

## Klimaeffekte durch Treibhausgase und Sonnenstrahlung sind asymmetrisch

Wissenschaftler um Dr. Hauke Schmidt, Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“ am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M), haben in einer neuen Studie gezeigt, dass man mit einer Reduktion der Sonnenstrahlung vorindustrielles Klima nicht wieder herstellen kann, sondern ein anderes, neues Klima erzeugt (Schmidt et al. 2012). Veränderungen der Treibhausgaskonzentration und der Sonnenstrahlung wirken asymmetrisch auf das Klima. In einem Vergleich mit Erdsystemmodellen von vier europäischen Forschungszentren ergeben sich für diverse Klimaparameter robuste, d. h. in allen Modellen ähnliche Ergebnisse. Zwar ließe sich im globalen Mittel ein vorindustrielles Temperaturniveau erreichen, wenn man die kurzwellige solare Strahlung „dimmt“, allerdings änderte sich beispielsweise die Niederschlagsverteilung gegenüber dem vergangenen Klima zum Teil erheblich.

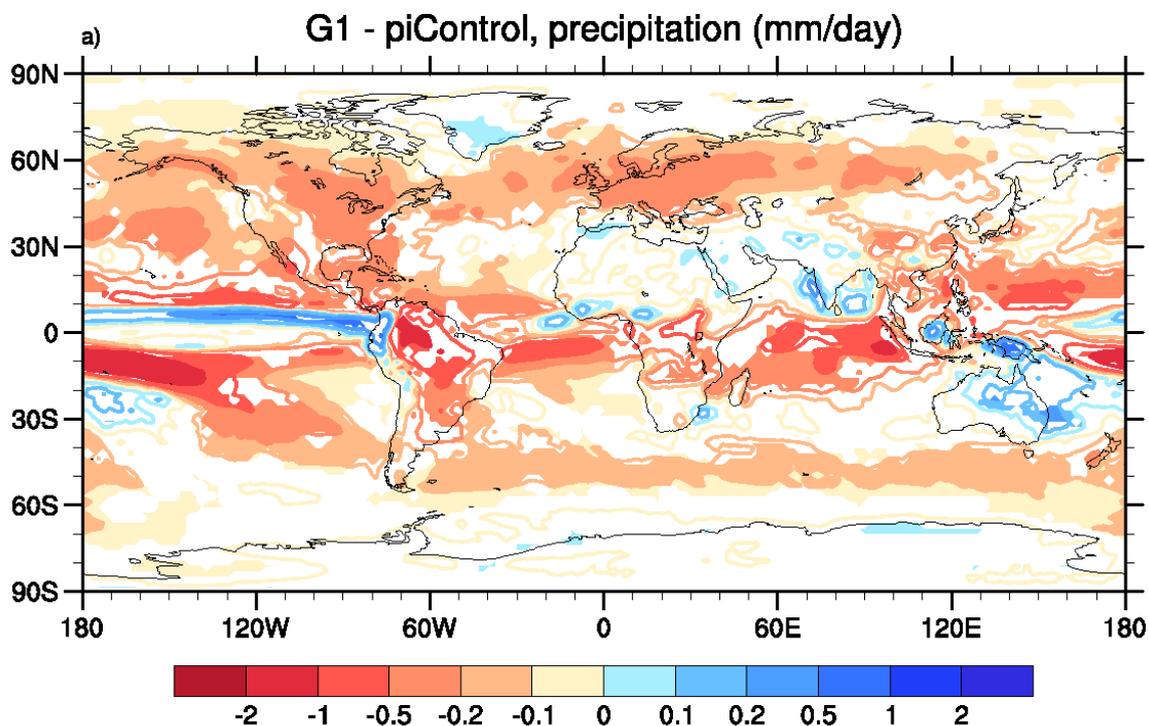


Abb. 1: Differenzen zwischen dem G1-Szenario ("climate engineering") und dem vorindustriellen Kontrolllauf für den Niederschlag (in mm/Tag), gemittelt über alle ESM. In Regionen mit farblich ausgefüllten Bereichen stimmen alle Modellaussagen im Vorzeichen überein. Isolinien markieren den Wert der oberen Grenze des jeweiligen Farbbalkens, d.h. die Nulllinie ist hellgelb.

Angesichts des beobachteten Klimawandels und der Klimaprojektionen für das nächste Jahrhundert wird nach Lösungen gesucht, die globale Erwärmung zu begrenzen. Simulationen mit dem Erdsystemmodell MPI-ESM des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) zeigen, dass das 2-Grad-Ziel bis zum Jahr 2100 eingehalten werden könnte, wenn die Treibhausgasemissionen ab 2020 drastisch gesenkt würden. Für den Fall, dass dieses nicht gelingt, werden unter dem Oberbegriff „Geoengineering“ (oder „Climate Engineering“) zunehmend auch Ingenieurslösungen vorgeschlagen, um die globale Erwärmung zu bekämpfen. Dabei wird unterschieden zwischen solchen Methoden, die Kohlendioxid aus der Atmosphäre entfernen sollen, und solchen, die darauf

abzielen, mehr kurzweilige Sonnenstrahlung ins All zu reflektieren. Letztere können unter dem Begriff „Strahlungsmanagement“ zusammengefasst werden.

Wären mit den vorgeschlagenen Methoden des Strahlungsmanagements tatsächlich signifikante Abkühlungseffekte zu erzielen, welche Risiken und Nebeneffekte sind zu erwarten, und vor allem, was für ein Klima würde daraus resultieren? Mit diesen Fragen beschäftigt sich Hauke Schmidt am MPI-M.

Veränderungen von Treibhausgasen und Sonnenstrahlung wirken unterschiedlich auf die globale Strahlungsbilanz. Während Treibhausgase global relativ homogen die langwellige terrestrische Strahlung beeinflussen, wirkt ein „Dimmen“ der Sonne, beispielsweise durch Reflektoren im Weltall, auf den kurzwelligen Anteil der Strahlungsbilanz. Dies geschieht am stärksten dort, wo die Sonnenstrahlung stark ist, also ganzjährig in den Tropen und im Sommer in höheren Breiten. Im Rahmen des EU-Projekts IMPLICC (**I**mplications and Risks of Engineering Solar Radiation to Limit **C**limate **C**hange) hat die Arbeitsgruppe von Hauke Schmidt zusammen mit internationalen Kollegen jetzt erforscht, wie das Klimasystem reagieren würde, wenn man den Treibhauseffekt einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentration mit einer global gleich starken Reduktion der Sonnenstrahlung kompensierte.

Dazu wurden Computersimulationen mit vier Erdsystemmodellen europäischer Forschungszentren (aus Norwegen, Frankreich, England und Deutschland) verglichen. Mit allen Modellen wurde dasselbe Szenario einer Vervierfachung des Treibhausgases CO<sub>2</sub> („globale Erwärmung“) bei gleichzeitiger Reduktion der Solarkonstanten („Dimmen der Sonne“) berechnet. Der Modellvergleich ermöglicht Aussagen darüber, welche der simulierten Klimateffekte robust sind, d. h. ähnlich in allen Modellen auftreten, und wo Unsicherheiten bestehen. Das verwendete Szenario G1 des GeoMIP (Geoengineering Model Intercomparison Project, s. Kravitz et al. 2011) ist in dem Sinne nicht realistisch, als ein derart plötzlicher CO<sub>2</sub>-Anstieg nicht zu erwarten ist. Aber ein Strahlungsantrieb, der einer Vervierfachung der vorindustriellen CO<sub>2</sub>-Konzentration entspricht, ist laut einem „business-as-usual“-Szenario (RCP8.5, s. van Vuuren et al., 2011) bis zum Ende des 21. Jahrhunderts nicht auszuschließen, wenn die CO<sub>2</sub>-Emissionen ungehindert weiter ansteigen. Durch die Verwendung eines derart extremen Szenarios wird außerdem sichergestellt, dass die simulierten Klimasignale sich deutlich von der natürlichen Variabilität des Klimas abheben.

Die Modelle reagieren in vielerlei Hinsicht robust, d. h. ähnlich, auf diesen sehr drastischen Strahlungsantrieb. Die Modellexperimente sind so angelegt, dass der Effekt der Erhöhung der Treibhausgaskonzentration auf die globale Strahlungsbilanz durch die Reduktion der Sonnenstrahlung exakt ausgeglichen wird, und dementsprechend auch die global gemittelte Temperatur etwa unverändert auf dem vorindustriellen Referenzniveau bleibt. Allerdings ist in allen Modellen dafür etwa 25 % mehr „Climate Engineering“ notwendig als erwartet, da eine Verringerung der globalen Bewölkung einen Teil des Effekts kompensiert. Die Temperatur wird auch nicht überall auf dem Referenzniveau gehalten, sondern ist in hohen Breiten und über Kontinenten allgemein etwas erhöht (bis etwa 1 Grad Celsius), in den Tropen und über Ozeanen jedoch verringert.

Deutlich stärkere Effekte sind nach den Simulationen beim Niederschlag zu erwarten, der im globalen Mittel etwa um 5 % abnimmt. Im Gegensatz dazu wäre ein Anstieg von etwa 9 % bei nicht „kompensierter“ Vervierfachung von CO<sub>2</sub> zu erwarten. Regional können die Veränderungen im Niederschlag nach „Climate Engineering“ stärker sein als durch einen Anstieg der Treibhausgaskonzentration allein. Während im letzteren Fall eine deutliche Reduktion der Niederschläge unter

anderem im Mittelmeerraum simuliert wird, verschiebt sich diese Zone nach Norden, wenn gleichzeitig die Sonnenstrahlung reduziert wird. Insbesondere über den großen Landmassen des nördlichen Eurasiens sowie Nord- und Südamerikas werden für diesen Fall großflächige Verringerungen des Niederschlags um mehr als 10 % simuliert (Abb. 1, siehe oben). Zurückgeführt wird dieses unter anderem auf die geringere Verdunstung der Ozeane durch insbesondere in den Tropen reduzierte Sonnenstrahlung und auf die geringere Durchmischung von Luftmassen der Tropen und mittleren Breiten aufgrund des verringerten meridionalen Temperaturgradienten. Damit wird auch der polwärts gerichtete Transport von Wasserdampf reduziert.

Der Modellvergleich zeigt also, dass „Climate Engineering“ durch Strahlungsmanagement (in diesem Fall die Reduktion der Solarkonstanten, was einem Einsatz von Spiegeln im All entspräche) global zwar den Klimawandel reduzieren kann, aber nicht einen altbekannten z. B. vorindustriellen Klimazustand wiederherstellt, sondern ein neues Klima erzeugt. Selbst wenn man die Temperaturen auf ein vorindustrielles Niveau absenken könnte, so würden sich doch die regionalen Muster und die globale Menge des Niederschlags ändern und nicht auch wiederhergestellt werden.

Die Reaktion des Klimasystems ist allerdings nur ein Aspekt, der für eine potentielle Anwendung von „Climate Engineering“ durch Manipulation der solaren Einstrahlung berücksichtigt werden muss. Sollte man einmal damit anfangen, müsste es beibehalten werden bis ein anderer Weg gefunden wird, um das Kohlendioxid aus der Atmosphäre zu entfernen. Bei einem Ausstieg aus dem Strahlungsmanagement würde der vorher unterdrückte Klimawandel sonst im Zeitraffer nachgeholt. Auch die Versauerung der Ozeane würde durch Strahlungsmanagement nicht gelindert. Darüber hinaus hätten viele der vorgeschlagenen Methoden spezifische Nebeneffekte. Eine künstliche Emission von Schwefel in die Stratosphäre beispielsweise, bei der nach dem Beispiel großer Vulkanausbrüche ein Abkühlungseffekt zu erwarten wäre, würde die Ozonschicht angreifen. Wie eine weitere Studie im Rahmen des IMPLICC-Projekts gezeigt hat (Niemeier et al., 2011), ist darüber hinaus für eine bestimmte Abkühlung möglicherweise ein größerer Schwefeleintrag notwendig als aus Vulkanausbrüchen abgeschätzt wurde. Und neben diesen naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten müssen politische, ethische, rechtliche und ökonomische Fragen berücksichtigt werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass „Climate Engineering“ nicht als eine Ersatzstrategie für die Vermeidung des Klimawandels durch die Reduktion von Treibhausgasemissionen angesehen werden kann.

### **Originalveröffentlichung:**

Schmidt, H., K. Alterskjær, D. Bou Karam, O. Boucher, A. Jones, J. E. Kristjansson, U. Niemeier, M. Schulz, A. Aaheim, F. Benduhn, M. Lawrence, and C. Timmreck: Solar irradiance reduction to counteract radiative forcing from a quadrupling of CO<sub>2</sub>: Climate responses simulated by four Earth system models. *Earth Syst. Dynam.*, *Earth Syst. Dynam.*, 3, 63-78, 2012.

EGU: [http://www.earth-syst-dynam.net/recent\\_papers.html](http://www.earth-syst-dynam.net/recent_papers.html)

**Weitere Informationen:**

Niemeier, U., H. Schmidt, and C. Timmreck, The dependency of geoengineered sulfate aerosol on the emission strategy, Atmos. Sc. Lett., 12/2, 189-194, 2011.

Kravitz, B., Robock, A., Boucher, O., Schmidt, H., Taylor, K., Stenchikov, G., and Schulz, M.: The Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP), Atmos. Sci. Lett., 12, 162–167, doi:10.1002/asl.316, 2011.

van Vuuren, D.P., et al.: The representative concentration pathways: an overview. Climatic Change, Springer, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z, 2011

MPG Geomax 18: Geo-Engineering – Plan B zur Rettung des irdischen Klimas?

[http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/grafik/presse/Geomaxe/Ausgabe18\\_Geoengineering.pdf](http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/grafik/presse/Geomaxe/Ausgabe18_Geoengineering.pdf)

CMIP5-Simulationen:

[http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/grafik/presse/Forschung\\_aktuell/PDFs/1202\\_CMIP5\\_dt.pdf](http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/grafik/presse/Forschung_aktuell/PDFs/1202_CMIP5_dt.pdf)

**Kontakt:**

Dr. Hauke Schmidt  
Max-Planck-Institut für Meteorologie  
Tel.: +49 (0)40 41173 405  
E-Mail: [hauke.schmidt@zmaw.de](mailto:hauke.schmidt@zmaw.de)