



Physik für das Klima und andere komplexe Phänomene

Den diesjährigen Nobelpreis für Physik teilen sich drei Wissenschaftler für ihre Arbeit auf dem Gebiet chaotischer und scheinbar zufälliger Phänomene. Syukuro Manabe und Klaus Hasselmann schufen die Voraussetzungen für unser Wissen über das Erdklima und die Auswirkungen menschlichen Handels darauf. Giorgio Parisi erhielt die Auszeichnung für seine bahnbrechenden Beiträge zur Theorie ungeordneter Materialien und von Zufallsprozessen.

Alle komplexen Systeme bestehen aus vielen verschiedenen, sich gegenseitig beeinflussenden Teilen. Sie werden bereits seit langem in der Physik erforscht und sind mathematisch schwer zu beschreiben, da sie unter Umständen eine enorme Anzahl von Komponenten aufweisen oder vom Zufall bestimmt werden. Sie können auch chaotisch sein, wie beispielsweise das Wetter, bei dem kleine Abweichungen von den Ausgangswerten später gewaltige Unterschiede zur Folge haben. Die diesjährigen Preisträger haben alle dazu beigetragen, unser Wissen über solche Systeme und ihr langfristiges Verhalten zu vertiefen.

Ein komplexes System von entscheidender Bedeutung für die Menschheit ist das Erdklima. Syukuro Manabe zeigte, wie erhöhte Mengen an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre zu einem Anstieg der Temperaturen auf der Erdoberfläche führen. In den 1960er Jahren war er führend auf dem Gebiet der Entwicklung physikalischer Modelle für das Erdklima und erforschte als erster Wissenschaftler die Wechselwirkungen zwischen Strahlungsgleichgewicht und vertikalem Luftmassentransport. Mit seiner Arbeit legte er den Grundstein für die

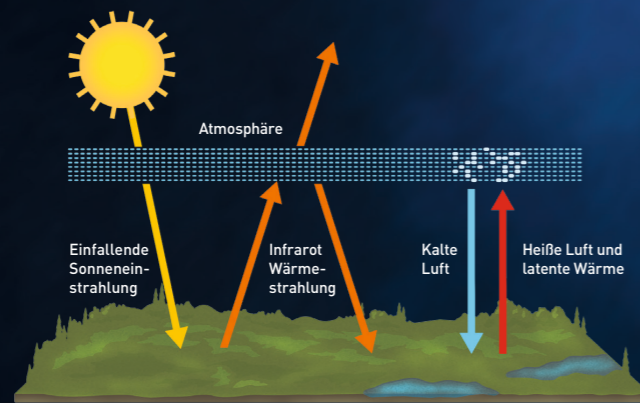
Entwicklung aktueller Klimamodelle. Etwa zehn Jahre später verknüpfte **Klaus Hasselmann** in einem Modell Wetter und Klima und beantwortete damit die Frage, warum Wetter im Gegensatz zu den oftmals zuverlässigen Klimamodellen veränderlich und chaotisch ist. Weiterhin entwickelte er Verfahren zur Erkennung bestimmter Signale, Fingerabdrücke, die sowohl natürliche Phänomene als auch menschliche Aktivitäten im Klima hinterlassen. Anhand dieser Methoden ließ sich belegen, dass der Grund für die Temperaturerhöhung in der unteren Atmosphäre vom Menschen erzeugte Kohlenstoffdioxidemissionen sind.

Etwa im Jahr 1980 entdeckte **Giorgio Parisi** verborgene Muster in komplexen Materialien, womit er einen der wichtigsten Beiträge zur Theorie komplexer Systeme leistete. Mit Hilfe dieser Muster lassen sich zahlreiche unterschiedliche und scheinbar zufällige Materialien und Phänomene nicht nur in der Physik, sondern auch in Gebieten wie Mathematik, Biologie, Neurowissenschaft und maschinelles Lernen verstehen und beschreiben.

Manabes Klimamodell

Kurzweilige Sonnenstrahlung kann die Erdatmosphäre durchdringen. Die Infrarotwärmestrahlung der Erde wird dagegen von den Treibhausgasen in der Atmosphäre teilweise absorbiert, in erster Linie Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf, wodurch die Luft und die Erdoberfläche erwärmt werden. Genau das ist das Prinzip des Treibhauseffekts.

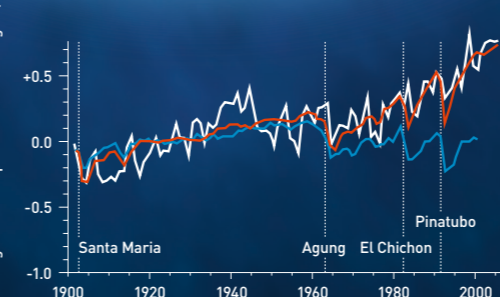
Aufgrund der Konvektion steigt heiße Luft nach oben und transportiert dabei Wasserdampf (latente Wärme). Weiter oben in der Atmosphäre, wo es kälter ist, kondensiert der Wasserdampf und setzt Wärme frei. Syukuro Manabe war der erste, der die Faktoren Infrarotstrahlung, Konvektion und Kondensation korrekt in ein Klimamodell integrierte.



Fingerabdrücke

Klaus Hasselmann entwickelte Verfahren zum Vergleich von Messungen, Beobachtungen und Modellen, die Auskunft über die Auswirkungen bestimmter physikalischer Prozesse im Klimasystem geben, zum Beispiel Veränderungen der Sonnenstrahlung, aus Vulkanausbrüchen stammende Teilchen oder die Bestandteile von Treibhausgasen. Anhand dieser Methoden lässt sich auch der Fingerabdruck des Menschen in diesem Zusammenhang ermitteln – mit einem klaren Ergebnis: Die Erde erwärmt sich und die vom Menschen produzierten Treibhausgase tragen zu dieser globalen Erwärmung bei.

Beobachtungen von Temperaturveränderungen (°C)



- Beobachtungen
- Berechnungen, die die Auswirkungen von natürlichen Ereignissen wie beispielsweise Vulkanausbrüchen zeigen
- Berechnungen der Auswirkungen natürlicher und vom Menschen erzeugter Quellen
- Vulkanausbrüche

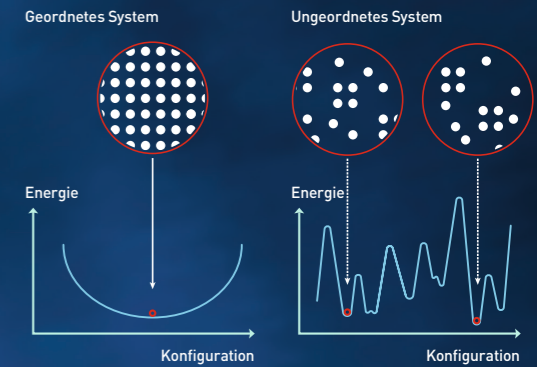
Syukuro Manabe
Geboren 1931 in Japan. Senior Meteorologe an der Universität Princeton, USA.

Klaus Hasselmann
Geboren 1931 in Deutschland. Professor am Max-Planck-Institut für Meteorologie, Deutschland.

Giorgio Parisi
Geboren 1948 in Italien. Professor an der Universität La Sapienza, Rom, Italien.



Foto: Porträt von Giorgio Parisi: Francesca Mainline; Porträt von Klaus Hasselmann: Birne Götsch; Porträt von Syukuro Manabe: Mark van Maricic



Eine Theorie der Komplexität

Geordnete Materialien wie zum Beispiel Atome in einem perfekten Kristall weisen eine einfache Energielandschaft mit nur einem stabilen Energieminimum auf, ähnlich einer Murmel, die in einer runden Schüssel immer nur an einer einzigen Stelle zum Stillstand kommen kann. Die Energielandschaft eines ungeordneten komplexen Systems dagegen ist zerklüftet und weist unterschiedliche Energieminima in zahlreichen tiefen Tälern auf. Bei Atomen in einem Glasmaterial entspricht dies einem Zustand, in dem sie zwar in der Lage sind, sich auf ganz unterschiedliche Weise selbst zu ordnen, sich aber nicht für einen Weg entscheiden können – das System ist „frustriert“. Giorgio Parisi entwickelte eine mathematische Beschreibung für diese komplexen Systeme, auch mit Auswirkungen auf Bereiche außerhalb der Physik.

Er untersuchte zudem die Muster des Schwarmverhaltens von Staren. Parisi beschäftigte sich in seiner Forschung u.a. damit, wie einfache Verhaltensweisen zu einem komplexen kollektiven Verhaltensmuster führen können – das trifft eben sowohl auf ungeordnete Materialien als auch auf Stare zu.