphäre einzubringen. „Ich hoffe, wir werden das nicht tun müssen“, sagt Rodhe. Dennoch hält er es für legitim, diesen Ansatz und seine Folgen genauer zu erforschen.

**PROF. DR.
JACK FISHMAN**
Saint Louis University
USA

TROPOSPHERIC OZONE IN THE ANTHROPOCENE: ARE WE CREATING A TOXIC ATMOSPHERE?



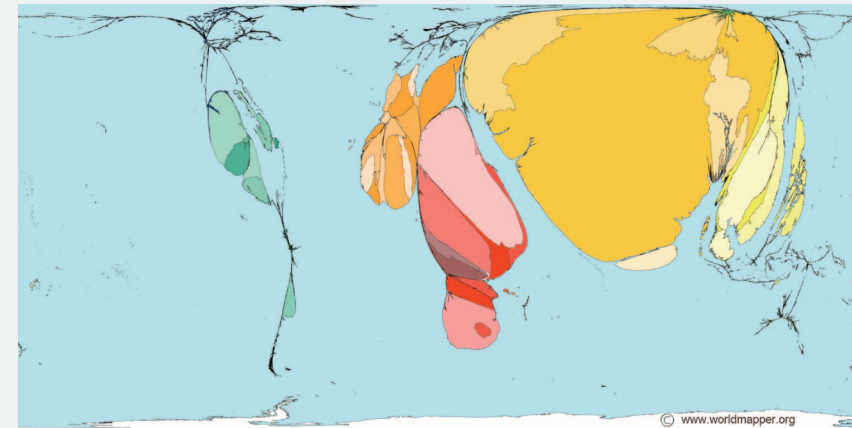
Prof. Dr. Jack Fishman ist seit 2011 Professor der Abteilung Erd- und Atmosphärenchemie an der Saint Louis University in Missouri, USA. Im selben Jahr wurde er zum Direktor des Center for Environmental Science ernannt.

In den Anfängen seiner Karriere arbeitete er unter der Anleitung von Prof. Dr. Paul Crutzen an photochemischen Modellen der Atmosphäre. Die Ergebnisse dieser Modelle führten zu der

Aussage, dass anthropogene Emissionen einen entscheidenden Einfluss auf das globale troposphärische Ozon haben.

Fishman leistete Pionierarbeit bei Nutzung von Satelliten, die eine einzigartige und aufklärende Sicht auf die sich verbreitende globale Umweltverschmutzung gewähren. 1992 folgte eine Feldkampagne der NASA, bei der Fishman als leitender Wissenschaftler tätig war. Mithilfe des Einsatzes von Flugzeugen hoffte man, eine Erklärung für die auf den Satellitenbildern zu sehende massive Luftverschmutzung in der südlichen Hemisphäre zu finden. In der zweimonatigen Kampagne wurde Fishman in seiner Annahme bestätigt, dass im südlichen Afrika und Südamerika die Verbrennung von Biomasse ursächlich für die Verschmutzung ist.

Zurzeit ist Fishman Mitglied des Air Quality Application Science Teams der NASA.



ABHOLZUNG

Diese Karte zeigt die weltweite Abholzung von Wald, gemessen als finanzieller Wert des geschlagenen Holzes, der nicht durch das natürliche Wachstum ausgeglichen bzw. nicht nachhaltig geerntet wird. Stand 2003.



Brandrodung: Das Feuer setzt den von Pflanzen gebundenen Kohlenstoff in Form von Ruß und CO₂ frei, was zum Treibhauseffekt beiträgt.

Quelle: MPI für Chemie

1975 starteten Wissenschaftler, darunter Jack Fishman und Paul Crutzen, die ersten Versuche, die globale Verteilung von Ozon in der unteren Atmosphärenschicht, der Troposphäre, zu bestimmen.

Dabei zeigte sich überraschend, dass auf der Nordhalbkugel der Erde höhere Ozonkonzentrationen zu finden sind als auf der Südhalbkugel. Theoretisch hätte es anders herum sein müssen, weil Ozon normalerweise über Land schneller abgebaut wird als über dem Meer und die Nordhalbkugel mehr Landfläche bietet. Für das Ungleichgewicht fanden die Forscher aber eine Erklärung: Der höhere Ausstoß von Kohlenmonoxid und Stickoxiden durch die Industrie führt dazu, dass auf der Nordhalbkugel

mehr Ozon durch photochemische Reaktionen gebildet wird.

Wenige Jahre später zeigten Messkampagnen in Brasilien, dass auch dort über Land viel höhere Ozonkonzentrationen vorherrschen, als sie laut Modellrechnungen zu erwarten wären. Der Zusammenhang ist dort ein anderer, wenn auch ähnlicher: Es sind nicht Industriebetriebe, die dort die Ozonproduktion fördern, sondern große Wald- und Steppenbrände, ausgelöst vor allem durch Brandrodungen. Es zeigte sich: Die Verbrennung von Biomasse ist eine ebenso potente Quelle von photochemisch aktiven Spurengasen wie industrielle Emissionen.

Heute lässt sich anhand von Messungen durch Satelliten erkennen, wo auf der

Erde erhöhte Ozonkonzentrationen herrschen. Die Daten zeigen, gepaart mit bodengestützten Beobachtungen, dass die Ozonkonzentrationen in der Troposphäre im Laufe des 20. Jahrhunderts immer weiter angestiegen sind und regional auch weiterhin zunehmen. Das wirkt sich vor allem auf die Pflanzenwelt negativ aus.

Ozon dringt durch die Atmungsöffnungen (Stomata) in die Blätter ein und kann dort zum Absterben von Zellen führen. Versuche mit Soja-Pflanzen haben gezeigt, dass ein um 20 Prozent gesteigerter Ozongehalt der Luft zu Ernteeinbußen von 17 Prozent führen kann. Ähnliche Effekte wurden auch bei Baumwolle, Erdnuss, Weizen und anderen Nutzpflanzen beobachtet.

Sollten die Ozonkonzentrationen in Zukunft weiter zunehmen, könnte sich das spürbar negativ auf die landwirtschaftliche Produktion auswirken. In den USA beispielsweise mussten Bauern den Anbau der einst populären, aber ozonempfindlichen Kartoffelsorte „La Chipper“ bereits aufgeben. Künftig könnte es notwendig sein, den Anbau von bestimmten Pflanzenarten und -sorten in Regionen zu verlagern, in denen die Hintergrundbelastung mit Ozon deutlich geringer ausfällt, als in den traditionellen Anbaugebieten.

**PROF. DR.
JOHN P. BURROWS**
Universität Bremen
Deutschland

LIVING IN AND OBSERVING THE ANTHROPOCENE FROM SPACE

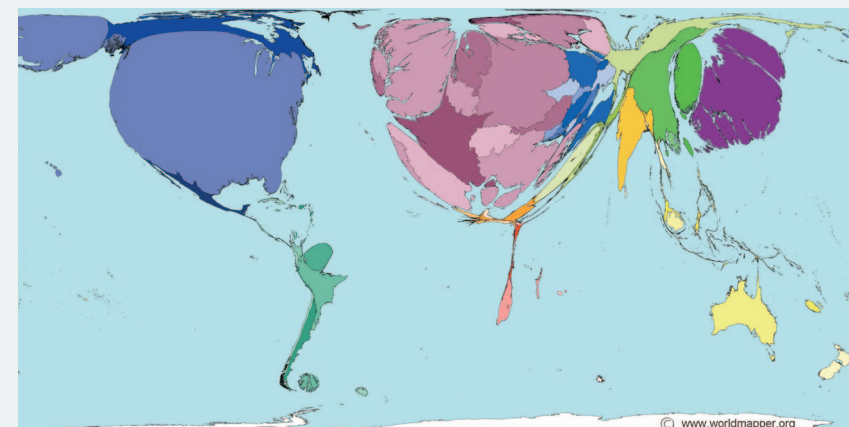


Prof. Dr. John P. Burrows ist Professor am Institut für Umweltphysik und Fernerkundung an der Universität von Bremen und Präsident der ICACGP (International Commission on Atmospheric Chemistry and Global Pollution). Zu seinen Interessengebieten gehören Biogeochemie, Atmosphärenchemie und -physik, Photochemie

und chemische Kinetik, wie auch die Entwicklung von vor Ort- und Fernerkundungsmessinstrumenten, um die Entstehung von Luftverschmutzung besser analysieren zu können.

Burrows erlangte 1978 den Grad des Ph.D. am Trinity College der Cambridge Universität, Großbritannien. Von 1982 bis 1992 arbeitete er in der Abteilung der Atmosphärenchemie des MPI für Chemie. Ab 1984 entwickelte er mit Unterstützung von Prof. Dr. Paul Crutzen und Dr. Dieter Perner ein Konzept zur Fernerkundung von atmosphärischen Komponenten, bei dem die Streuung und die Reflektion der Sonneneinstrahlung beobachtet wird.

Während seiner Zeit am Institut startete er das Projekt SCIAMACHY. SCIAMACHY ist ein Messinstrument auf dem Satelliten Envisat und erstellt globale Karten von Spurengasen in der Atmosphäre.



WISSENSCHAFTLICHE PUBLIKATIONEN

Wissenschaftliche Arbeiten decken hier Physik, Biologie, Chemie, Mathematik, klinische Medizin, biomedizinische Forschung, Engineering, Technologie, Geo- und Weltraumwissenschaften ab. Die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen von Forschern in den Vereinigten Staaten war im Jahr 2001 mehr als dreimal so hoch wie jene des zweitstärksten Gebiets, nämlich Japan.

Über die Dynamik und die chemischen Prozesse in der Stratosphäre und der Troposphäre war in den 1960er Jahren noch kaum etwas bekannt.

Das hat sich mittlerweile deutlich geändert. Forscher haben komplexe Reaktionszusammenhänge und -zyklen entdeckt und beschrieben, an denen unter anderem Stickoxide, Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor, Brom und Schwefel beteiligt sind. Sie prägen beispielsweise die Auf- und Abbauprozesse von Ozon in der Atmosphäre.

Um all das verstehen und die globalen Folgen abschätzen zu können, sind nicht nur theoretische Betrachtungen, sondern auch Messungen nötig. Die Daten helfen, Theorien zu testen. Zudem liefern sie Belege, um Maßnahmen der Klimapolitik begründen zu können. Hierbei spielen Satelliten als Träger der Messgeräte zur Fernerkundung eine wichtige Rolle.

Mitte der 1980er Jahre begann die Entwicklung passender Instrumente. Dazu zählen vor allem Spektrometer. Sie analysieren die aus der Atmosphäre zurückgeworfene und reflektierte Strahlung, um daraus den Gehalt klimawirk-



Der 2002 gestartete europäische Umweltsatellit ENVISAT, auf dem SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartography) als eines der Hauptinstrumente im Einsatz ist.
Quelle: ESA

samer Spurengase abzuleiten. Ein Beispiel ist das unter anderen von John P. Burrows konzipierte „Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography“ (SCIAMACHY). Es wurde 2002 mit dem europäischen Erdbeobachtungssatelliten Envisat gestartet. Ähnliche Spektrometer sind heute unter anderem auch auf Wettersatelliten der Metop-Serie im Einsatz.

Die damit möglichen Beobachtungen belegen beispielsweise die Verringerung der Ozonkonzentrationen in der arktischen und antarktischen Stratosphäre,

aber auch eine Steigerung in tieferen Luftschichten. Die Satellitendaten zeigen, wo es besonders hohe Stickoxid-Emissionen gibt, verursacht durch Industrie, Verkehr oder Waldbrände. Anhand der erhöhten Konzentration von Stickstoffdioxid (NO_2) über dem Meer lassen sich aus dem All vielbefahrene Schifffahrtsrouten identifizieren. Das Auf und Ab der großräumigen Messwerte von Methan und Kohlendioxid im Verlauf der Zeit zeigt das Atmen borealer Wälder.

Künftige Instrumente werden eine deutlich höhere räumliche Auflösung erreichen. Die geplante Satellitenmission CarbonSat zum Beispiel wird Daten zu Kohlendioxid und Methan in einem Raster von zwei mal zwei Kilometern liefern. Damit werden sich Emissions-Hotspots wie etwa einzelne Kraftwerke erkennen und überwachen lassen. So können die Satelliten den Menschen helfen, ihre Verantwortung im Anthropozän wahrzunehmen und nicht nur als Nutzer, sondern auch als Wächter des Planeten aufzutreten.

SUSTAINABILITY IN THE ANTHROPOCENE



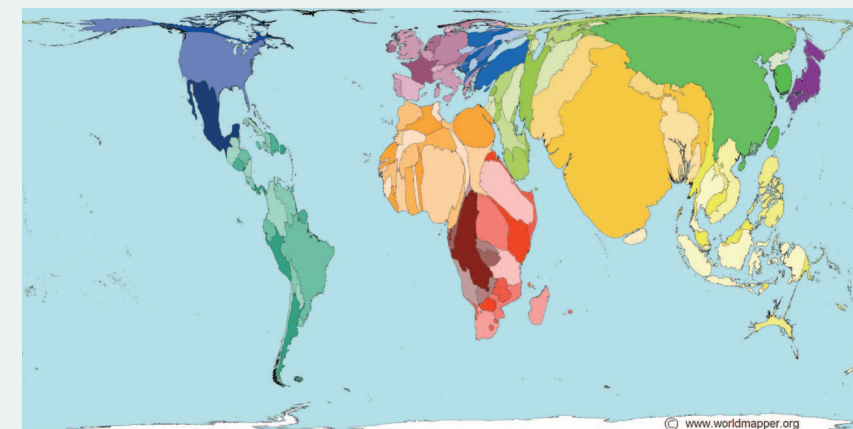
Prof. Dr. Klaus Töpfer ist Exekutivdirektor des Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) in Potsdam. Er war von 1987 bis 1994 Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und von 1998 bis 2006 Exekutivdirektor des Umweltprogramms der Vereinten Nationen in Nairobi (UNEP).

Töpfer studierte Volkswirtschaftslehre und promovierte 1968 zum Dr. rer. pol. Er lehrte unter anderem an den

Universitäten Hannover, Mainz und Tübingen. Seit 2007 ist er Professor für Umwelt und nachhaltige Entwicklung an der Tongji Universität in Shanghai, China. Parallel zu seiner Lehrtätigkeit war er 1971 und 1978 entwicklungspolitischer Berater der Länder Ägypten, Malawi, Brasilien und Jordanien.

Seit 1972 ist Töpfer Mitglied der CDU. Er ist ehemaliger Minister für Umwelt des Landes Rheinland-Pfalz, danach war er Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau sowie Mitglied des Deutschen Bundestages von 1990 bis 1998.

Sein Engagement gilt der Suche nach Lösungen für die globale Umweltproblematik, wofür er zahlreiche Auszeichnungen erhielt. Dazu zählen das große Bundesverdienstkreuz, der Deutsche Umweltpreis der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) und der Deutsche Nachhaltigkeitspreis für sein Lebenswerk. 2012 wurde er in die Earth Hall of Fame von Kyoto aufgenommen.



BEVÖLKERUNGSVERTEILUNG IM JAHR 2050

Für das Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung auf 9,07 Milliarden geschätzt. 62% der Menschen werden in Afrika, Süd- und Ostasien leben - numerisch gesehen ist es das Gleiche, als ob die gesamte derzeitige Weltbevölkerung in diesen Regionen leben würde. Weitere drei Milliarden werden dann über die restliche Welt verteilt sein.

Vor rund 300 Jahren verwendete Hans Carl von Carlowitz erstmals den Begriff Nachhaltigkeit. Das war in einem Buch über Waldwirtschaft („Sylvicultura oeconomica“).

Carlowitz war damals Bergrat in Sachsen, überwachte den Bergbau und war dafür zuständig, die Holzversorgung der Erzhöfen zu sichern. Der Holzbedarf für die Erzschnitzerei war so groß, dass Versorgungsengpässe aus den Wäldern drohten. Um das abzuwenden, verfolgte Carlowitz eine vierfache Strategie, basierend auf Effizienz (das Holz besser nutzen), Substitution (das Holz durch Torf ersetzen), Industrialisierung (Anbau von schnell wachsenden Fichten-Monokul-

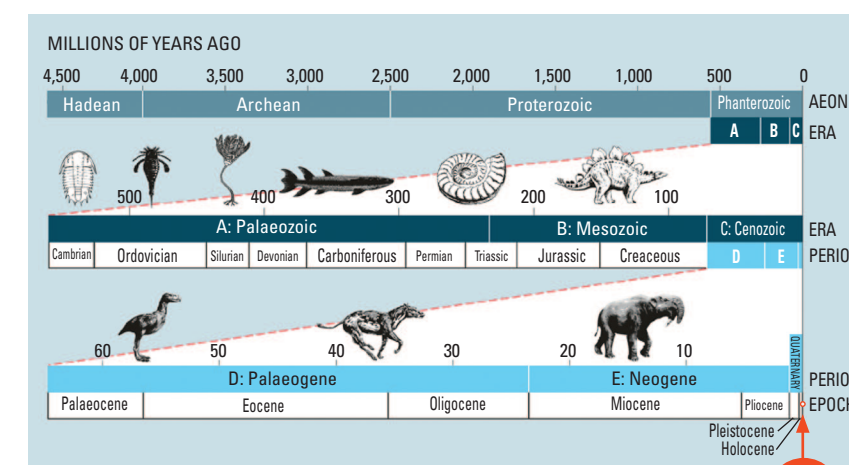
turen) sowie im geringeren Maße auch Suffizienz. Er sagte, man müsse die Konsequenzen seines Handelns nicht nur für heute, sondern auch für die Zukunft bedenken.

Fast 300 Jahre später schrieb der Philosoph Hans Jonas über das Prinzip Verantwortung: „Das Wissen muss mit dem kausalen Ausmaß unseres Handelns größengleich sein.“ Diese Feststellung fällt in eine Zeit, in der die moderne Forschung immer schneller immer tieferes Wissen anhäuft und so unter anderem die Grundlagen des Lebens entschlüsselt.

Im März 2012 stand auf dem Titel des Time-Magazins: „Nature is over“ – Natur gibt es nicht mehr. Die Redakteure

griffen damit einen Gedankengang auf, den Paul Crutzen schon 2002 unter dem Titel „Geology of Mankind“ in der Fachzeitschrift Nature veröffentlichte. Darin definierte er den Begriff des Anthropozäns. Es geht nicht mehr darum, wie der Mensch mit der Natur zurechtkommt, sondern heute hat der Mensch eine prägende Rolle übernommen, wie die Natur ist und was sie werden wird. Zum gleichen Schluss kommt auch das Potsdam Memorandum von 2007. Darin heißt es: „Menschliche Aktivitäten wirken heute wie eine quasi-geologische Kraft“.

Für die Forschung erwächst daraus eine neue Aufgabe. „Die Forscher und Ingenieure stehen vor der enormen Herausforderung, die Gesellschaft beim nachhaltigen Management der Natur in der Ära des Anthropozäns anzuleiten“, schrieb Paul Crutzen im Fachmagazin Nature. Nach Ansicht von Klaus Töpfer geht es dabei vor allem darum, verschiedene Optionen einer künftigen Entwicklung aufzuzeigen. Die Forschung müsse dafür inter- und transdisziplinär arbeiten und auch die Gesellschaft in Forschungsprozesse einbeziehen. Die Nutzung gesellschaftlichen Wissens und die Berücksichtigung räumlich und zeitlich weitreichender Auswirkungen heutigen Handelns schaffen neue Handlungsräume, so Klaus Töpfer, die es zu nutzen gilt, um die Welt nicht vom TINA-Prinzip („There is no Alternative“) beherrschen zu lassen. Das sei die größte Herausforderung des Anthropozäns.



Die Erde entstand vor etwa 4,6 Milliarden Jahren. Paul Crutzen bezeichnet die Zeit seit Beginn des Industriezeitalters am Ende des 18. Jahrhunderts als Anthropozän. Da der Mensch irreversibel in das System Erde eingreift, löst das Menschzeitalter das Holozän ab.

PROF. DR.
MEINRAT O. ANDREAE
Max-Planck-Institut für Chemie
Deutschland

FROM CALLIXYLON TO CRUTZEN

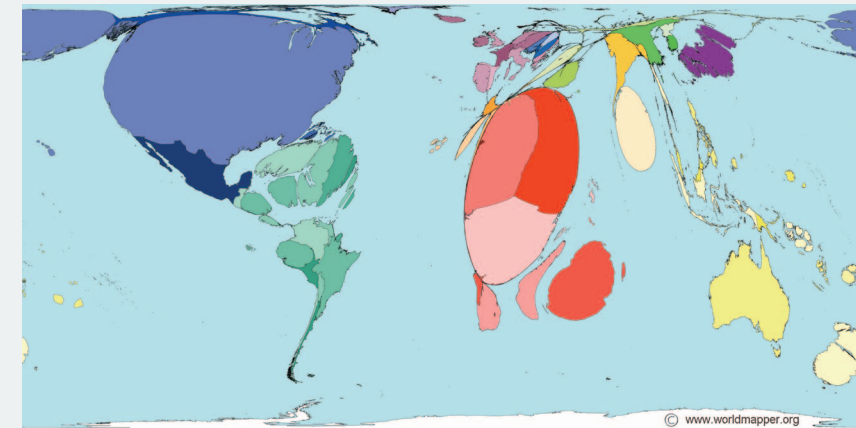
400.000.036 YEARS OF BIOMASS BURNING



Prof. Dr. Meinrat O. Andreae ist seit 1987 Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie und leitet die Abteilung Biogeochemie. Er studierte Mineralogie an den Universitäten Karlsruhe und Göttingen. Sein Forschungsinteresse gilt der Biogeochemie, der Atmosphärenchemie, der chemischen Ozeanographie, Vegetationsfeuern, Interaktionen zwischen chemischen Prozessen, dem Klima und dem Schwefelzyklus.

1977 erlangte er den Grad des Ph.D. in Ozeanographie in der Scripps Institution of Oceanography in San Diego, Kalifornien. Zwischen 1978 und 1982 arbeitete Andreae als Assistenzprofessor für Ozeanographie, und von 1986 bis 1987 war er Professor für Ozeanographie an der Florida State University in Tallahassee, USA. Außerdem war er an verschiedenen renommierten Universitäten als Gastprofessor tätig.

Sein großes Interesse an der Rolle der Biomassenverbrennung in der Atmosphäre wurde 1979 von Paul Crutzen geweckt. Bei einem Besuch am National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado berichtete ihm Crutzen von den Vegetationsfeuern in den Tropen. Daraufhin veranlasste Andreae Luftmessungen über dem Amazonasbecken und entdeckte einen hohen Wert an Kohlenstoffmonoxid, der durch die Brände entstand. 2007 war er Mitautor am dritten Sachstandsbericht des Weltklimarates IPCC zum globalen Wandel.



AUSGESTORBENE SPEZIES

Die Flächen zeigen den Anteil von Arten, die zwischen 1500 und 2004 ausgestorben sind.

Ausgestorben bedeutet, wenn keine Zweifel darüber bestehen, dass das letzte Individuum einer Spezies gestorben ist. Hier sind über 700 Arten dargestellt, von denen bekannt ist, dass sie ausgestorben sind. Enthalten sind Säugetiere, Vögel, Reptilien, Amphibien, Wirbellose und Pflanzen.

Die meisten verzeichneten Arten, die in jüngerer Zeit ausgestorbenen sind, lebten in den Vereinigten Staaten, gefolgt von der Vereinigten Republik Tansania, Uganda und Mauritius.

Das Verbrennen von Biomasse ist die Umkehrung der Photosynthese. Dabei wird Biomasse unter Verbrauch von Sauerstoff in Kohlendioxid und Wasser zurück gewandelt. Für das Feuer sind drei Zutaten nötig: Sauerstoff, Brennstoff und ein Zünder, beispielsweise ein Blitz.

Die ersten Biomassefeuer der Erdgeschichte gab es im Silur vor mehr als 410 Millionen Jahren. Damals entwickelten sich die ersten Landpflanzen. Die ersten Wälder wuchsen im Devon vor über 360 Millionen Jahren. Aus jener Zeit stammen die ältesten Überreste fossiler Holzkohle einer Baumart namens Callixylon.

Es folgte das Zeitalter des Karbon, in dem es besonders viele Biomassefeuer gab. Rund fünf Prozent der Kohleablagerungen basieren auf fossiler Holzkohle. Spätestens zu jener Zeit wurde Feuer zu einem wichtigen Faktor für die terrestrische Ökologie. Seither prägen Feuer über ihre Intensität, Häufigkeit und das Ausmaß die Struktur der Ökosysteme. Sie haben Einfluss auf die Artenvielfalt, die Menge an Biomasse, die Nährstoffverfügbarkeit, den Wasserhaushalt und das Klima.

Der Mensch tauchte im Unteren Pleistozän vor rund zwei Millionen Jahren auf und veränderte fortan die Welt. Er jagte und dezimierte auf fast allen Kontinenten die zuvor dort herrschende „Megafauna“ großer Pflanzenfresser. Ohne diese Tiere breiteten sich in feuchten Regionen dichtere Wälder aus, die seltener, aber umso heftiger brannten. Zudem entwickelte sich in Savannen und offenen Graslandschaften eine von Menschen geprägte Feuerökologie. Die Frühmenschen setzten Feuer gezielt bei der Jagd ein, nutzten es zum Kochen, wehrten damit Raubtiere ab, stellten Keramik her, härteten darin ihre Speere und brandrodeten das Land.

Im Holozän nahm der Einsatz des Feuers weiter zu. Anfangs war diese Entwicklung nicht nachweisbar vom Menschen, sondern eher durch das sich erwärmende Klima nach der letzten Eiszeit geprägt. Doch vor allem zu Beginn des Anthropozäns kam es zu einer schnellen Zunahme der Feuernutzung, parallel zum schnellen Wachstum der Weltbevölkerung und dem deutlichen Anstieg der Kohlendioxidkonzentration der Atmosphäre. Diese Entwicklung hält noch immer an.

Paul Crutzen war einer der Ersten, der Ende der 1970er Jahre die Auswirkung



Aktive Feldforschung in Brasilien: Paul Crutzen nimmt eine Rauchprobe an einer offenen Feuerstelle.
Quelle: Patrick Zimmerman 1978

gen der Verbrennung von Biomasse auf die Atmosphäre und das Klima untersuchte. Seither hat auch die Zahl der wissenschaftlichen Studien, die mit den Stichworten „biomass burning“ veröffentlicht werden, Jahr für Jahr zugenommen.



HERAUSGEBER

Max-Planck-Institut für Chemie
(Otto-Hahn-Institut), Mainz, Deutschland

REDAKTION
Susanne Benner

TEXTE UND INTERVIEW
Lucian Haas

BILDER
soweit nicht anders genannt:
Carsten Costard;
thematische Weltkarten:
Copyright Sasi Group (University of Shef-
field) and Mark Newman (University of
Michigan)

LAYOUT
markenfaktur, Heidelberg

DRUCK
DRUCKHELDEN.DE GmbH & Co. KG,
Mellrichstadt

COPYRIGHT 2014 MPIC