Klimakrise: Was Modelle vor 50 Jahren vorhergesagt haben, ist heute Realität

Zusammenfassung des Vortrags von Thomas Stocker vom 08.03.2022

Autorin
Kirsten Blohm

Eines der grössten Probleme dieser Zeit ist die Klimakrise. Die Häufung von Extremwetterereignissen, der Meeresspiegelanstieg und die Zunahme von Todesfällen, welche auf den Klimawandel zurückzuführen sind, sind nur ein Teil der Folgen.

Um die massiven Veränderungen in Grenzen zu halten, hat sich die Weltgemeinschaft 2015 durch das Pariser Klimaabkommen darauf verständigt, den Temperaturanstieg auf 1,5 °C, maximal jedoch 2 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit zu begrenzen.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind wir global gesehen bei einer menschengemachten Erwärmung der Erdoberfläche von 1,07 °C. Die Schweiz ist jedoch überdurchschnittlich stark betroffen, so hat sich das Klima in den letzten 150 Jahren um etwa 2 °C erwärmt.

Die Entwicklung des Klimas hängt massgeblich von den globalen Treibhausgasemissionen ab. Dies war schon vor über 50 Jahren durch einfache Modelle bekannt, und Wissenschaftler warnten vor einem gefährlichen weiteren Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen, insbesondere von CO_2.

Heutzutage können, statt den damals vorwiegend global getroffenen Aussagen, die Auswirkungen des Klimawandels auch auf regionaler Ebene bestimmt werden.

Als Pioniere wurden 2021 Syukuro Manabe und Klaus Hasselmann neben Giorgio Parisi mit dem Nobelpreis in Physik für die physikalische Modellierung des Klimas der Erde, die Erfassung der Variabilität und der zuverlässigen Voraussage der globalen Erwärmung ausgezeichnet.

Bereits im Jahr 1978 machten erste Wissenschaftler wie Uli Siegenthaler und Hans Oeschger von der Universität Bern darauf aufmerksam, dass «… eine maximal zulässige CO_2-Konzentration gefunden werden kann, die nicht überschritten werden sollte, wenn der atmosphärische Strahlungshaus-

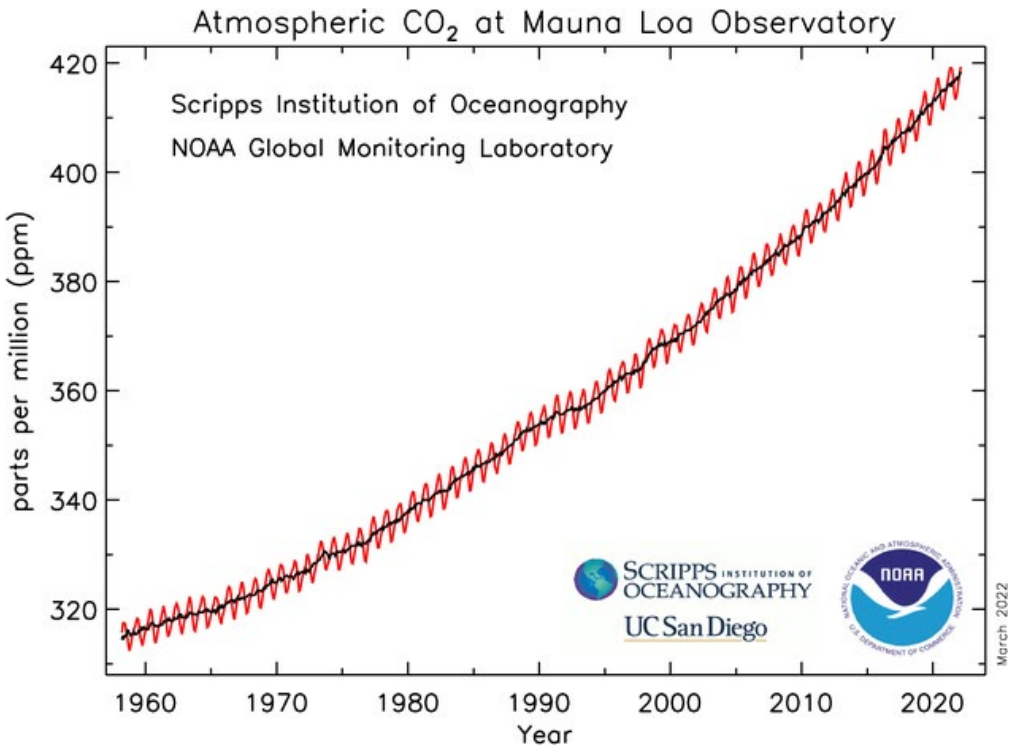

Abb. 1: Mittlere monatliche Messungen der CO_2-Konzentration des Mauna Loa Observatory, Hawaii von 1958 bis Februar 2022, auch Keeling-Kurve genannt (NOAA, 2022).

Charles David Keeling konnte durch präzise langjährige Messungen des Treibhausgases CO_2 in der Atmosphäre erstmals zeigen, dass die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und die Landnutzungsänderung zu einem Anstieg der CO_2-Konzentration führen. Somit konnten bislang hypothetisch aufgestellte Aussagen durch Messdaten untermauert werden.

Das Besondere an der Keeling-Kurve (siehe *Abb. 1)* ist ihre klare Datenlage durch die kaum von lokalen Einflüssen betroffenen Messungen in der mittleren Troposphäre auf dem Vulkan Mauna Loa auf Hawaii. Dies sind die ersten kontinuierlichen Messungen der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre. Um weiter in die Vergangenheit zu schauen, rekonstruiert man die CO_2-Konzentration durch in Eisbohrkernen eingeschlossener Luft (bislang bis zu 800 000 Jahre weit möglich), eine Spezialität der Abteilung für Klima- und Umweltphysik am Physikalischen Institut der Universität Bern.

In Abbildung 1 ist die kontinuierliche Messung der CO_2-Konzentration in ppm (parts per million – also einem Millionstel) seit dem Jahr 1958 abgebildet. Diese ist von 316 ppm im Jahr 1959 auf 416 ppm im Jahr 2021 gestiegen und nimmt jährlich mit steigender Rate zu. Für das Jahr 2021 ist die mittlere jährliche Wachstumsrate 2,4 ppm/Jahr (NOAA, 2022). Insgesamt ist die CO_2-Konzentration um 50 % höher als vor der Industrialisierung.

In der Abbildung ist zu sehen, dass die CO_2-Konzentration auch einer Jahresvariation unterliegt, welche durch die Aufnahme von CO_2 durch die Vegetation verursacht wird. Der grösste Teil der Landfläche befindet sich auf der Nordhemisphäre, wodurch die damit verbundene grössere Biomasse im Nordsommer als Senke der CO_2-Konzentration fungiert.

Alles in allem sieht man die beschleunigte Zunahme der CO_2-Konzentration, welche dem Treibhausgas die dominante Rolle in der Erderwärmung zuweist.

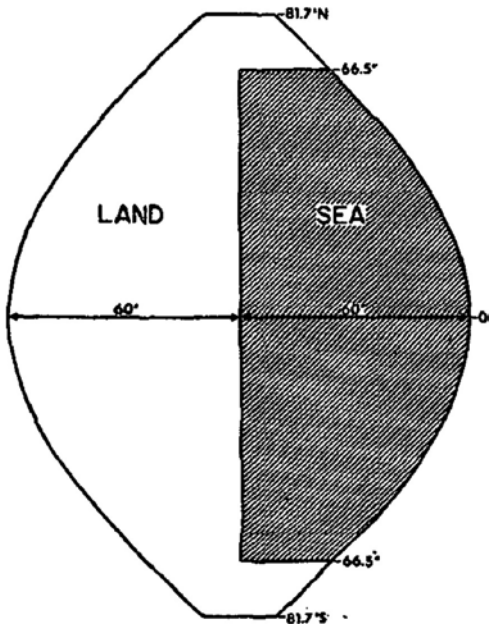

Abb. 2: Erstes gekoppeltes Atmosphäre-Ozean-Modell (Manabe & Bryan, 1969).

halt nicht in gefährlicher Weise gestört werden soll» (Siegenthaler und Oeschger, 1978). In der Wissenschaft bestand also schon zu diesem Zeitpunkt der Konsens, dass eine ansteigende CO_2-Konzentration zu einer wärmeren Erde führen wird.

> «Das Ziel der Konvention [...] ist die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, sodass eine gefährliche Wirkung des Menschen auf das Klimasystem verhindert wird.»
>
> United Nations, 1992

Dies führte 1992 zum 2. Artikel des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen. Des Weiteren sagten die Berner Forscher vorher, dass die CO_2-Konzentration bis zur Jahrtausendwende um 50 % ansteigen werde, was sich leider bewahrheitet hat.

Nobelpreis für Physik 2021

Kommen wir nun zu einer genaueren Vorstellung der Nobelpreisträger in Physik des Jahres 2021 für grundlegende Beiträge zum Verständnis komplexer physikalischer Systeme. Giorgio Parisi erhielt eine Hälfte des Preises «für die Entdeckung des Zusammenspiels von Unordnung und Fluktuationen in physikalischen Systemen vom atomaren bis zum planetarischen Massstab» (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2021).

Die andere Hälfte ging an Syukuro Manabe und Klaus Hasselmann «für die physikalische Modellierung des Erdklimas, die Quantifizierung der Variabilität und die zuverlässige Vorhersage der globalen Erwärmung» (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2021).

Manabe und Hasselmann haben mit ihren Arbeiten die Grundsteine für das Verständnis des Klimas und den menschlichen Einfluss darauf gelegt.

Syukuro Manabe

Manabe veröffentlichte 1967 ein Paper, in dem er die Auswirkungen von Änderungen der CO_2-Konzentration auf die Atmosphärentemperatur untersuchte. Er beschreibt darin, dass sich die untere Atmosphäre (Troposphäre, bis ca. 15 km) bei einer Verdoppelung der CO_2-Konzentration um 2 °C erwärmen wird. In der Stratosphäre (bis ca. 50 km) kommt es hingegen zu einer Abkühlung (Manabe und Wetherald, 1967).

2 Jahre später entwickelte er mit Kirk Bryan das erste gekoppelte Atmosphäre-Ozean-Modell, welches das Atmosphärenmodell von Manabe[1] mit dem Ozeanmodell von Bryan[2] verbindet. Mit diesem Modell werden sowohl die Ozean- und die atmosphärische Zirkulation als auch der Effekt des Ozeans auf den Niederschlag an Land über verschiedene Breitengrade simuliert (Manabe & Bryan, 1969).

1 Bis zur unteren Stratosphäre in 9 Schichten eingeteilt, Gitterpunkte ca. 500 km voneinander entfernt.
2 Ozean in 5 Schichten aufgeteilt, Packeis in Polarregionen wird vereinfacht modelliert, gleiche Auflösung wie beim Atmosphärenmodell von Manabe.

Andere Wissenschaftler lieferten ebenso entscheidende Beiträge zur Klimaforschung. Hans Oeschger und Willy Dansgaard haben 1984 mit Isotopenuntersuchungen von Seekarbonaten aus europäischen Seen und Eisbohrkernen aus Grönland genauere Datierungen der letzten Kaltzeiten dargelegt. Es konnte gezeigt werden, dass Messungen grönländischer Eisbohrkerne bedeutsam für Klimaereignisse auf globaler Ebene sind (Oeschger et al., 1984).
Broecker hat mit einer vereinfachten Grafik der Ozeanströmungen Aufsehen erregt und somit viele weiterführende Studien zur ozeanischen Wärmepumpe ausgelöst. Ausserdem hat er in einer wissenschaftlichen Publikation erstmals den Ausdruck «global warming», also «globale Erwärmung» erwähnt (Broecker, 1975 und 1991).

Im Jahr 1975 erweiterten sie ihr Modell mit einer realistischen Geometrie der Topographie. So wurden die Ränder der Kontinente, Berge und die Tiefen im Ozean modelliert. Der Ozean wurde deutlich langsamer berechnet als die Atmosphäre[3], wodurch sich aufgrund der damaligen Rechenleistung kein Gleichgewicht im Ozean einstellen konnte. Trotzdem stellte das Modell eine gute Simulation der meridionalen Wärmeflüsse und der grossräumigen Verteilung der Temperatur sowie der Salinität (Salzgehalt) im Ozean dar.

Im Jahr 1988 veröffentlichte Manabe eine Arbeit, in der er für das gekoppelte Zirkulationsmodell der Atmosphäre und des Ozeans unter identischen Rahmenbedingungen zwei Gleichgewichtszustände beschreibt.

Das eine Gleichgewicht besteht aus einer thermohalinen Zirkulation[4] mit hohem Salzgehalt und warmem Oberflächenwasser im Nordatlantik. Im anderen Gleichgewicht gibt es keine thermohaline Zirkulation und eine intensive Halokline[5] in hohen Breiten.

Im ersten Gleichgewicht werden warme Strömungen nach Norden und in der Tiefe

3 Im Verhältnis 1:320.
4 Umgangssprachlich: Globales Förderband im Ozean.
5 Übergangszone, in welcher sich Wasser mit unterschiedlichem Salzgehalt trifft, sich jedoch nicht vermischt.

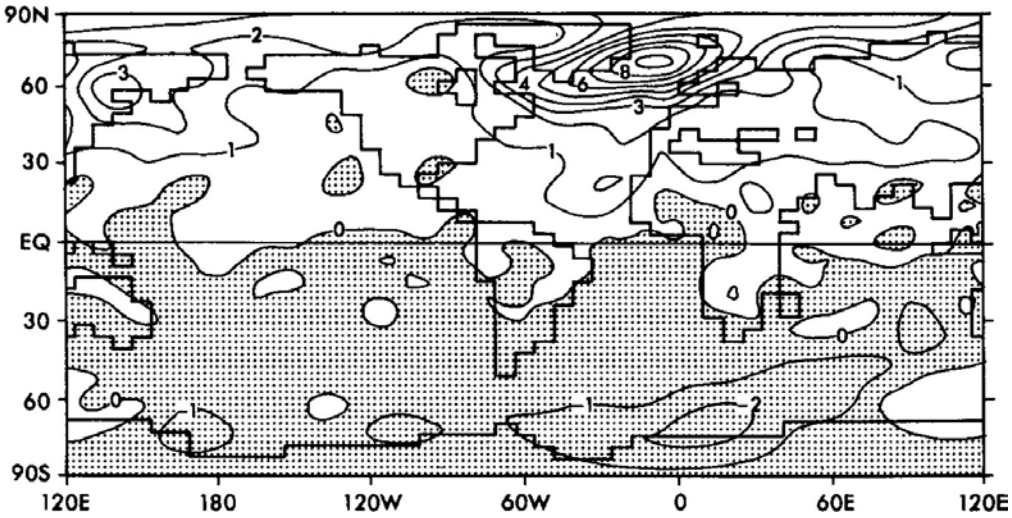

Abb. 3: Wirkung der Wärmepumpe im Atlantischen Ozean: Erwärmung im Nordatlantik und Abkühlung auf der Südhemisphäre (Manabe & Stouffer, 1988).

kalte Strömungen nach Süden transportiert, sodass durch den Wasser- und Wärmetransport eine Erwärmung von ca. 10 °C im Nordatlantik bewirkt wird. In der Südhemisphäre kommt es hingegen zu einer Abkühlung (siehe *Abb. 3).*

Die Modellierung der thermohalinen Zirkulation erklärt ebenfalls, wieso der Oberflächensalzgehalt des nördlichen Nordatlantiks höher ist als der des nördlichen Nordpazifiks (Manabe & Stouffer, 1988).

Darüber hinaus modellierte Manabe in seinem 1991 veröffentlichten Paper zum einen die Temperaturtrends für einen Anstieg der CO_2-Konzentration von 1 % pro Jahr und zum anderen die für eine sich nicht ändernde Konzentration über einen Zeitraum von 100 Jahren. Die Differenz zwischen diesen beiden Simulationen wird in *Abb. 4* dargestellt. Besonders gut sieht man sowohl die Erwärmung im Ozean und der Troposphäre als auch die Abkühlung in der Stratosphäre (Manabe et al., 1991).

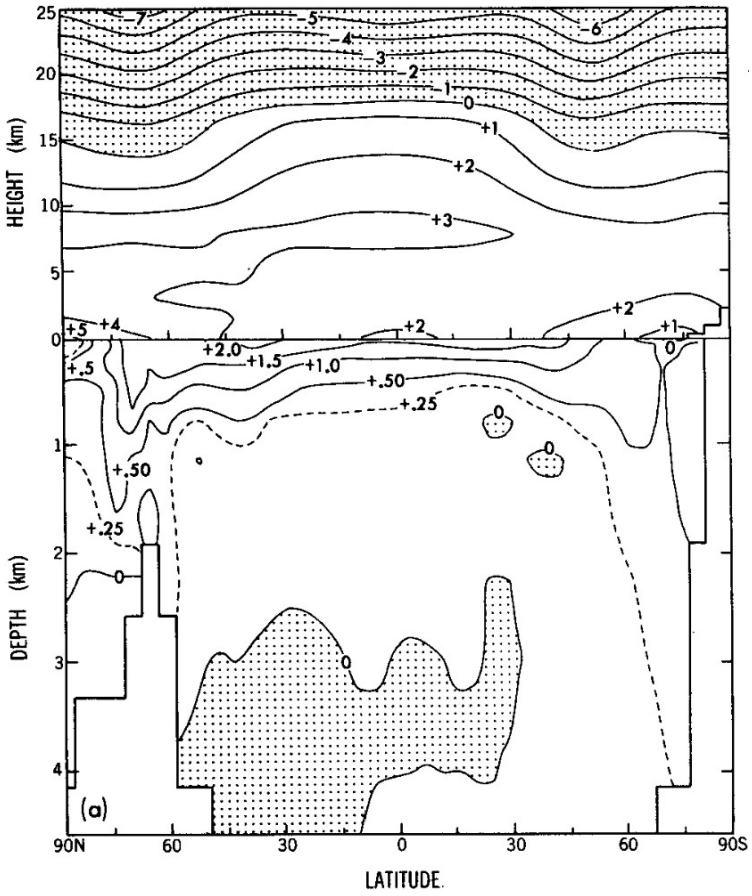

Abb. 4: Verteilung der Temperaturdifferenz zwischen der Simulation mit einem Anstieg der CO_2-Konzentration von 1 % pro Jahr und einer konstanten CO_2-Konzentration für das Mittel der Jahre 60–80 in einer Integration über 100 Jahre. Darstellung für alle Höhen bzw. Tiefen zwischen einer Atmosphärenhöhe von 25 km und einer Ozeantiefe von 4,5 km sowie über alle Breitengrade (Manabe et al., 1991).

Des Weiteren zeigt sich in einer von Stouffer, Manabe und Bryan 1989 veröffentlichten Studie (siehe *Abb. 5)* eine starke Erwärmung in der nördlichen Hemisphäre zwischen 45° und 90°N. Dies liegt daran, dass warme Temperaturen Schnee schmelzen lassen, wodurch die Oberfläche weniger reflektiert und mehr Wärme absorbiert. Ausserdem ist eine deutlich verzögerte Erwärmung in der Südhemisphäre zwischen 40° und 75°S sichtbar, da hier die Wärme vom Ozean aufgenommen wird (Stouffer et al., 1989).

Die vor 30 Jahren vorausgesagte asymmetrische Reaktion des Klimasystems auf den Anstieg der CO_2-Konzentration kann in der Verteilung heutiger Messdaten beobachtet werden (siehe *Abb. 6).*

Diese frühen Modelle von Forschern wie Syukuro Manabe prognostizieren die Temperaturentwicklung trotz ihrer vereinfachten Annahmen erstaunlich gut und zeigen, dass die frühen Warnungen berechtigt waren, beziehungsweise auch weiterhin sind.

Klaus Hasselmann

Hasselmann hat die Klimasysteme im Gegensatz zu Manabe von einem theoretischen Blickpunkt betrachtet. Von dem Forschungsgebiet der stochastischen Wechselwirkungen von Ozeanwellen kommend, entwickelte er ein Klimamodell, welches durch Zufallsfluktuationen des Wetters die Klimavariabilität beschreibt. Sein Modell vereinfacht die komplexen Prozesse im Klimasystem, indem er mit einer Fokker-Planck-Gleichung die zeitlich langsame Entwicklung des Klimas als Integral über das Wetter darstellt. Die typischerweise für stochastische Prozesse wie der Brownschen Bewegung, Turbulenzen oder der Plasmaphysik verwendete Gleichung wurde von Hasselmann zum Verständnis der Klimaphysik genutzt, womit er fundamentale Phy-

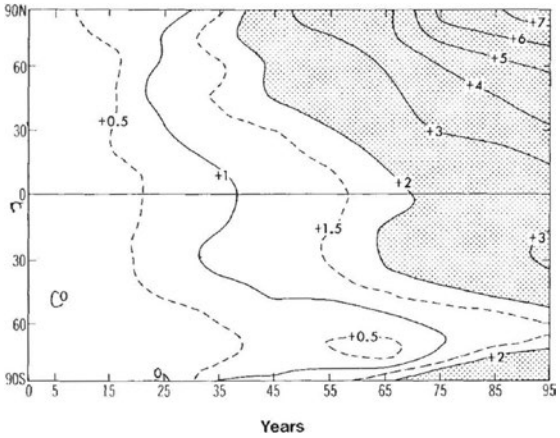

Abb. 5: Breitengrad-Zeit-Diagramm über eine Integration von 100 Jahren für einen Anstieg der CO_2-Konzentration von 1 % pro Jahr (Stouffer et al., 1989).

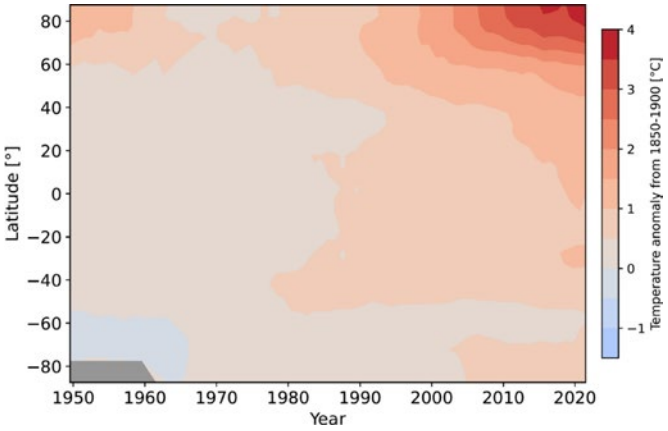

Abb. 6: Beobachtete mittlere Temperaturveränderungen der Oberfläche seit 1950 in Relation zu den Jahren 1850–1900 als Funktion der Zeit und dem Breitengrad (Analyse von Christian Wirths, Universität Bern, 2021).

sik mit der Klimawissenschaft verband (Hasselmann, 1976).

1987 stellte Klaus Hasselmann mit Ernst Maier-Reimer ein Modell des Kohlenstoffkreislaufs im Ozean vor. Der Kohlenstoffaustausch zwischen Ozean und Atmosphäre findet hierbei in einer gut gemischten Oberflächenschicht statt. Das Modell reproduziert z. B. die weltweite Verteilung gemessener ^{14}C-Daten (Oeschger et al., 1959 und Siegenthaler & Oeschger, 1978), hier in *Abb. 7* für den Westpazifik gezeigt. Das Besondere ist jedoch, dass das Modell in erster Ordnung die Speicherkapazität des Ozeans für anthropogene CO_2-Emissionen berechnet und somit mit einfachen Box-Modellen verglichen und überprüft werden kann. Dadurch bot dieses dynamische Modell die Möglichkeit, es in zukünftige Studien und weiterreichende Simulationen einfliessen zu lassen (Maier-Reimer & Hasselmann, 1987).

Ein weiterer entscheidender Beitrag Hasselmanns Arbeit für die Klimawissenschaft ist die Zuordnung der beobachteten Klimaveränderungen zu ihren spezifischen Ursachen. Natürliche Phänomene sowie menschengemachte Veränderungen hinterlassen Fingerabdrücke, welche man mit einer Musteranalyse genau zurückverfolgen kann. So können Variablen wie Temperatur oder Niederschlag, also das wechselhafte Wetter in seiner statistischen Verteilung, mit den Signalen der Sonneneinstrahlung, des Aerosol-Antriebs oder dem menschengemachten Anstieg der Treibhausgase identifiziert werden.

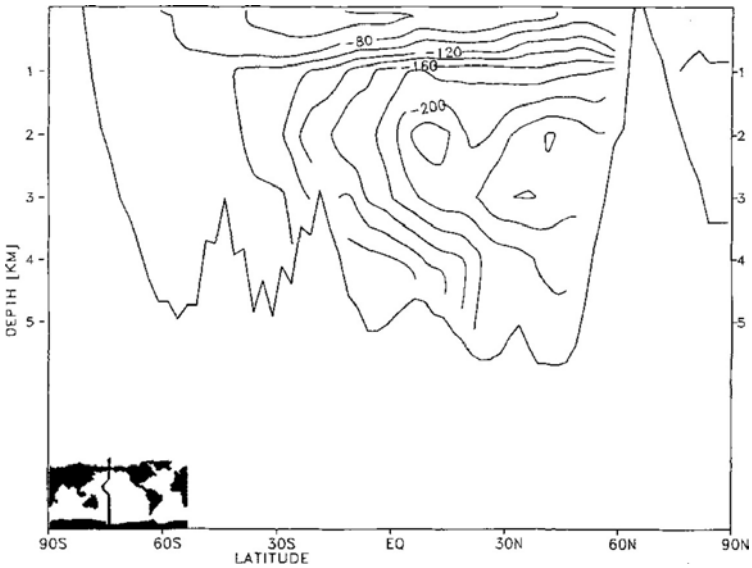

Abb. 7: Modellierung der ^{14}C-Verteilung für den Westpazifik mit dem effizienten «Hamburg Ozeanmodell» (Maier-Reimer & Hasselmann, 1987).

Durch die unter anderem von Hasselmann entwickelten Methoden konnte bewiesen werden, dass die steigende Oberflächentemperatur auf den anthropogenen Ausstoss von Treibhausgasen, insbesondere CO_2, zurückzuführen ist (Hegerl et al., 1997).

Heutzutage ist die Forschung so weit, dass für einzelne Extremwetterereignisse der menschliche Einfluss durch den Ausstoss von Treibhausgasen quantitativ bestimmt werden kann. Diese Attributionsforschung weist nach, dass der Einfluss der vom Menschen verursachten Aktivitäten, also der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Abholzung der Wälder, auf Hitzewellen, Stürme, Fluten und Dürren in den letzten Jahren zugenommen hat und sich weiterhin verstärken wird.

Durch diese Analysen kann politische Verantwortung aufgezeigt und Unternehmen zur Reduzierung ihrer Emissionen gerichtlich verklagt werden (z. B. Tagesschau, 2021).

Urteile, welche Unternehmen und Regierungen rechtlich zur Einhaltung des Pariser Klimaabkommen verantworten, sind ein wichtiger Schritt, die Ambitionen massiv zu verstärken, um das Wohlergehen künftiger Generationen zu sichern (Otto, 2017).

Aktueller Stand und Gefahren für unsere Zukunft

Der Weltklimarat (IPCC) beurteilt die Veränderungen im Klima seit 1988 und stellt als zwischenstaatliche Organisation mit seinen Berichten politischen Entscheidungsträgern den wissenschaftlichen Forschungsstand zur Verfügung, um faktenbasierte Entscheidungen treffen zu können.

Die regelmässigen Sachstandsberichte fassen die aktuelle Forschung zusammen. In drei Arbeitsgruppen werden dabei verschiedene Aspekte der Klimaforschung beurteilt.

Seit dem ersten Bericht aus dem Jahr 1990 wurden die Kernaussagen der Berichte mit zunehmendem Erkenntnisgewinn immer deutlicher und alarmierender. Von «Die Abwägung der Evidenz legt eine erkennbare menschliche Wirkung auf das Klima nahe» (1995) über «Es gibt neue und stärkere Evidenz, dass die Erwärmung der letzten 50 Jahre den menschlichen Aktivitäten zugeordnet werden kann» (2001), «Der menschliche Einfluss auf das Klimasystem ist klar» (2013) zu «Es ist eindeutig, dass der menschliche Einfluss die Atmosphäre, den Ozean und das Land erwärmt hat» (2021) werden die Aussagen zunehmend klarer und eindringlicher.

Im aktuellen Bericht über den physikalischen Wissensstand des Klimasystems und dessen Wandel werden fünf Zukunftsszenarien vorgestellt, wie sich Treibhausgasemissionen entwickeln können und welche verschiedenen Auswirkungen dies auf die globale Erwärmung im Allgemeinen und verschiedene Regionen im Speziellen haben wird.

Die Erwärmung der Oberflächentemperatur kann dabei je nach Emissionen gegen 2100 zwischen 1,4 °C bis 4,4 °C im Vergleich zu den Jahren 1850–1900 liegen (IPCC, 2021).

Mit diesen Szenarien werden im Bericht der Arbeitsgruppe II die Auswirkungen des Klimawandels, im Besonderen auf Ökosysteme, Biodiversität und sozioökonomische Systeme sowie die Anpassungen an diese Veränderungen vorgestellt (IPCC, 2022).

In *Abb. 8* sind die Ergebnisse dargestellt. Die grau gestrichelte Linie zeigt die schon heute erreichte Erwärmung von 1,1 °C an. Auf den ersten Blick ist sofort klar, dass auch bei 2 °C bzw. bestenfalls 1,5 °C maximaler globaler Temperaturzunahme die Auswirkungen und Risiken hoch sind. Dabei machen sich einige Auswirkungen schon mit der heutigen Erwärmung stark bemerkbar. Bei bis zu 5 °C werden die Folgen der Erhitzung in jedem einzelnen der betrachteten Bereiche gravierend sein.

Betrachten wir die im Pariser Klimaabkommen gewählte Grenze der Klimaerwärmung von 2 °C, dann tragen vor allem einzigartige und bedrohte Systeme ein sehr hohes Risiko, und Extremwetterereignisse werden stärker und häufiger werden (siehe *Abb. 8 b).* Bei terrestrischen und Frischwasser-Ökosystemen sind vor allem die Biodiversität und die Strukturveränderungen betroffen. Im Ozean findet jetzt schon ein massives Sterben der Warmwasser-Korallen

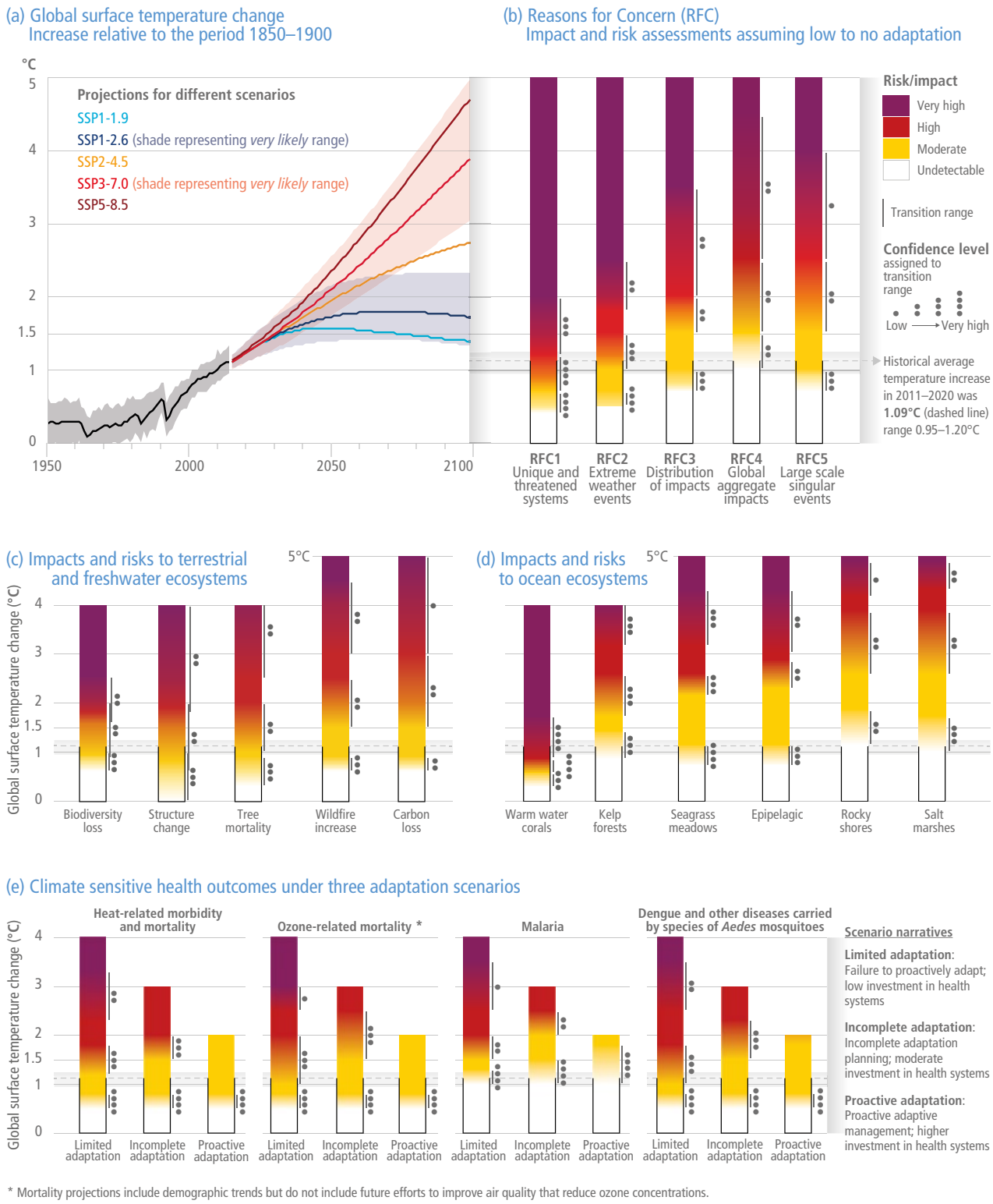

Abb. 8: Globale und regionale Risiken für den zunehmenden Klimawandel (IPCC, 2022)

statt. Allerdings hat der Klimawandel nicht nur Auswirkungen auf Flora und Fauna, sondern auch auf den Menschen. Je nachdem, wie gut wir uns an die sich verändernden Bedingungen anpassen können, wird die Mortalität aufgrund des Klimawandels zunehmen. Gründe hierfür sind vor allem Hitze bedingte Tote, eine höhere Sterblichkeit aufgrund von Ozon und eine grössere Verbreitung von Krankheiten wie Malaria oder dem Dengue Fieber, welche von Mücken übertragen werden.

Jeder Teil auf der Erde hat wiederum mit regionalen Risiken zu tun. In Europa besteht auf der einen Seite ein grosses Risiko für die Menschen und die Wirtschaft aufgrund von Überschwemmungen sowie des Meeresspiegelanstiegs, und andererseits Wasserknappheit für verschiedenste Sektoren wie der Landwirtschaft und für die Bevölkerung, sowie einer zunehmenden Mortalität aufgrund von steigenden Temperaturen und extremen Hitzeperioden (IPCC 2022, Vicedo-Cabrera et al., 2021)

Besonders in der Schweiz sind die Entwicklungen stärker als im globalen Mittel. Mit einer aktuellen Erwärmung von 2 °C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit ist die Erwärmung etwa doppelt so gross wie die global gemittelten 1,1 °C. Auch wenn sich unter dieser abstrakten Angabe nur schwer etwas vorstellen lässt, kann jeder heute schon die zunehmende Anzahl der «guten» Sommertage und die abnehmende Anzahl der Frost- und Schneetage, sowie die damit verbundene frühere Entwicklung der Vegetation im Frühjahr anhand von Blüten oder den sich zurückziehenden Schneedecken beobachten. Dies wird in Zukunft zunehmen und unter anderem zu sehr trockenen Sommern mit kurzen, aber heftigeren Niederschlägen führen (Meteoschweiz, 2022).

Diese schon heute für Jedermann beobachtbaren Zeichen des Klimawandels sind ein trauriges Zeugnis für die bisher gescheiterte Handlungsbereitschaft der Weltgemeinschaft, im Besonderen der Industriestaaten mit ihrer historisch betrachtet grösseren Verantwortung durch den Ausstoss von Treibhausgasen. Seit Jahrzehnten warnt die Wissenschaft vor den Folgen der Klimakrise und es wird Zeit, dass die von der Politik gemachten Versprechungen im Pariser Klimaabkommen endlich eingehalten werden und Schlimmeres verhindert wird. Es ist aber ebenso klar, dass in Demokratien jede Bürgerin und jeder Bürger in der Verantwortung steht, dass eine griffige Klimapolitik formuliert und umgesetzt wird.

Literatur

Broecker, W. S. (1975). Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? Science, 189(4201), 460–463. https://doi.org/10.1126/science.189.4201.460

Broecker, W. (1991). The Great Ocean Conveyor. Oceanography, 4(2), 79–89. https://doi.org/10.5670/oceanog.1991.07

Hasselmann, K. (1976). Stochastic climate models Part I. Theory. Tellus, 28(6), 473–485. https://doi.org/10.3402/tellusa.v28i6.11316

Hegerl, G. C., Hasselmann, K., Cubasch, U., Mitchell, J. F. B., Roeckner, E., Voss, R. & Waszkewitz, J. (1997). Multi-fingerprint detection and attribution analysis of greenhouse gas, greenhouse gas-plus-aerosol and solar forced climate change. Climate Dynamics, 13(9), 613–634. https://doi.org/10.1007/s003820050186

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

MeteoSchweiz. (2022, 14. Januar). Klimawandel Schweiz. https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klimawandel-schweiz.html

Maier-Reimer, E. & Hasselmann, K. (1987). Transport and storage of CO2 in the ocean – an inorganic ocean-circulation carbon cycle model. Climate Dynamics, 2(2), 63–90. https://doi.org/10.1007/bf01054491

Manabe, S. & Bryan, K. (1969). Climate Calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model. Journal of the Atmospheric Sciences, 26(4), 786–789.

Manabe, S. & Stouffer, R. J. (1988). Two Stable Equilibria of a Coupled Ocean-Atmosphere Model. Journal of Climate, 1(9), 841–866.

Manabe, S., Stouffer, R. J., Spelman, M. J. & Bryan, K. (1991). Transient Responses of a Coupled Ocean – Atmosphere Model to Gradual Changes of Atmospheric CO_2. Part I. Annual Mean Response. Journal of Climate, 4(8), 785–818.

Manabe, S. & Wetherald, R. T. (1967). Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. Journal of the Atmospheric Sciences, 24(3), 241–259.

NOAA. (2022). Global Monitoring Laboratory – Carbon Cycle Greenhouse Gases. Noaa.Gov. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html

Oeschger, H., Beer, J., Siegenthaler, U., Stauffer, B., Dansgaard, W. & Langway, C. (1984). Late glacial climate history from ice cores. Climate Processes and Climate Sensitivity, 299–306. https://doi.org/10.1029/gm029p0299

Oeschger, H., H.E. Suess, und N.W. Rakestraw (1959). Apparent age of deep water in the Pacific Ocean. Proc. Intl. Oceanogr. Congress, pp. 444.

Otto, F. E. (2017). Attribution of Weather and Climate Events. Annual Review of Environment and Resources, 42(1), 627–646. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060847

Siegenthaler, U. & Oeschger, H. (1978). Predicting Future Atmospheric Carbon Dioxide Levels. Science, 199(4327), 388–395. https://doi.org/10.1126/science.199.4327.388

Stouffer, R. J., Manabe, S. & Bryan, K. (1989). Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of atmospheric CO_2. Nature, 342(6250), 660–662. https://doi.org/10.1038/342660a0

Tagesschau. (2021, 27. Mai). Klimaklage gegen Shell: Ein Urteil wie ein «Paukenschlag». https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/klimaschutz-shell-prozess-101.html

The Royal Swedish Academy of Sciences. (2021, 5. Oktober). Nobel Prizes 2021. NobelPrize.Org. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/press-release/

United Nations. (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change.

Vicedo-Cabrera, A.M., et al., The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change, Nature Clim. Change, 11, 492-+, 2021.

Zum Vortragenden

Thomas Stocker hat an der ETH Zürich Umweltphysik studiert und 1987 doktoriert. Nach Forschungsaufenthalten in London, Montreal und New York wurde er 1993 Leiter der Abteilung für Klima- und Umweltphysik am Physikalischen Institut der Universität Bern. Von 2008 bis 2015 war Thomas Stocker Co-Vorsitzender der Arbeitsgruppe I des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Der Bericht, der unter seinem Vorsitz im September 2013 von allen Ländern verabschiedet wurde, bildet die wissenschaftliche Grundlage für das Klimaabkommen von Paris. Thomas Stocker hat für seine Arbeiten den Dr. Honoris Causa der Universität Versailles und der ETH Zürich, sowie die Hans Oeschger Medaille der European Geosciences Union erhalten. Er ist Mitglied der Deutschen Akademie Leopoldina, der American Association of Arts and Sciences und der Italienischen Accademia dei Lincei. 2017 wurde ihm der Schweizer Wissenschaftspreis Marcel Benoist verliehen.
Kontakt: thomas.stocker@climate.unibe.ch

Kirsten Blohm

schloss ihr Bachelorstudium der Physik im Frühjahr 2022 an der Universität Heidelberg ab. Während des Studiums wurde immer klarer, dass die Umwelt- und Klimaphysik der Schwerpunkt für die weitere Laufbahn sein soll. Nach der Bachelorarbeit über CO_2- und CH_4-Konzentrationen einer deutschen Messstation wollte sie vor dem weiteren Masterstudium praktische Erfahrungen sammeln und für einige Zeit in Forschungsgruppen der Klima- und Umweltphysik mitarbeiten. Da die Universität Bern in diesem Bereich viele Möglichkeiten bietet, nutzte sie die Chance, einige Zeit in Bern zu verbringen.

Kontakt: kirsten.blohm@stud.uni-heidelberg.de oder kirsten.blohm@gmx.de