

Lina Knees Düsseldorf

In Indonesien schießt der Vulkan Tambora eine Flammensäule, Gestein und Asche in den Himmel. Schwefeldioxid tritt aus, legt sich als Wolke um den Erdball und sperrt das Sonnenlicht über ein ganzes Jahr aus. Es wird kühl auf dem Planeten. 1816 wird auch „das Jahr ohne Sommer“ genannt. In Europa kommt es zu Ernteausfällen, Überschwemmungen und Hungersnöten.

Solche Vulkanausbrüche liefern Daten für Ulrike Niemeier. Am Max-Planck-Institut in Hamburg öffnet die Wissenschaftlerin ein Fenster auf ihrem Computerbildschirm, tippt einige Zahlen ein und drückt auf Enter. Das Programm zeigt ihr eine Tabelle. Niemeier öffnet eine Weltkarte. Auf der Karte bewegt sich eine rote, spiralförmige Wolke. Sie wird grün, verteilt sich über die nördliche Hemisphäre und verschwindet.

Mit ihren Modellen untersucht die studierte Meteorologin unter anderem, wie sich der gezielte Ausstoß von Schwefeldioxid auf das Klima, auf Niederschläge und Temperaturen auswirken würde. Dieses sogenannte solare Strahlungsmanagement (SRM) ist eine Maßnahme des Geo-Engineering, eine aktive Einflussnahme des Menschen auf das Klima.

Durch das Schwefeldioxid könnte Sonneneinstrahlung abgefangen und die Erderwärmung durch den Klimawandel theoretisch reduziert werden. Forschungsprojekte gibt es bereits weltweit. Die Folgen lassen sich jedoch kaum abschätzen. Viele Wissenschaftler warnen vor nicht vorhersehbaren Auswirkungen. Trotzdem hat sich das Büro für Wissenschafts- und Technologiepolitik der US-Regierung kürzlich für mehr Forschung ausgesprochen. Die Verdunkelung des Himmels für das Klima gilt als riskante Notlösung.

**Für Experten sind die angepeilten Ziele kaum noch erreichbar**

Die durchschnittliche Erdtemperatur hat sich laut des „Earth Observatory“ der US-Weltraumorganisation Nasa seit 1880 um 1,1 Grad Celsius erhöht. Alle zehn Jahre kommen 0,15 bis 0,20 Grad dazu. Das Pariser Abkommen sieht vor, dass die globale Durchschnittstemperatur unter 1,5 Grad gehalten wird. Experten halten dieses Ziel für nicht erreichbar. „Das Frustrationslevel steigt. Auf dem letzten Klimagipfel 2022 war die Stimmung greifbar anders, weil immer noch nichts passiert“, sagt Ulrike Niemeier.

Auch deswegen werden Technologien wie SRM immer interessanter. Die potenziell effektivste und bekannteste Methode ist Stratospheric Aerosol Injection (SAI). Mit einem Ballon oder mit Flugzeugen wird Schwefeldioxid in 20 Kilometer Höhe in die Stratosphäre ausgebracht. Der Stoff bildet Aerosole, die sich durch Strömungen über den ganzen Erdball verteilen. Sonnenstrahlen treffen auf die kleinen Partikel und werden zurück ins All reflektiert. Eine andere Idee: Die Sonne mit großen Spiegeln im All abfangen oder Wolken mit Salzpartikeln anreichern, damit sie lokal vom Klimawandel bedrohte Landflächen von der Sonne abschirmen. Experimente gibt es damit bereits über dem Great Barrier Reef in Australien, um Korallen zu retten.

In einem aktuellen Bericht der Vereinten Nationen werden die Kosten für die Ausbringung von Schwefeldioxid in der Stratosphäre auf 20 Milliarden Dollar pro Jahr geschätzt, um die Erde um ein Grad Celsius zu kühlen. Im

**Greentech**

# Den Himmel verdunkeln – eine riskante Option

Ein menschlicher Eingriff ins Klima könnte die Erderwärmung aufhalten – mit schweren Nebenwirkungen. Die US-Regierung forciert die Forschung jetzt trotzdem.

**Solar Radiation Management**  
Maßnahmen, um die Wärmestrahlung und die daraus resultierende Wärme zu reduzieren und so die globale Temperatur zu senken

- Stratospheric Aerosol Injection:** Schwefeldioxid wird in die Stratosphäre gebracht und verteilt sich
- Spiegel im Weltall reflektieren das Sonnenlicht**
- Marine Cloud Brightening:** Wolken werden mit Salzpartikeln angereichert und schirmen kleinere Landflächen ab
- Reflektierende Flächen auf der Erdoberfläche, z. B. Arktisches Eis und reflektierende Folien**

HANDELSBLATT • Pixabay • Quelle: Eigene Recherche

Vergleich zu anderen Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels ist das günstig. Die Idee ist, Zeit zu kaufen, um nicht über die kritische Erwärmung von 1,5 Grad zu treten. Nach dem Ausbruch des Tambora waren die Temperaturen in Europa durchschnittlich immerhin um zwei Grad kühler.

Die Erde wird durch einen Vulkanausbruch oder die künstliche Ausbringung von Schwefel aber nicht überall gleich gekühlt. Zirkulationen in der Stratosphäre verteilen die Aerosole über den Globus. Von den Tropen gibt es große Strömungen zu den Polen. „Es ist naheliegend, die Aerosole dort auszubringen, wodurch zunächst mehr Aerosole das Sonnenlicht abfangen“, erklärt Niemeier.

Die Tropen würden also mehr gekühlt als Nord- und Südpol. Die Eisschmelze an den Polen kann das nur bedingt reduzieren. Zu diesem Ergebnis kommt eine neue Studie der Universität Bern. Hinzu kommt: In der Polarnacht, wenn die Sonne nicht scheint, bringt das Abschirmen nichts.

Durch die neuen Temperaturunterschiede werden außerdem die Luftströmungen selbst beeinflusst. Die Klimazonen verteilen sich neu, Monsungebiete verschieben sich nach Norden. „Und dann legt es eben auf einmal eine Zone trocken, die vorher noch einigermäßen gut Niederschlag bekommen hat“, sagt Niemeier.

Weniger Sonnenstrahlen bedeuten weniger Verdunstung und in der Folge weniger Regen. Experten schätzen, dass unter Einsatz von Schwefeldioxid in der Stratosphäre der globale Niederschlag um zwei bis vier Prozent sinken wird. Einige Regionen würden trockener, andere bekämen mehr Wasser ab. Der Himmel würde durch die Aerosole trüb und nicht mehr strahlend blau sein.

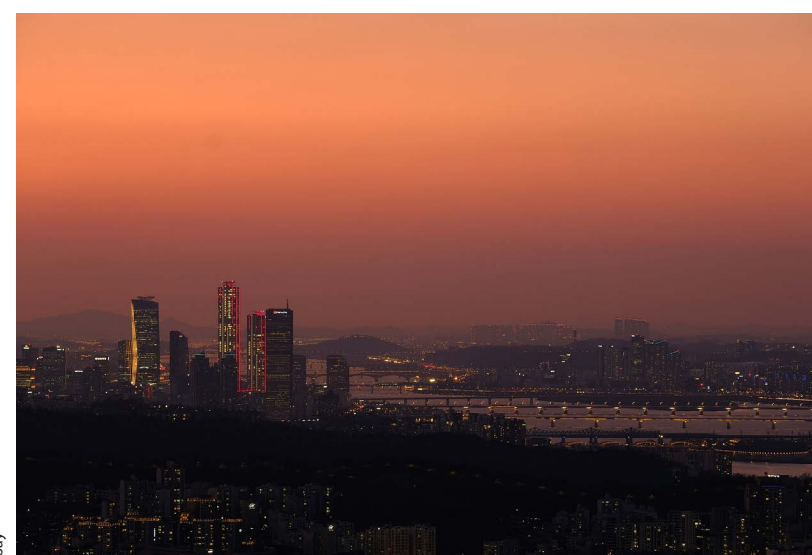
**Einige Pflanzen wachsen schneller, andere weniger**

Die Veränderung der Lichtintensität würde das Wachstum einiger Pflanzen anregen, das Wachstum anderer hemmen. Die Ökosysteme würden sich komplett neu ordnen und die Landwirtschaft beeinflussen.

Ein weiteres Problem: Aerosole verklumpen mit der Zeit. „Die Partikel sinken auf den Erdboden“, sagt Johannes Quaas, Meteorologe an der Universität Leipzig. „Das ist dann saurer Regen.“ Die genaue Konzentration sei schwer abzuschätzen. Saurer Regen führt zu Waldsterben, Versauerung von Flüssen und Seen und hat negative Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum. Für eine langfristige Kühlung müsste das Schwefeldioxid außerdem konstant in die Stratosphäre gebracht werden. Forschende der Universität Washington prognostizieren einen plötzlichen und starken Temperaturanstieg, wenn die Emission stoppen würde – Erderwärmung im Schnelldurchlauf.

All das bleibt eine Annahme. Die Modelle, mit denen Johannes Quaas und Ulrike Niemeier arbeiten, sind komplex. Unter Einsatz massiver Rechenleistung werden Temperatur, Niederschlag und Luftströmungen an Millionen horizontalen und vertikalen Punkten in der Atmosphäre berechnet. Der Computer im Max-Planck-Institut, der diese Berechnungen durchführt, nimmt zwei ganze Etagen ein.

Die Prognosen sind aber ungenau. „Ich denke nicht, dass irgendjemand behaupten würde, wir wären in der Situation, wo die Wissenschaft sagen könnte: Genau das passiert“, sagt Quaas. Laut den beiden Forschenden haben die Modelle Probleme auf meh-



Durch eine erhöhte Aerosolkonzentration wird Licht bei Sonnenuntergängen mehr gebrochen und sorgt für einen farbenfrohen Himmel.

ren Ebenen: Messungenaugigkeit bei der Datensammlung, Unterschiede in der Darstellung der Klimaprozesse und Klimaszenarien sowie unvorhersagbare Schwankungen.

Wie viel Schwefeldioxid bereits oben ist, kann nicht direkt in der Stratosphäre gemessen werden. „Satelliten werden da herangezogen, die können – natürlich alles nur ganz indirekt – die Veränderungen in der Strahlung messen“, sagt Ulrike Niemeier.

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat verschiedene Szenarien über den Verlauf des Klimawandels beschrieben. Im schlechtesten Fall wird sich die Erde

unter den Folgen einer hohen Erderwärmung leiden, haben ein größeres Interesse, diese Maßnahme zu ergreifen, als andere.

**Auch die geopolitischen Folgen wären enorm**

Indien könnte von einem Einsatz zum Beispiel profitieren, indem es damit starke Hitzewellen reduziert. Ländern in den nördlichen Regionen Europas und Nordamerikas ist womöglich eher daran gelegen, die Technologie aufgrund ihrer unabsehbaren Folgen zu verhindern.

„Und da hat man natürlich alle möglichen Chancen für Konflikte“, warnt Rickels. Kann ein Land das andere verklagen, wenn es absichtlich

20

**Milliarden Euro**  
pro Jahr würde es kosten, Schwefeldioxid in die Stratosphäre zu bringen – das Erdklima würde sich damit um ein Grad Celsius abkühlen.

Quelle: Uno

im globalen Mittel um vier Grad im Vergleich zum vorindustriellen Niveau erhöhen. Was genau mit der Erde passiert, wenn der Himmel künstlich verdunkelt wird, unterscheidet sich je nach Szenario. Je wärmer die Erde durch den Klimawandel wird, desto mehr Schwefel wird benötigt und desto größer sind die Auswirkungen auf Klima und Ökosysteme.

Wie viel das aber genau ist, ist ebenfalls unklar. „Modell A sagt, wir brauchen acht Megatonnen Schwefeldioxid, und Modell B braucht 16 Megatonnen“, erklärt Niemeier. Die Forschung verwendet alle Modelle und ermittelt einen Durchschnitt als Vorschau. Berechnet werden vor allem globale Veränderungen und Strömungen. Welche konkreten regionalen Folgen auftreten, wissen Forscher nicht.

Wilfried Rickels leitet das Forschungszentrum „Global Commons und Klimapolitik“ am Institut für Weltwirtschaft in Kiel. Er erforscht unter anderem ökonomische Folgen und die geostrategischen Implikationen von Geo-Engineering-Maßnahmen.

Die Kosten für das solare Strahlungsmanagement mit Schwefeldioxid könnten von einem einzigen größeren Land getragen werden. Staaten, die



**Greentech**

**Serie „Diese grünen Ideen könnten die Welt verändern“:**

Von Wellenkraftwerken, CO<sub>2</sub>-freiem Zement und Solaranlagen im Weltall bis zu erdgiespendenden Algenarten. Wir stellen einige der interessantesten Innovationen vor. Wissenschaftlich begleitet wird die Serie von dem unabhängigen Thinktank Future Cleantech Architects.

Schwefeldioxid einsetzt und in einem anderen Land Ernteausfälle und Fluten auftreten? Noch gibt es kein internationales Gremium, das über den Einsatz und solche Fragen entscheiden könnte. „Hätten wir diese imaginäre Weltregierung, dann wäre ein Einsatz von Solar-Geo-Engineering mit weit weniger Risiken verbunden.“

Im Januar 2022 verfassten einige Klimaforscher weltweit einen offenen Brief. Sie verlangten ein „Non-Use Agreement“, eine Einigung darüber, dass Solar-Geoengineering nicht genutzt oder weiter erforscht wird. Sie fürchten, dass der Einsatz nicht fair geregelt werden könne. Quaas fügt hinzu: „Wenn sich diese Idee in den Köpfen festsetzt, dann denken die Leute, es gibt eine Alternative zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen.“ Er selbst spricht sich trotzdem für die weitere Forschung am Strahlungsmanagement aus. „Die Frage ist, wer macht die Forschung? Unternehmen, interessierte Personen oder ist es eben öffentliche und transparente Forschung?“

Ulrike Niemeier und er sind sich einig: SRM ist keine Alternative zur Reduktion von Treibhausgasemissionen, es kauft nur Zeit. „Die einzige vernünftige Idee ist, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß schnell auf null oder negativ zu fahren“, sagt Quaas. „Wir forschen nicht daran, weil wir irgendwelche Verrückten sind, die das unbedingt machen wollen“, erklärt Niemeier.

David Keith, Physiker und Klimaforscher an der Universität Harvard, hat es 2008 so ausgedrückt: „Ich glaube, es ist Zeit darüber nachzudenken. Auch wenn wir damit mehr Argumente finden, die uns sagen, dass wir es nicht tun sollten.“

Anzeige