

## Klimasensitivität – Ein Maß für den Klimawandel und eine große wissenschaftliche Herausforderung

Die Klimasensitivität der Erde wurde oft als der „Heilige Gral“ der Klimawissenschaft angesehen. Es gibt keine andere Maßzahl, die soviel über Klimawandel aussagt wie die Klimasensitivität. Sie ist ein Maß für die Änderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur in Folge einer Verdopplung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Der Wert der Klimasensitivität liegt nach Einschätzung des fünften Sachstandsberichts des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wahrscheinlich zwischen 1,5 und 4,5 °C und umfasst somit eine Unsicherheit, die sich seit den frühen Untersuchungen der Klimasensitivität in den 1970er Jahren nicht verringert hat. Das Gedankenexperiment der CO<sub>2</sub>-Verdopplung hat natürlich keine Entsprechung in der Realität, sondern liefert eine einfache Kennzahl zur Beschreibung der Empfindlichkeit der Erde gegenüber Kohlendioxid und anderen Antrieben, die das Klima beeinflussen könnten, wie z. B. Methan und Aerosolpartikel. Die Kenntnis dieser Zahl ist der Schlüssel zu verlässlichen zukünftigen Klimaprojektionen.

Dr. Thorsten Mauritsen leitet die Gruppe „Klimadynamik“ in der von Prof. Bjorn Stevens geführten Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“ am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M). Die Gruppe von Thorsten Mauritsen untersucht, wie dynamische und feuchte Prozesse, Wolken und Konvektion die Klimasensitivität der Erde bestimmen, den Wasserkreislauf ändern und die natürliche Variabilität verstärken oder schwächen. Ein Beispiel für natürliche Variabilität ist El Niño.

Die Klimasensitivität ist das Resultat vieler verschiedener Rückkopplungsmechanismen, wie z. B. der positiven Wasserdampf-Rückkopplung und der Eis-Albedo-Rückkopplung. Insbesondere die Veränderung der Wolken und deren Wechselwirkung mit der globalen Erwärmung sind schwer abschätzbar und vergrößern die Unsicherheitsspanne mehr als jeder andere einzelne Faktor. Auch aus Beobachtungen ist die Klimasensitivität schwer abschätzbar, da die Klimaantriebe, also die vermuteten Ursachen von früheren Klimaänderungen, und der Zustand des Klimas selbst nicht gut genug erforscht und bekannt sind. Beispielsweise ist es immer noch schwierig, das Gleichgewicht der Strahlungsenergie am oberen Rand der Atmosphäre mit ausreichender Genauigkeit zu messen, um den Energiehaushalt der Erde sinnvoll bestimmen zu können.

In der Vergangenheit hat Thorsten Mauritsen bereits gezeigt, dass eine Klimasensitivität unterhalb von 1,5 °C physikalisch unwahrscheinlich ist. Hierfür erforschte er die Auswirkungen der etwas kontroversen wissenschaftlichen Hypothese eines negativen Feedbacks, die eine Idee vom Anfang des Jahrhunderts ist und die anscheinend in den Modellen fehlt: der Iris-Effekt (Mauritsen and Stevens, 2015). Im Bereich der Tropen ist das Verhältnis von Schwankungen der ins All abgegebenen Infrarotstrahlung zur Oberflächentemperatur in Beobachtungen größer, als es in Klimasimulationen ist. Das könnte darauf hinweisen, dass in den Modellen wichtige Rückkopplungsprozesse fehlen. Die Idee ist, dass sich trockene und wolkenfreie Regionen in einem erwärmten Klima ausdehnen und dadurch auch mehr Infrarotstrahlung in den Weltraum entweichen würde. Dieser Prozess wurde Iris-Effekt genannt, in Analogie zur Vergrößerung der Iris eines Auges bei verstärktem Lichteinfall, bei einer gleichzeitigen Verkleinerung der Pupille. Der Iris-Effekt könnte ein negatives Feedback bedeuten und dadurch die Klimasensitivität absenken.

Frühere Schätzungen des Effektes deuteten darauf hin, dass er alle anderen positiven Rückkopplungen aufheben könnte, was zu einer Klimasensitivität von nur 1 °C führen würde. Durch das Integrieren des Iris-Effekts in das MPI-M Erdsystemmodell zeigten Mauritsen und Stevens, dass die vom Iris-Effekt verursachte, trockenere Atmosphäre zu weniger Wolken führt und somit den verminderten Treibhauseffekt durch weniger hohe Wolken aufhebt. Diese Verringerung von hohen Wolken verstärkt zudem Änderungen des Wasserkreislaufs. Sowohl eine niedrigere Klimasensitivität von etwa 2 °C als auch eine verstärkte hydrologische Änderung könnten die Modelle näher an die besten Schätzungen aus Beobachtungen heranbringen. Mauritsen und Stevens stellen sich vor, dass der Iris-Effekt in der tropischen Konvektion als physikalisch plausibler Rückkopplungsprozess eintritt, wenn sich bei steigenden Temperaturen konvektive Niederschlagswolken zu größeren, aber weniger zahlreichen, Wolken zusammenschließen.

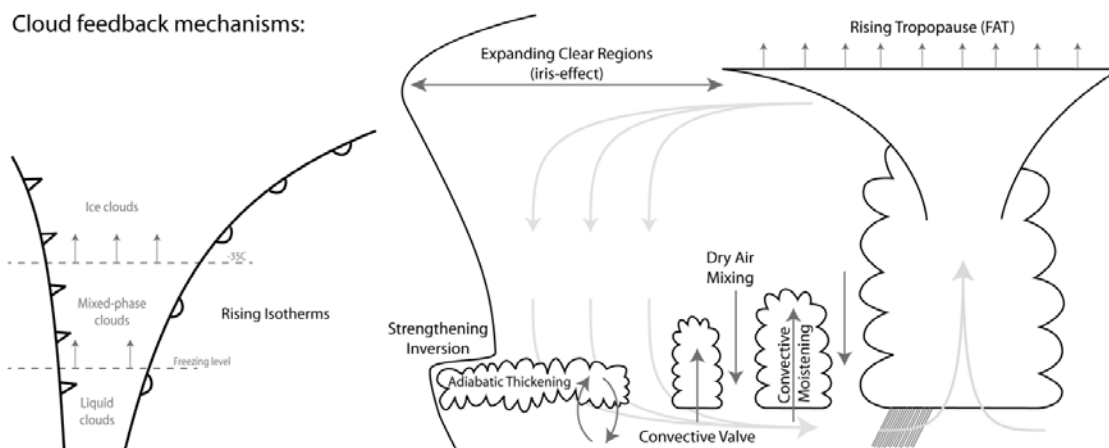


Abb. 1: Darstellung von Hypothesen für Rückkopplungen durch Wolken. Links: Wolkenrückkopplung mit Mischphasen in mittleren und hohen Breiten, untere Mitte: Rückkopplung niedrigerer Wolken in den Tropen (z. B. Stärke der Inversion, adiabatische Verdickung, konvektives Ventil, Einmischung trockener Luft am Oberrand), oben rechts: Rückkopplungen von hohen tropischen Konvektionswolken, (fixed anvil temperature, FAT) und Iris-Effekt.

Zukünftig wird Mauritsen sein Hauptaugenmerk auf die Obergrenze der Klimasensitivität legen. Eine hohe Klimasensitivität bringt erhebliche Änderungen des Klimas mit sich und ist somit von Bedeutung für politische Entscheidungen zur Vermeidung oder auch Anpassung an den Klimawandel. Selbst mit einer Untergrenze für die Klimasensitivität bei 1,5 °C würde das politisch gewollte Ziel, unter einer globalen Erwärmung von 2 Grad zu bleiben, ohne Vermeidungsstrategien nicht zu erreichen sein. Die Risiken, die mit einer hohen Klimasensitivität zusammenhängen, sind aber gravierend und in manchen Regionen ist die daraus folgende Erwärmung mit Anpassungsmaßnahmen allein nicht zu bewältigen. Sobald etwa Gebiete unbewohnbar werden, ist die Frage nach der Verringerung von Kosten durch den Klimawandel nicht mehr relevant, z. B. wenn niedrig gelegene Regionen oder Inseln durch den steigenden Meeresspiegel überflutet werden oder wenn die Temperatur und Luftfeuchtigkeit so stark ansteigt, dass sie für Tiere und Menschen tödlich sein wird.

Man kann sich fragen: Ab welchem Punkt sind die Unsicherheiten über die Klimasensitivität ausreichend gering? Für bestimmte Zwecke ist der derzeitige Kenntnisstand der Unsicherheit ausreichend, aber in den meisten praktischen Fällen sind genauere Informationen wünschenswert. Mit der Zeit wird die Unsicherheitsspanne durch die Beobachtung der fortwährenden Erwärmung kleiner werden, nämlich wenn das Signal der globalen Erwärmung gegenüber dem Rauschen der natürlichen Variabilität stärker wird. Laut einer aktuellen Studie ist zu erwarten, dass man die Unsicherheit mit dieser Wartetaktik in den nächsten 15 Jahren halbieren kann. Aber auch die Theorie, die jener Studie zugrunde liegt, wird kritisiert und es ist daher wahrscheinlich, dass es mehr Zeit beansprucht, als angenommen wird.

Als Naturwissenschaftler wird Mauritsen von dem Wunsch angetrieben, zu verstehen, wie das Klimasystem funktioniert. In diesem Zusammenhang könnte eine geringere Unsicherheit bezüglich der Klimasensitivität beispielsweise dabei helfen, konkurrierende Hypothesen über Wolkenrückkopplungen zu bestätigen oder zu entkräften und zu entschlüsseln, welche Rolle Aerosolpartikel für den Klimawandel spielen. Die derzeitige Unsicherheit lässt zu viel Raum für Interpretationen. Deshalb will Mauritsen sich eines ganzheitlichen Ansatzes bedienen, der sowohl neueste Beobachtungen, prähistorische Indikatoren für Klimawandel (Klima-Proxies), hochauflösende Satellitenbilder als auch hochauflösende Klimasimulationen umfasst. Um die Ergebnisse zu verknüpfen, wird er eine Hierarchie von Klimamodellen entwickeln, die mehrere wissenschaftliche Hypothesen, wie den Iris-Effekt, beinhalten, die mit den Beobachtungsdaten überprüft werden können. Mauritsen und viele seiner Kollegen hoffen, dass sie durch solche Untersuchungen die Unsicherheit der Klimasensitivität bereits in den nächsten fünf bis zehn Jahren deutlich reduzieren können.

#### **Publikation zum Iris-Effekt:**

Mauritsen, T. and B. Stevens (2015): Missing iris-effect as a possible cause of muted hydrological change and high climate sensitivity in models. *Nature Geoscience*, doi:10.1038/ngeo2414.

#### **Weitere ausgewählte Publikationen zur Klimasensitivität:**

Meraner, K., T. Mauritsen, A. Voigt, 2013: Robust increase in equilibrium climate sensitivity under global warming. *Geophys. Res. Lett.* 40(22), 5944-5948, doi:10.1002/2013gl058118

Mauritsen, T., Graverson, R. G., Klocke, D., Langen, P. L., Stevens, B., Tomassini, L. 2013, Climate feedback efficiency and synergy. *Climate Dynamics*, doi:10.1007/s00382-013-1808-7

#### **Kontakt:**

Dr. Thorsten Mauritsen  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: 040 41173 182  
E-Mail: [thorsten.mauritsen@mpimet.mpg.de](mailto:thorsten.mauritsen@mpimet.mpg.de)