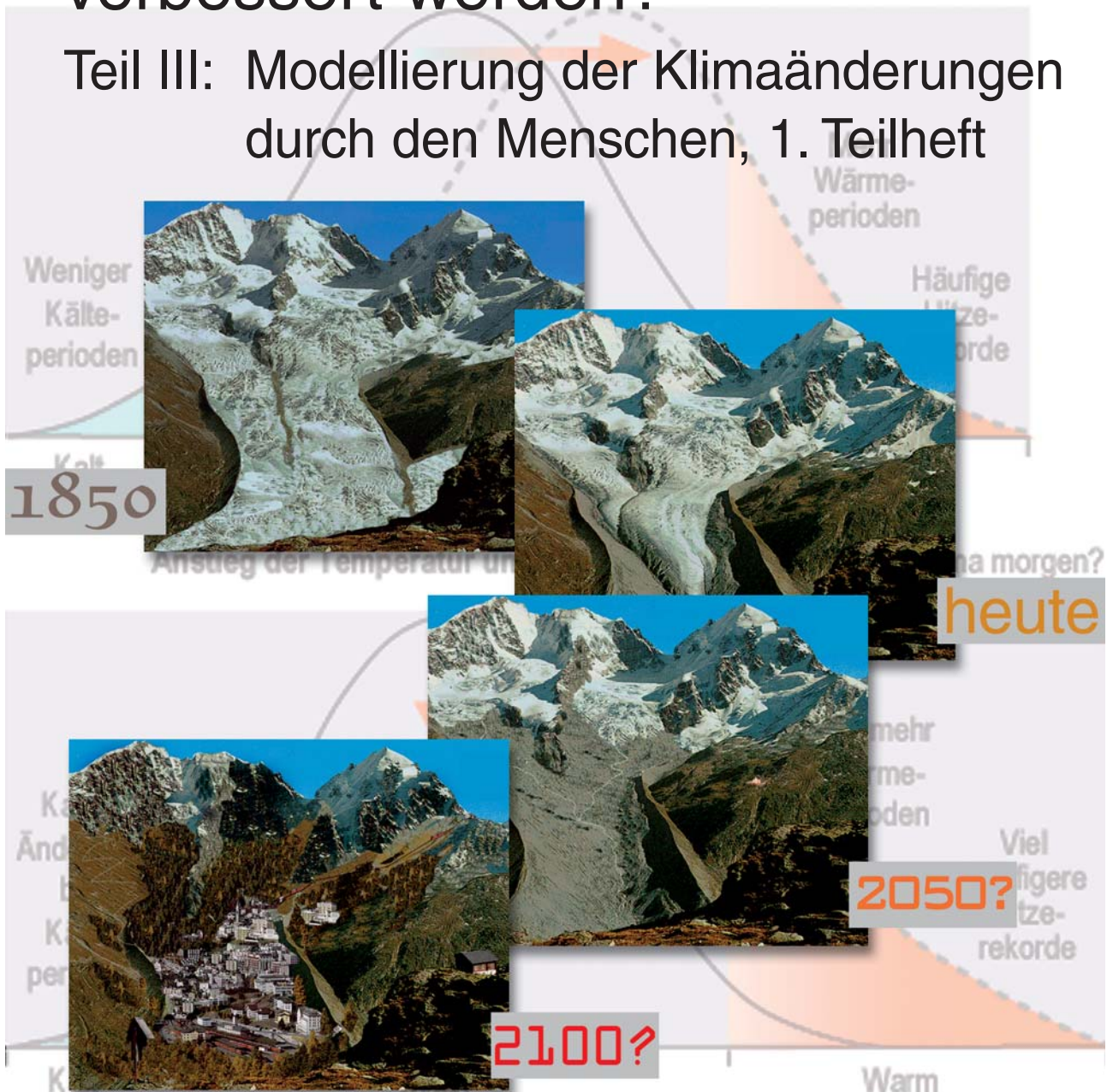




Numerische Klimamodelle – Was können sie, wo müssen sie verbessert werden?

Teil III: Modellierung der Klimaänderungen
durch den Menschen, 1. Teilheft



21 Einführung

H. GRAßL

Wenn der Mensch physikalische, chemische und biologische Prozesse verstanden hat oder glaubt, sie im Wesentlichen zu verstehen, gießt er dies in die entsprechenden mathematischen Gleichungen, um erstens die Wechselwirkung dieser Vorgänge für verschiedene vorgegebene äußere Bedingungen in numerischen Modellen zu simulieren, zweitens die Ergebnisse an Beobachtungen zu testen, drittens die Modelle eventuell erneut zu verbessern, um viertens dann sogar Vorhersagen zu wagen. Die Meteorologen haben es so zu erstaunlichen Fähigkeiten bei der Wettervorhersage gebracht. Ihre Modelle sind inzwischen global und genestet, in-situ sowie Fernerkundungsdaten werden assimiliert und für die von El-Niño Ereignissen betroffenen Gebiete gibt es schon Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Zeitskalen bis zu maximal einem Jahr, die signifikant besser sind als reine Persistenzvorhersagen. In allen Fällen ist neben der Güte des Modells das dreidimensionale Startfeld Grundvoraussetzung für den Erfolg und bei Jahreszeitenprognosen muss auch schon ein Ozeanmodell angekoppelt sein.

Will man den historischen und den zukünftigen Verlauf des Klimas nachher- bzw. vorhersagen, sind voll gekoppelte dreidimensionale Atmosphäre/Ozean/Land-Modelle notwendig, welche die Änderung der externen Parameter wie Helligkeit der Sonne und Bahn der Erde um die Sonne mitgeteilt bekommen müssen. Während dies für die veränderliche Bahn der Erde um die Sonne für mindestens 1 Million Jahre recht genau möglich ist, bleibt die Einschätzung der früheren bzw. zukünftigen spektralen Helligkeit der Sonne, außer für die jüngsten 11-jährigen Sonnfleckenperioden, noch recht unsicher. Wann die nächste ‚kleine Eiszeit‘ kommt, ist also noch nicht vorhersagbar.

Soll darüber hinaus der Einfluss der Menschheit auf das globale Klima abgeschätzt werden, so muss zunächst klar sein, ob die Störungen des Energiehaushaltes einen solchen globalen Einfluss überhaupt erklären können. Für die Abwärme, die offensichtlichste Störung des Energiehaushaltes durch den Industriemenschen, ist die Abschätzung einfach. Bei durchschnittlich 2 kW Leistung, die pro Kopf zurzeit eingesetzt werden, ist die daraus resultierende Energieflussdichte von 0,025 W/m² im globalen Maßstab gegenüber dem Angebot der Sonne an der Erdoberfläche in Höhe von etwa 170 W/m² sicherlich vernachlässigbar.

Schätzt man ab, was durch Landnutzungsänderungen, die zweite offensichtliche Störung, seit der Industrialisierung durch die damit verbundenen meist positiven Albedoänderungen von uns verursacht wurde, so steigt

die Strahlungsbilanzstörung am Oberrand der Atmosphäre im Mittel auf $-0,3 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ (IPCC 2001), also mehr als die Amplitude des elfjährigen Sonnenzyklus ($\pm 0,2 \text{ W/m}^2$). Sie wirkt außerdem dauerhaft und nicht nur quasi-periodisch.

Betrachtet man allerdings die veränderte Zusammensetzung der Atmosphäre, eine weniger offensichtliche Störung, so ergeben sich seit Beginn der Industrialisierung bereits etwa $+2,5 \text{ W/m}^2$ Strahlungsantrieb allein durch die Zunahme der langlebigen Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O, Lachgas). Mit Strahlungsantrieb bezeichnen wir die Strahlungsbilanzstörung, die durch eine bestimmte Parameteränderung bei Fixierung aller anderen entsteht, also nur den instantanen Antrieb, während das Klimasystem mit Änderung aller anderen Parameter reagiert und Klimaänderungen einleitet. Weitere Strahlungsantriebe sind der Photosmog mit etwa $+0,3 \text{ W/m}^2$ und die nur sehr vage abzuschätzenden Aerosoleinflüsse (überwiegend Sulfat und Ruß; sowie deren Einfluss auf die Wolken). Es ist daher verständlich, dass die Modellstudien sich besonders auf die Erhöhung des Treibhauseffektes durch die langlebigen Treibhausgase konzentrierten, weil sie den im Industriezeitalter am längsten wirksamen und dominanten anthropogenen Klima-Effekt darstellen.

Vergleicht man den Strahlungsantrieb durch Treibhausgase zwischen Eiszeit und Warmzeit, so ist der oben genannte anthropogene Antrieb von $+2,5 \text{ W/m}^2$ von gleicher Größenordnung wie der durch Erhöhung der Konzentration der Treibhausgase von der Eiszeit in die Warmzeit verursachte. Nach Abb. 21-1 allerdings ist der durch Wegschmelzen riesiger Eis- und Schneeflächen angestoßene Erwärmungseffekt noch größer. Da

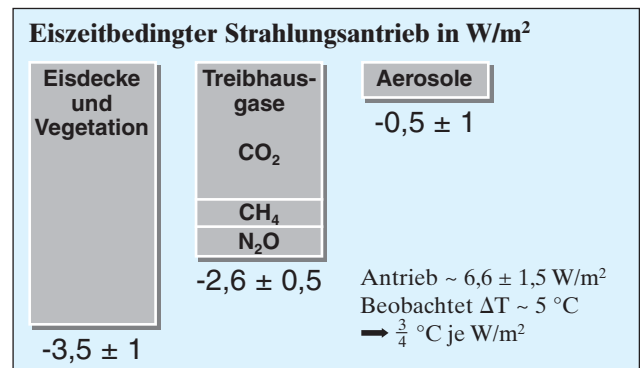


Abb. 21-1: Das Klima war während der letzten Eiszeit mit ihrem Maximum vor etwa 20.000 Jahren deutlich anders als heute. Wegen des seinerzeit um etwa 6,5 W/m² geringeren globalen Klimaantriebes lag die globale Temperatur um 5 K niedriger als heute (nach HANSEN 2003).

die Eisflächen jetzt jedoch vergleichsweise klein sind, ist für die Reaktion auf den erhöhten anthropogenen Treibhauseffekt keine gleich große Strahlungsbilanzänderung mehr zu erwarten.

Halten wir also fest: Seit etwa 1850 ist so rasch wie noch nie in der Menschheitsgeschichte die Konzentration der langlebigen Treibhausgase in der Atmosphäre geändert worden. Die Änderungen des vorindustriellen Energiehaushaltes der Erde durch diese Gase haben Werte erreicht, die der Amplitude zwischen letzter Eiszeit und jetziger Warmzeit (eigentlich Zwischeneiszeit, genannt Holozän) entsprechen. Damit hat ein anthropogener Klimawechsel begonnen, und es ist für viele von uns sowie vor allem die kommenden Generationen sehr wichtig, besser einschätzen zu können, was das bedeuten könnte.

Deshalb werden die Beiträge in diesem Heft sich vor allem den Folgen der veränderten Zusammensetzung der Atmosphäre widmen. Im ersten Beitrag (Kapitel 22) von Erich Roeckner wird mit den gekoppelten Modellen der Atmosphäre und des Ozeans die Wirkung weiter steigender Treibhausgaskonzentrationen abgeschätzt und somit gezeigt, dass ohne Klimaschutzmaßnahmen die mittlere globale Temperatur in Oberflächennähe über die bisher für die Menschen höchsten Werte vor etwa 125 000 Jahren steigen würde.

Im zweiten Beitrag (Kapitel 23) zeigt Guy Pierre Brasseur, dass die Ozonverdünnung weltweit als Folge des Abbaus von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und anderer chlorhaltiger Verbindungen in der Stratosphäre die Intensität der ultravioletten Strahlung im Wellenlängenbereich von 0,28 bis 0,32 Mikrometer (μm) in der Troposphäre und an der Oberfläche erhöht. Auch die Temperatur in der unteren Stratosphäre wird dabei rasch erniedrigt, so dass daraus auch Klimaänderungen resultieren.

Die Wirkung veränderter Spurengaszusammensetzung auf die Chemie in der unteren Atmosphäre wird danach in Kapitel 24 von Jos Lelieveld beschrieben, wobei eine zentrale Rolle die Reinigungskraft der Atmosphäre spielt, in der aus Schadstoffen wie Stickoxiden und Schwefeldioxid Dünger entstehen kann.

Da die Schwebeteilchen der Luft so zentral für die Wolkenbildung sind, beleuchten Johann Feichter und Ulrike Lohmann im Kapitel 25 die Rolle der Luftverschmutzung für das Klima. Es wird wohl keine andere Stoffgruppe geben, die bei so geringen Volumenanteilen so nachhaltig wirken kann.

Im Kapitel 26 werden die oben beschriebenen, offensichtlichen und seit Jahrtausenden fortschreitenden Landnutzungsänderungen und ihre Wirkung auf regionales oder globales Klima von Stefan Liess und Lydia Dümenil-Gates behandelt, wobei ein Schwerpunkt die Frage nach der Wirkung von Abholzung ist.

Wie verändertes Klima auf den Schutz vor Hochwasser wirken könnte zeigt Hella Bartels in Kapitel 27. Sie beschreibt, wie Beobachtungen und Ergebnisse regionaler Klimamodelle zu ersten Aussagen über zu erwartende Niederschlagsänderungen in Bayern und Baden-Württemberg genutzt werden könnten.

Weil Flugzeuge in die Schichten höchster Empfindlichkeit der Atmosphäre emittieren und die Flugzahl stark steigt, wird in Kapitel 28 von Robert Sausen auch der Einfluss auf Eiswolken und Ozonbildung behandelt werden; denn neben den Kohlendioxidemissionen spielen hierbei die Stickoxide und die Aerosolteilchen eine wesentliche Rolle.

Die Zusammensetzung der Atmosphäre, z. B. die langlebigen Treibhausgase, die Aerosole und das Ozon, werden von uns stark und gleichzeitig verändert. Ob die Reaktion des Klimasystems additiv oder komplexer ist, zeigt Lennart Bengtsson in Kapitel 29. In anderen Worten: Kann die beobachtete Temperaturänderung an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre durch diese drei Einflussfaktoren erklärt werden?

Weil der Kohlenstoffkreislauf und das Klima eng aneinander gekoppelt sind, soll in Kapitel 30 der Wissensstand bei gegenwärtigen Kopplungsversuchen zwischen Klima und Kohlenstoffkreislauf vorgestellt werden. Martin Heimann geht der Frage nach, ob durch Klimaänderungen im 21. Jahrhundert die Kohlenstoffspeicher Wälder und Böden mobilisiert werden oder mehr aufnehmen können.

Die Wirkung von Klimaänderungen auf die globale Wirtschaft (und umgekehrt) ist der Fokus des Kapitels 31. Georg Hooss berichtet von der Modellkopplung beider Systeme, die in der Gruppe um Klaus Hasselmann seit Anfang der neunziger Jahre betrieben wird.

Abschließend (Kapitel 32) steht die Reaktion der Öffentlichkeit auf Klimamodellergebnisse im Mittelpunkt. Insbesondere das Wechselspiel zwischen Politik und Wissensbewertung durch den Zwischenstaatlichen Ausschuss über Klimaänderungen (IPCC) ist der Schwerpunkt. Besonders untersucht wird dabei die Reaktion (der Länder) der Europäischen Union. Ergebnis wird sein, dass Klimapolitik schon weiter fortgeschritten ist als die meisten Bürger denken.

Der große Umfang dieser 12 Kapitel zwingt zur Aufteilung in zwei *promet*-Hefte für die Kapitel 21 bis 26 (1. Teilheft) und 27 bis 32 (2. Teilheft).

Literatur

HANSEN, J., 2003: The Global Warming Time Bomb? Presentation to the US Council of Environmental Quality, 12. Juni 2003, verfügbar unter: http://www.giss.nasa.gov/research/forcings/ceq_presentation.pdf oder: http://naturalscience.com/ns/articles/01-16/ns_jeh.html.