

75 JAHRE

52

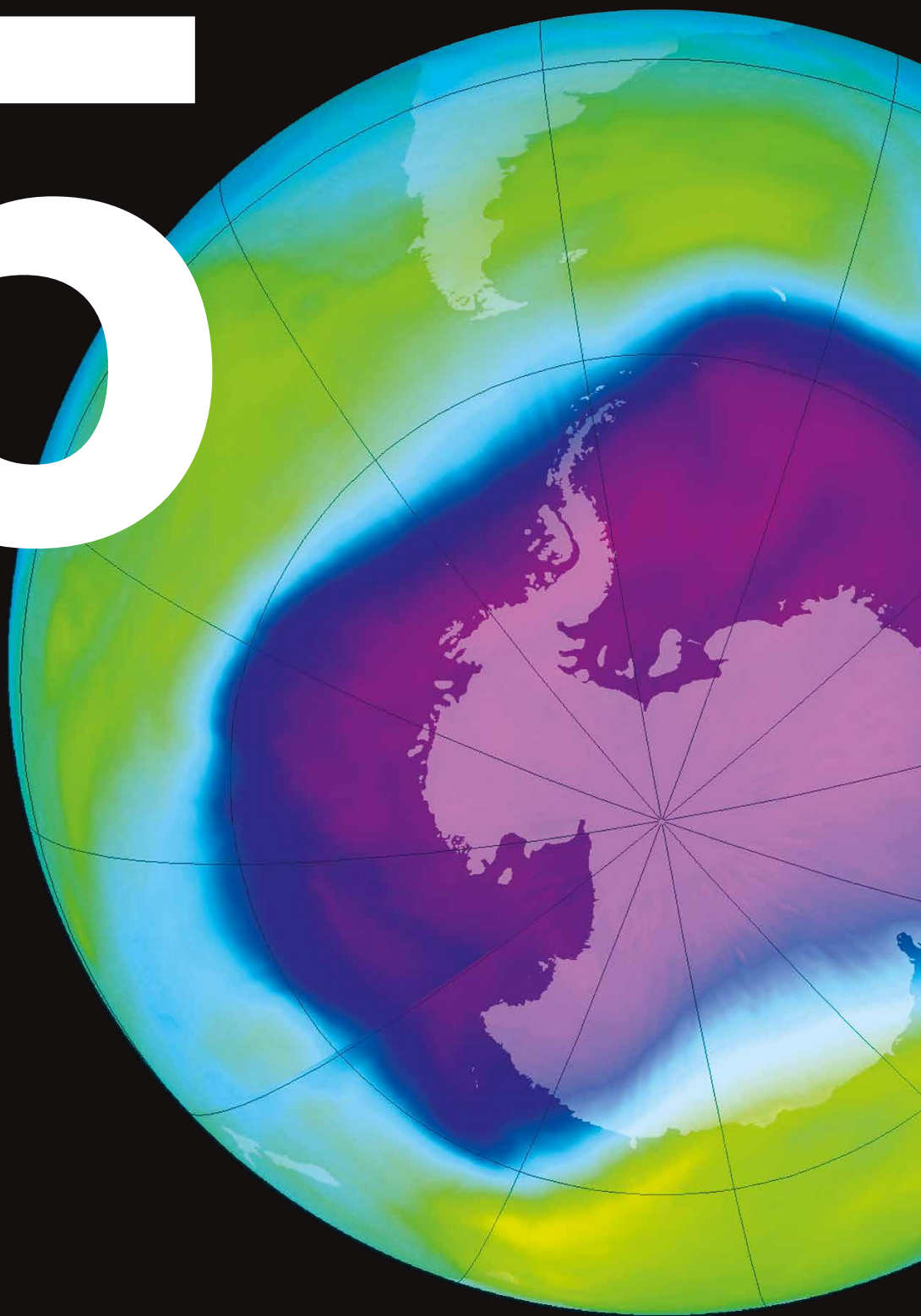


BILD: SCIENCE PHOTO LIBRARY / NASA

Verzögerte Erholung:
Das menschengemachte
Ozonloch über der Ant-
arktis erreichte am
9. September 2000 und
am 24. September 2006
(Bild) mit 29,5 Millio-
nen Quadratkilometern
ein Maximum. Seither
schrumpft das Ozonloch
langsam wieder.

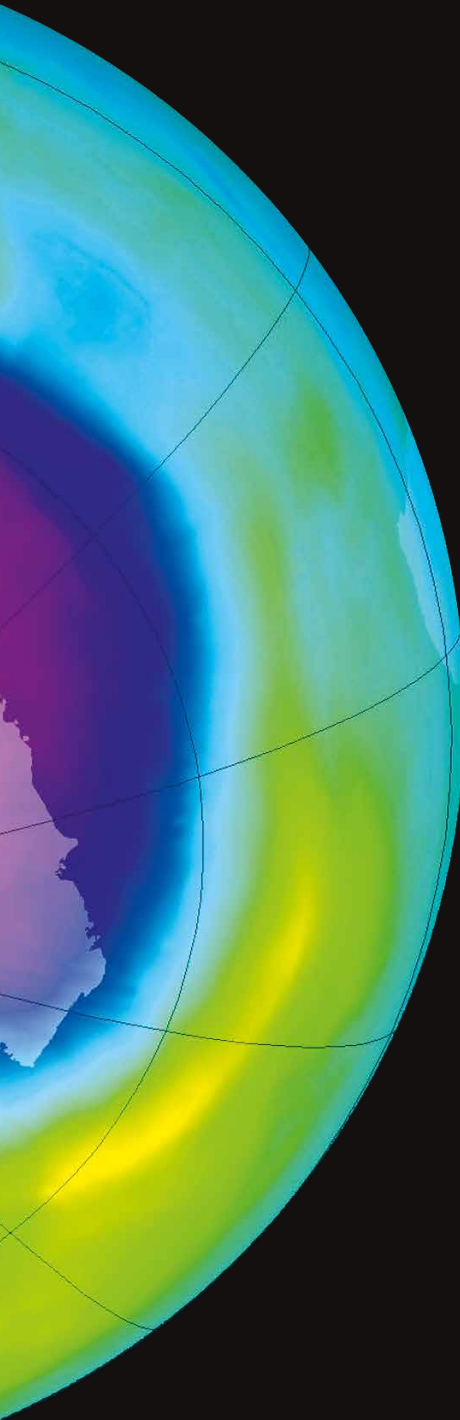
DIE ERDE IM VITALTEST

TEXT: ROLAND WENGENMAYR

Klimakrise, Artensterben, Ozonabbau – ökologische Fehlentwicklungen bedrohen das Leben auf der Erde, wie wir es kennen, und damit auch die gesellschaftliche Stabilität. Der Gefahr lässt sich, wie im Fall des Ozonlochs, nur begegnen, wenn die Zusammenhänge durch und durch verstanden sind. Das ist das Ziel des Erdsystemclusters in der Max-Planck-Gesellschaft.

An seiner Entstehung haben die beiden späteren Nobelpreisträger Paul J. Crutzen und Klaus Hasselmann maßgeblich mitgewirkt.

53



Beim Blick aus dem Weltall wird unmittelbar klar, welche Spezies die Erde heute beherrscht. Auf der Nachtseite zeichnet ein Netzwerk von Lichtern die Aktivität des Menschen nach, auf der Tagseite ist diese an vielen künstlichen Strukturen erkennbar. Auch im Boden hinterlässt der Mensch längst Spuren. Das brachte bereits 1873 den italienischen Geologen Antonio Stoppani dazu, in einem Lehrbuch das „Anthropozoikum“ auszurufen. Dass dieser Begriff heute, leicht variiert, als „Anthropozän“ im allgemeinen Wortschatz angekommen ist, geht allerdings auf Paul J. Crutzen zurück. Im Jahr 2000, auf einer Konferenz des International Geosphere-Biosphere Programme in der mexikanischen Stadt Cuernavaca, rief der Max-Planck-Forscher und Chemie-Nobelpreisträger, während des Vortrags eines Kollegen sinngemäß aus: Stopp, hören Sie auf, vom Holozän zu reden – wir leben im Anthropozän!

Das Holozän ist die gegenwärtige geologische Epoche der Erdgeschichte: Doch in diesem Begriff ist der massive Einfluss des Menschen auf die Erde noch nicht berücksichtigt.

Die Anekdote erzählt Jürgen Renn, Direktor am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin. Gerade ist er mit dem Aufbau des Max-Planck-Instituts für Geoanthropologie beschäftigt, das seit 2022 in Jena am Standort des früheren Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte entsteht. Es ist das jüngste innerhalb eines Clusters von Max-Planck-Instituten, die verschiedene Facetten des Erdsystems erforschen. Das Erdsystem umfasst die Gesamtheit aller miteinander im Austausch stehenden Sphären der Erde: die Atmosphäre, also die Lufthülle; die Hydrosphäre, die Wasserhülle, vor allem die Ozeane; die Lithosphäre, die Welt unter unseren Füßen und tiefere



FOTO: DLR



54

Überflieger: Mit dem für extreme Höhen geeigneten Forschungsflugzeug Halo analysieren unter anderem Forschende des Max-Planck-Instituts für Chemie Spurengase in der Atmosphäre und die Verbreitung von Schadstoffen.

Stopp, hören Sie auf, vom Holozän zu reden – wir leben im Anthropozän!

PAUL J. CRUTZEN

Gesteinsschichten; die Kryosphäre in den vereisten Regionen; die Biosphäre. Und das ist noch nicht alles. Renn rechnet auch die vom Menschen geschaffene Infrastruktur dazu, denn diese sei inzwischen allein schon gewichts- und energiemäßig mit der Biosphäre vergleichbar. „Die Technosphäre ragt in der Tat aus der Biosphäre heraus“, sagt er, „und wenn

wir die Erdsystemperspektive einnehmen, liegt es nahe, diese Sphäre vergleichbar zu den anderen Erdsphären zu behandeln – natürlich nicht nur isoliert, sondern in ihrer Wechselwirkung mit den anderen Erdsphären.“

Als erstes Forschungsziel soll das neue Institut in Jena „die dynamische Entwicklung dieses gekoppelten Mensch-

Erde-Systems“ untersuchen, so Renn. Geschehen soll dies in einer interdisziplinären Zusammenarbeit von Forschenden aus den Sozialwissenschaften, der Wissenschaftshistorie, der Klimaforschung bis hin zur Archäologie. Damit verknüpft soll das Institut sich auch mit der Frage nach der „Großen Beschleunigung“ auseinandersetzen. Dieser Begriff basiert auf der Beobachtung, dass alle bedeutenden Eingriffe des Menschen in das Erdsystem der letzten zwei Jahrhunderte im Vergleich etwa zu geologischen Prozessen nicht nur sehr schnell ablaufen – sie scheinen überdies eine exponentielle Beschleunigung zu erfahren. Ob das so ist und, falls ja, wel-

che Einflüsse im Mensch-Erde-System wesentlich sind, das wollen die Jenaer untersuchen.

Das Max-Planck-Institut für Geoanthropologie wird sich also mit Fragen etwa im Zusammenhang mit der Klimakrise beschäftigen, die nicht mehr nur die verschiedenen Disziplinen der Naturwissenschaften betreffen, sondern mittlerweile auch im Fokus der geistes-, sozial- und humanwissenschaftlichen Forschung sind. Die Geoanthropologie mit ihrer neuen Dimension von Interdisziplinarität ergänzt nun in der Max-Planck-Gesellschaft die Erdsystemforschung, deren Anfänge in die 1960er-Jahre zurückreichen – auch wenn der Begriff Erdsystemforschung damals noch keine Rolle spielte.

„Der Begriff entstand in den Achtzigerjahren, im Vorfeld zum International Geosphere-Biosphere Programme“, erläutert der Wissenschaftshistoriker Gregor Lax, der am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte

die Entstehung des Erdsystemclusters erforscht. Das International Geosphere-Biosphere Programme untersuchte in den Jahren 1986 bis 2015 verschiedene Aspekte des globalen Wandels, der auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Als das Programm initiiert wurde, war die Erdsystemforschung in der Max-Planck-Gesellschaft bereits bedeutend genug, um daran zu teilzunehmen.

Wichtig für die Vorgeschichte des Fachgebiets ist die Gaia-Hypothese, nach der das Leben zusammen mit der anorganischen Welt ein komplexes System bildet, das sich selbst reguliert. Entwickelt hat die Hypothese in den frühen 1970er-Jahren der britische Forscher James Lovelock – gemeinsam mit der US-amerikanischen Evolutionsbiologin Lynn Margulis. Beide machten die Gaia-Hypothese auch über Bücher bekannt. „Und die Erdsystemwissenschaft ist 1983 als Begriff durch ein Nasa-Komitee hinzugekommen“, erklärt Lax.

Ein Ursprung des Forschungsgebiets liegt in den frühen 1960er-Jahren im Meteorologischen Institut der Universität Stockholm, das Crutzens Doktorvater Bert Bolin leitete, der andere Ursprung in den USA. Führend waren dort zwei Meeresforschungsinstitute: die Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, Kalifornien, sowie die Woods Hole Oceanographic Institution in Woods Hole, Massachusetts. Während Bolin als Meteorologe vor allem die Atmosphäre im Blick hatte, dominierte in den USA die Ozeanographie. In La Jolla forschte Klaus Hasselmann als junger Assistenzprofessor in den frühen 1960er-Jahren. 2021 erhielt er als zweiter Max-Planck-Wissenschaftler den Nobelpreis auf dem Gebiet der Erdsystemforschung.

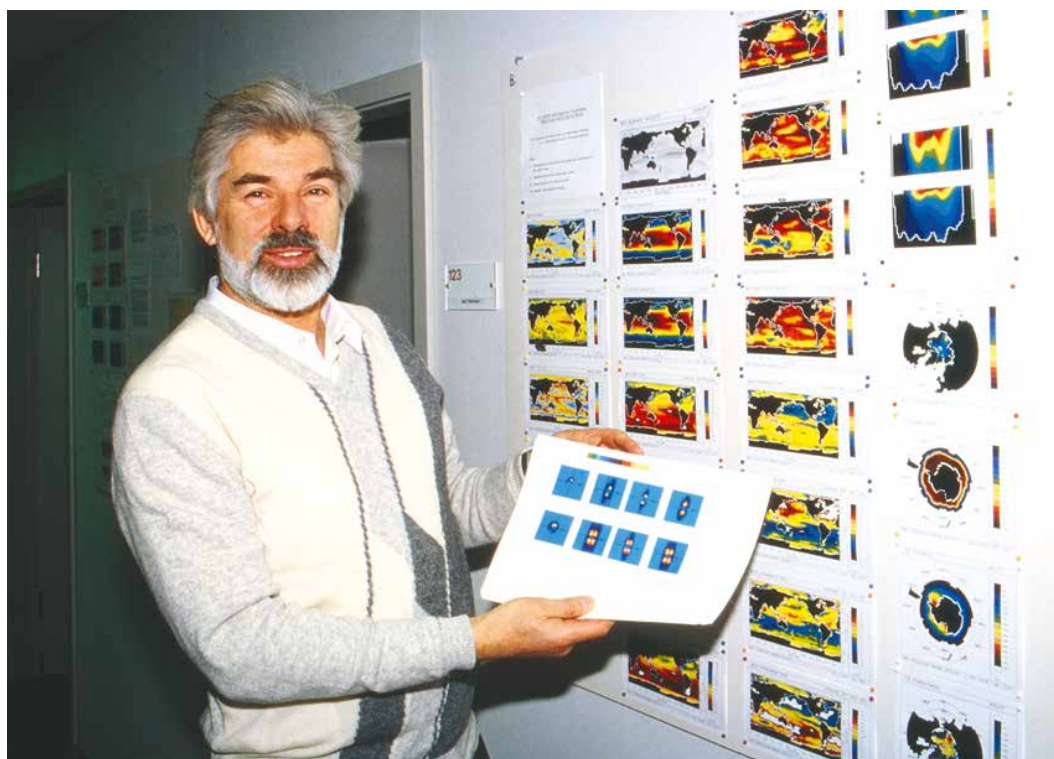
In den 1960er-Jahren sei die Max-Planck-Gesellschaft im neu aufkommenden Forschungsfeld allerdings noch so gut wie nicht vertreten gewesen, berichtet Lax. Das änderte sich erst, als es sich als sehr schwierig er-



Lebensaufgabe Umweltforschung: Paul J. Crutzen trug entscheidend zum Verständnis des Ozonabbaus bei. Er trieb die Erdsystemforschung in der Max-Planck-Gesellschaft voran, ebenso die Verbreitung des Begriffs Anthropozän. 2021 ist der Nobelpreisträger gestorben.



FOTO: ARCHIV DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Detektiv der Erderwärmung: Klaus Hasselmann entwickelte die statistischen Methoden, mit denen seine Gruppe in den 1990er-Jahren erstmals den menschlichen Fingerabdruck im Klima nachwies.

56

wies, für das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz eine neue Leitung zu berufen, die das Institut auf dem bisherigen Forschungsgebiet hätte weiterführen können. Das ging so weit, dass im Max-Planck-Präsidium sogar die Schließung des Instituts diskutiert wurde; dafür war jedoch die Zahl der Mitarbeitenden zu groß. Zudem besaß die Abteilung für Kosmochemie weltweites Renommee; sie bekam beispielsweise Ende der 1960er-Jahre von der Nasa Mondgestein aus der Apollo-11-Mission zur Analyse – eine der größten Proben, die eine Institution außerhalb der USA erhielt. Nach gescheiterten Berufungsversuchen beschloss die Max-Planck-Gesellschaft, die Forschung des Instituts neu auszurichten, und wandte sich über Umwege an den Meteorologen Christian Junge von der Universität Mainz, den sie schließlich auch berief. In den 1950er-Jahren

zum Beispiel hatte Junge in den USA bei Ballonexperimenten in der Stratosphäre eine Aerosolschicht aus Schwefelsäurepartikeln entdeckt – die nach ihm benannte Junge-Schicht.

Als Direktor steuerte Junge ab 1968 die Forschung des Instituts radikal um und baute eine Abteilung für Atmosphärenchemie auf. Da in den 1970er-Jahren das Umweltbewusstsein allgemein wuchs, bekam die Erforschung der chemischen Spurenstoffe und ihrer Kreisläufe auf der Erde zunehmend Aufmerksamkeit. Und die neue Mainzer Forschung gewann auch international an Reputation. So gelang es Junge 1980 schließlich, einen aufstrebenden Kopf der Atmosphärenchemie als seinen Nachfolger nach Mainz zu holen: Paul Crutzen, der zuvor am National Center for Atmospheric Research in Boulder, Colorado, geforscht hatte.

Crutzen brachte die Computermodellierung chemischer Vorgänge in der Atmosphäre an das Max-Planck-Institut für Chemie. Dabei war der Niederländer ursprünglich Brückenbauingenieur. Nachdem er zunächst als solcher gearbeitet hatte, bewarb er sich beim Meteorologischen Institut in Stockholm, das einen Programmierer suchte. Nach eigenem Bekunden hatte Crutzen damals keine Ahnung vom Programmieren. Doch der blitzgescheite junge Mann erhielt die Stelle, kam so in Kontakt mit der Atmosphärenchemie und studierte dann noch Meteorologie. Bereits ab Mitte der 1960er-Jahre erforschte er ein Phänomen, das auch politisch sehr relevant werden sollte: die katalytische Zerstörung des Ozons in der Atmosphäre durch Stickoxide, aber auch durch chlorhaltige Substanzen wie die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW). Diese Arbeiten wurden

1995 besonders erwähnt, als Crutzen sowie der in Mexiko geborene Mario Molina und der US-Amerikaner Sherwood Rowland, zwei weitere Pioniere der Ozonloch-Forschung, den Nobelpreis für Chemie erhielten.

Molina und Rowland zeigten 1974, dass die Halogenkohlenwasserstoffe in Spraydosen, Kühlschränken und vielen industriellen Prozessen die Ozonschicht und damit den Schutz vor schädlicher Ultraviolettstrahlung aus dem All zerstören können. Etwa zur gleichen Zeit erforschte Paul Crutzen – teils gemeinsam mit Frank Arnold vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg – den Ozonabbau in der Atmosphäre. Zumindest in den USA machte die Umweltbewegung die existenzielle Gefahr eines Ozonlochs nun weithin bekannt und stärkte den beiden in den USA forschenden Chemikern Molina und Rowland den Rücken gegen die mächtige Industrielobby.

In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Bundesregierung in den späten Siebzigerjahren aktiv, etwa mit dem „Blauen Engel“ für FCKW-freie Spraydosen. 1985 wurde dann das Ozonloch über der Antarktis entdeckt, was auch die politische Einigung auf ein internationales Verbot von Halogenwasserstoffen beschleunigte. So wurde im September 1987 das internationale Montrealer Protokoll zum Schutz gegen Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen, verabschiedet. Die Bundesrepublik Deutschland gehörte zu den ersten der mittlerweile 198 Vertragsstaaten, und schon im Oktober 1987 gründete der Bundestag die Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“. In ihr sollten Abgeordnete und Forschende Vorschläge zur Umsetzung des Montrealer Protokolls unterbreiten.

Über eine Sonderregelung konnte Paul Crutzen, obwohl Niederländer, teilnehmen, wie Hartmut Graßl erzählt. Der Klimaforscher war damals Direktor des Instituts für Physik am GKSS-Forschungszentrum bei Hamburg und wechselte 1988 als Direktor an das Max-Planck-Institut für Meteorologie. Auch Graßl kam später in die Kommission und erfuhr dort, wie die deutsche Industrielobby heftigen Widerstand gegen das Verbot von FCKW leistete. Er erlebte, wie der Vorsitzende der Enquete-Kommission, der CDU-Politiker Bernd Schmidbauer, den Industrievertreter „so richtig anblaffte“: „Wann endlich geben Sie diese Hinhaltetaktik auf! Diese Substanzen müssen gestoppt werden!“ Damit sei ganz klar gewesen, so Graßl, dass auch die bisherige Unterstützerpartei der Industrie, die CDU, jetzt den Ausstieg wollte. Am Ende beschloss die Enquete-Kommission ein Dokument, das „fast wortgleich ins Englische übersetzt, in die Verschärfung des Montrealer Protokolls von 1990 übernommen wurde“, berichtet Hartmut Graßl.

Gesellschaftlich ebenso relevant wie Paul Crutzens Erkenntnisse zum Ozonabbau in der Atmosphäre war und ist Klaus Hasselmanns Forschung zum menschengemachten Klimawandel. Und so wie Crutzen nicht den direkten Weg in die Atmosphärenforschung nahm, führte auch Hasselmanns Karriere erst über einen Umweg in die Klimaforschung und an das Max-Planck-Institut für Meteorologie: Als junger Wissenschaftler wurde er in der Wellenforschung bekannt, weil er einen Weg fand, das Spektrum der verschiedenen Wellenlängen in einer Meeresdünnung genau zu berechnen – ein für die Schifffahrt in hohem Maße relevantes Problem.

→

Der höchste Forschungsturm der Welt: Mit dem 325 Meter aufragenden Amazon Tall Tower Observatory, kurz Atto, untersuchen Forschende etwa den CO₂-Austausch zwischen Amazonasregenwald und Atmosphäre.



FOTO: SUSANNE BENNER/MPI FÜR CHEMIE



Vom Forschungsschiff Maria S. Merian starteten Max-Planck-Forschende 2020 in der Karibik Cloudkites – Ballone, mit denen sie die Mikroprozesse in tropischen Wolken untersuchen. Das Projekt Eurec⁴a soll den Einfluss der Erderwärmung auf die Wolken- und Niederschlagsbildung in den Tropen klären – eine wichtige, bislang aber nicht komplett verstandene Rückkopplung im Klimawandel.

Hasselmanns herausragende Fähigkeiten als theoretischer Physiker waren der Grund, warum die Max-Planck-Gesellschaft auf ihn aufmerksam wurde und ihn zum Gründungsdirektor eines Instituts berief, dessen Forschungsschwerpunkt für ihn neu war. Als designerter Direktor war er sogar schon an der Planung für das Institut beteiligt, dessen Entste-

hungsgeschichte in zweifacher Hinsicht außergewöhnlich ist. Zum einen ging es aus dem Fraunhofer-Institut für Radiometeorologie und maritime Meteorologie hervor. Zum anderen kam der Impuls dafür vom Bundesforschungsministerium, das im Jahre 1973 bei der Max-Planck-Gesellschaft anfragte, ob sie das Fraunhofer-Institut übernehmen könne: Das Institut

war zwar international sehr angesehen, es passte allerdings nicht gut zur Fraunhofer-Gesellschaft mit ihrem Schwerpunkt auf angewandter Forschung.

Über seinen Start am Max-Planck-Institut für Meteorologie sagte Hasselmann seinem langjährigen Mitarbeiter Hans von Storch, der über mehrere Jahre Interviews mit Hasselmann führte und diese 2021 in einem Buch über den frisch gekürten Nobelpreisträger veröffentlichte: „Alle erwarteten von uns, dass wir einen riesigen Computer kaufen und anfangen zu rechnen. Und mir war klar, dass wir viele der grundlegenden Fragen zum Klimawandel und zum Einfluss des Menschen auf das Klima noch nicht verstanden hatten. Mir ging es vor allem darum, die Grundlagen des menschlichen Einflusses auf das Klima zu klären. Wie können wir zwischen natürlichen und vom Menschen verursachten Klimaschwankungen unterscheiden?“

Diese Fragen führten zu einem schwierigen Problem: Wie ließen sich im gigantischen Rauschen der Wetterschwankungen langfristige Klimatrends nachweisen? Und wie war das noch vergleichsweise winzige und langfristig doch gewichtige Signal aufzuspüren, das der Mensch durch die Freisetzung von Treibhausgasen als Fingerabdruck im Klimasystem hinterlässt? Tatsächlich beantwortete Hasselmann diese Fragen mit zwei Forschungsarbeiten. Mitte der 1990er-Jahre wies sein Team in Hamburg auf dieser Basis bereits mit hoher Sicherheit nach, dass der Mensch das Klima verändert. Die Simulation von Klimamodellen auf Supercomputern war da längst unverzichtbar geworden: Unter Hasselmanns Ägide wurde in Hamburg das Deutsche Klimarechenzentrum gegründet, 1988 ging es in Betrieb.

Kurz vorher hatte Paul Crutzen in Mainz bereits ein neues Gebiet der Erdsystemforschung etabliert: die Biogeochemie. Sie erforscht die Interaktionen zwischen der Atmosphäre, der Geo- und der Biosphäre. Dafür holte er Meinrat O. Andreae

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Der Erdsystemcluster in der Max-Planck-Gesellschaft betreibt Grundlagenforschung im Zusammenhang mit dem globalen Wandel, der auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist.

Das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz untersucht seit 1968 die Atmosphärenchemie. Dort forschte seit 1980 Paul J. Crutzen, dessen Erkenntnisse zum Abbau des atmosphärischen Ozons zum Verbot von Halogenkohlenwasserstoffen beitrugen und 1995 mit dem Nobelpreis gewürdigt wurden.

Am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg wies Klaus Hasselmann ab 1975 den menschlichen Einfluss auf das Klima nach und erhielt dafür 2021 den Nobelpreis für Physik.

Seit 1997 erforscht das Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena globale Stoffkreisläufe, unter anderem von Kohlenstoff beziehungsweise Kohlendioxid. Das Max-Planck-Institut für Geoanthropologie in Jena widmet sich seit 2022 unter Berücksichtigung geistes-, sozial- und humanwissenschaftlicher Aspekte dem Einfluss des Menschen innerhalb des Erdsystems.

1987 als Direktor ans Institut, einen Experten für Stoffkreisläufe in der Umwelt. Allerdings habe Andreae zunächst Schwierigkeiten gehabt, im Präsidium der Max-Planck-Gesellschaft den neuen Begriff Biogeochemie durchzusetzen, erzählt Lax. Doch das sollte sich bald ändern.

Nach der Wende 1990, im Zuge des Aufbaus Ost, gründete die Max-Planck-Gesellschaft neue Institute in Ostdeutschland. 1994 veranstaltete sie ein International Sympo-

sium on Biogeochemical Cycles and Global Change. Der Bayreuther Biologieprofessor Ernst-Detlef Schulze skizzierte dort, wie er sich ein künftiges biogeochemisches Institut vorstellen würde. Der Pflanzenökologe hatte in den 1980er-Jahren Crutzen und Hasselmann kennengelernt. Crutzen hielt das neue Institut für notwendig, um die Wechselwirkung des Bodens mit seiner Vegetation und der Atmosphäre darüber genauer zu erforschen. „Er sagte, ohne solide Erdoberflächenmessungen hingen wir in der Luft“, sagt Schulze.

Seine Ideen für das neue Institut, das dritte große innerhalb des Erdsystemclusters, konnte Schulze ab 1997 als Gründungsdirektor in Jena verwirklichen. Die wissenschaftliche Zielsetzung ist bis heute die Erforschung globaler Stoffkreisläufe – Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff – und der dafür relevanten biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse. Auf Jena fiel die Wahl zum einen aus politischen Gründen, denn Thüringen sollte auch mit einem Max-Planck-Institut bedacht werden. Für Schulze war zum anderen das Umland von Jena wissenschaftlich interessant, da die Gegend dort geologisch und in der Vegetation vielfältig ist – ideal für Feldversuche. An dem neuen Institut plante Schulzes Team hohe Messtürme, um damit den Stoffaustausch zwischen dem Boden inklusive Vegetation und der Luft zu erforschen. So entstanden der 304 Meter hohe Zotto-Turm in der sibirischen Taiga und der 325 Meter hohe Atto-Turm im brasilianischen Amazonasregenwald. Der Max-Planck-Direktor setzte sich bei der Europäischen Union zudem für den

Aufbau eines Netzwerks von Messtürmen in Europa ein: Dieses Integrated Carbon Observation System erfasst heute die Quellen und Senken für Treibhausgase über Europa – wichtige Daten für die Klimafor-

Zum Erdsystemcluster gehören noch weitere Institute, aktuell die Max-Planck-Institute für terrestrische Mikrobiologie in Marburg und für marine Mikrobiologie in Bremen; zeitweilig war auch das Max-Planck-Institut für Aeronomie, heute Sonnensystemforschung, in Lindau beteiligt. „Die Max-Planck-Gesellschaft hat den Anspruch, neue Forschungsfelder in Deutschland hochzuziehen“, sagt der Historiker Gregor Lax. In die Erdsystemforschung ist sie im internationalen Vergleich zwar recht spät gestartet, sie hat es dann aber innerhalb nur eines Jahrzehnts an die internationale Spitze geschafft. Dabei haben ihre Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht nur herausragende Forschung geleistet. Sie haben mit dem Verständnis unter anderem des Ozonabbaus und des menschengemachten Klimawandels auch die Grundlage dafür gelegt, diesen Bedrohungen für das Leben auf der Erde, wie wir es kennen, wirksam begegnen zu können.

59



DAS FORSCHUNGSPROGRAMM „GESCHICHTE DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT“

Zwischen 2014 bis 2022 rekonstruierten unabhängige Historikerinnen und Historiker die Entwicklung der MPG zwischen 1948 und 2002. Dabei ordneten sie die Geschichte der MPG in die Zeitgeschichte der Bundesrepublik im Zusammenhang europäischer und globaler Entwicklungen ein.