

# Fliegender Sonnenschirm über den Ozeanen

Wie Wolken den Klimawandel beeinflussen

*von Andreas Lorenz-Meyer*



Foto: Aqua-Modis/NASA Earth Observatory; 16.1.2018

Ob wir bei der Erwärmung eher in Richtung plus 2 Grad oder eher in Richtung plus 5 Grad steuern, entscheidet sich zu einem nicht unbedeutenden Teil über den Meeren. Dort beschatten niedrige, flache, sehr großflächige Wolkenschichten die darunterliegende Wasseroberfläche und sorgen so für Abkühlung. Auch in Zukunft noch?

Wer wissen will, wie es weitergeht mit unserem Klima, sollte mal nach oben schauen, zu den Wolken. Die beeinflussen den Strahlungshaushalt der Erde maßgeblich. Einerseits reflektieren sie kurzwellige solare Einstrahlung und schicken diese zurück ins All – der abkühlende Effekt, auch Wolkenalbedo genannt. Andererseits absorbieren sie vom Erdboden zurückgehende langwellige Wärmestrahlung. Die wird daran gehindert, die Atmosphäre zu verlassen – der erwärmende Effekt.

Zusammen haben die Wolken derzeit einen globalen Nettostrahlungseffekt von minus 20 Watt pro Quadratmeter. Das heißt, sie kühlen mehr, als sie erwärmen. Die Erde ist durch sie etwa 5 Grad kühler. Doch muss es nicht beim Ausgangswert minus 20 Watt bleiben, weil sich die Strahlungseigenschaften der Wolken verändern. Zum einen durch das Wolkenfeedback, die Reaktion der Wolken auf die menschengemachte Erwärmung. Zum anderen wegen der anthropogenen Aerosole. Also der winzigen, durch Abgase entstehenden Schwebeteilchen, die direkt an der Wolkenbildung beteiligt sind.

### Wolken beeinflussen den Klimawandel

Wie sich diese beiden getrennt ablaufenden Effekte auswirken, untersucht die Physikerin Anna Possner vom Institut für Atmosphäre und Umwelt. Für sie bleiben Wolken »der größte physikalische Unsicherheitsfaktor im Klimawandel«. Vor allem an ihnen liegt es, dass wir noch nicht genau wissen, welcher Temperaturanstieg uns bei welchen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erwartet. Was damit zu tun hat, dass Wolken komplexe Gebilde sind, »die Endprodukte vieler einzelner Prozessketten innerhalb der Atmosphäre«. Strahlung, Dynamik, Turbulenz, Bodenflüsse von Wärme und Feuchte, Mikrophysik und Atmosphärenchemie – sie alle tragen zur Bildung einer Wolke bei. »Sie beeinflussen, in welcher Höhe sie wächst, wie viel Strahlung sie reflektiert oder absorbiert, ob sie regnet oder schneit oder einfach verdunstet. In jedem Prozessbaustein überlappen sich die Unsicherheiten – und das erschwert die Quantifizierung des Wolkeneffekts im Klimawandel.«

Zwar werden die »Lücken im Prozessverständnis« kleiner, es gibt immer bessere, höher aufgelöste Modelle. Doch Possner will die Prozesse in den Wolken und ihre Interaktion mit dem Klimasystem noch besser verstehen und in Klimamodellen noch präziser abbilden. »Nur dann lässt sich auch die mögliche Klimasensitivität weiter einschränken.« Diese gibt an, wie viel wärmer es wird, wenn sich die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre verdoppelt, von den vorindustriellen 280 ppm auf 560 ppm. Der Weltklimarat IPCC sagte für

Ship tracks über dem Nordatlantik vor Portugal und Marokko: Schiffe stoßen Aerosole aus, die zu charakteristischen Wolkengstreifen führen.

diesen Fall zuletzt eine Erwärmung zwischen 2,5 und 4 Grad voraus. Dazwischen liegen Welten, was die künftigen Lebensbedingungen angeht. Für gradgenaue Angaben braucht es mehr Klarheit bei den Wolken.

### Niedrige Wolken als Sonnenschirm

Um dahin zu kommen, erforscht Possner ganz bestimmte Typen: die flachen, niedrigen Schicht- und Stratocumuluswolken über den Ozeanen. Schichtwolken, einem dicken Hochnebel ähnlich, haben keinerlei Struktur, ihr Wassergehalt ist gleichmäßig. Bei Stratocumuli unterscheidet sich der Wassergehalt dagegen räumlich. Zusammen bilden beide Wolkentypen einen halbdurchlässigen Sonnenschirm, der eine kühlende Wirkung hat. Was daran liegt, dass bei diesen niedrigen Wolken der Kurzwelleneffekt überall da überwiegt, wo die Sonne scheint, in den Tropen genau wie in der Arktis im Sommer. Das heißt, es wird mehr kurzwellige Solarstrahlung reflektiert als langwellige Wärmestrahlung absorbiert. Der kühlende Ozeanschirm ist riesig: Er überspannt mehr als ein Fünftel aller Meeresoberflächen. Verändert sich etwas an seinen Eigenschaften, hat das besonders dramatische Folgen für das Erdklima, wie Possner erklärt: »71 Prozent der Erde sind Ozeanflächen. Diese sind extrem dunkel und absorbieren 99,3 Prozent der eintreffenden Einstrahlung. Anders als Landflächen, die 10 bis 40 Prozent reflektieren. Für die globale Erwärmung ist die Effektivität des Sonnenschirms auf dem Meer also viel bedeutsamer als über Land. Es macht einen enormen Unterschied, ob sich über der dunklen Ozeanoberfläche eine Wolkenschicht befindet, die zwischen 20 und 40 Prozent der Einstrahlung reflektiert, oder nicht.«

### ZUR PERSON



Im Jahr 2018 kam **Anna Possner** von der renommierten Stanford University in den USA nach Frankfurt an die Goethe-Universität, um hier die Gruppe »Atmosphärenphysik und Klima« aufzubauen, welche sich mit der Rolle der Wolken im Klimawandel beschäftigt. Finanzielle Unterstützung gibt es im Rahmen der deutsch-französischen Forschungsinitiative »Make our planet great again«. Zum Thema Wolken ist die 34-Jährige während ihres Studiums der mathematischen Physik im schottischen Edinburgh über die Programmierung gekommen. Das Lösen von Problemen durch das Bauen und Laufenlassen von Modellen bereitet ihr Spaß. Nach einem Praktikum am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg arbeitete Possner mehrere Jahre in der Schweiz an der ETH Zürich, bevor sie in die USA ging.

[apossner@iau.uni-frankfurt.de](mailto:apossner@iau.uni-frankfurt.de)

### Schiffsabgase machen Wolken heller

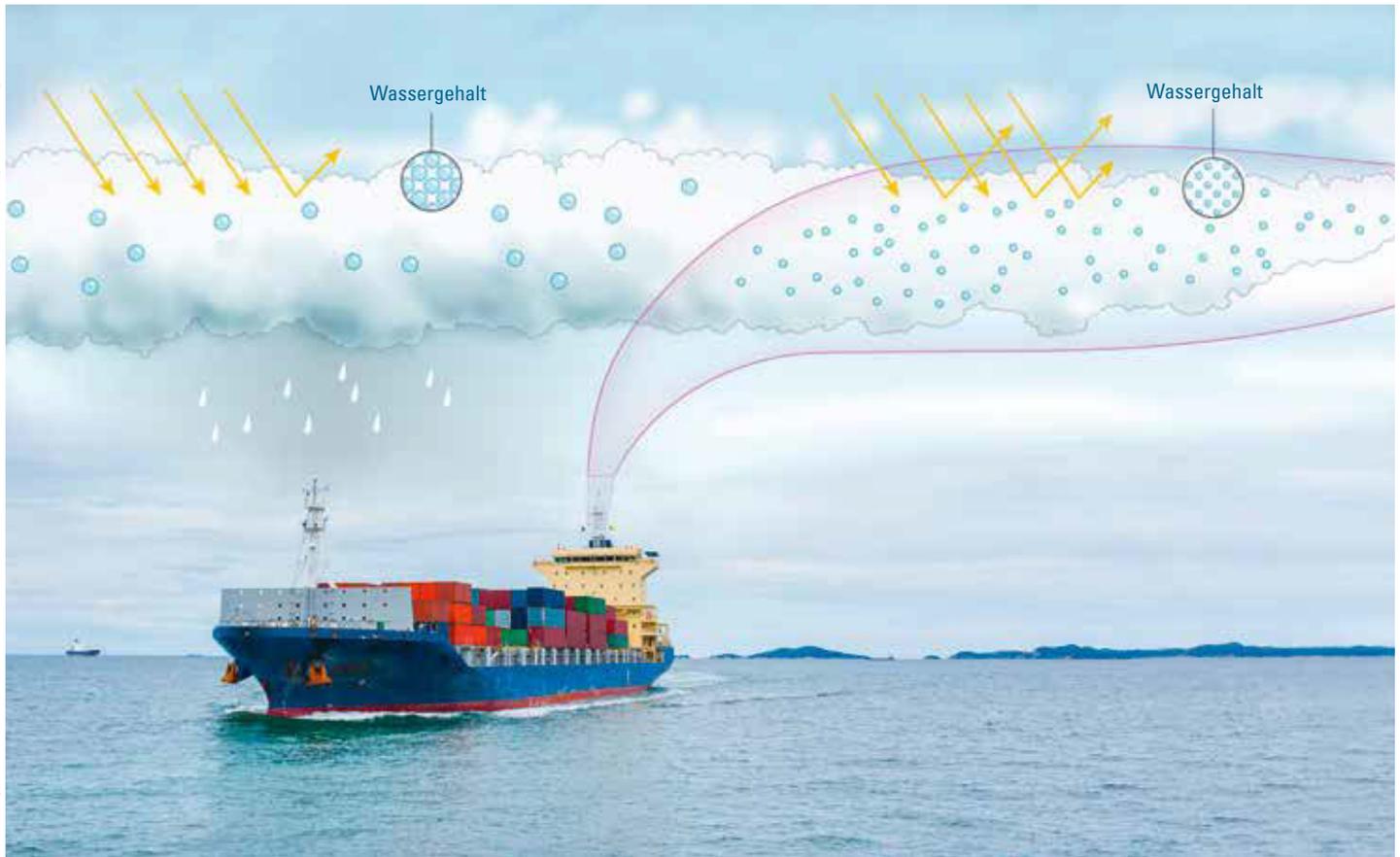
Leider gibt es da schlechte Nachrichten: Wegen der Erwärmung schrumpft der Sonnenschirm über den Ozeanen, sein Material dünnt aus. »Die niedrigen Wolken brennen regelrecht weg und reflektieren damit weniger Solarstrahlung.« Aber es gibt eine kühlend wirkende Gegenkraft, die anthropogenen Aerosole. Auch bei denen gilt: Die Effekte sind auf dem Meer viel dramatischer als an Land. Possner schaut sich genau an, was die Abgasfahnen von kommerziellen Frachtschiffen bewirken, die kreuz und quer über die Ozeane fahren und dabei Unmengen Kleinstpartikel in die Atmosphäre pusten. Unter bestimmten Bedingungen entstehen sogenannte Ship tracks, die auf Satellitenbildern klar zu erkennen sind. »Sie sehen aus wie Kondensstreifen hinter einem vorbeifliegenden Flugzeug. Nur dass sie sich viel weiter unten bilden, innerhalb des untersten Kilometers der Atmosphäre.« Innerhalb der tracks lässt sich genau bemessen, wie viel heller die Wolken durch die Partikel werden.

Diese Aufhellung bewirkt, dass die Wolken mehr Sonnenlicht reflektieren. Das kommt, weil mehr Aerosole die Anzahl Kondensationskeime für Wolkentropfen erhöht. Das heißt, die gleiche Menge Wolkenwasser ist nun auf mehrere kleinere Tropfen verteilt. Die wiederum nehmen für den gleichen Wassergehalt eine größere Gesamtoberfläche ein, was die Albedo erhöht. »Die gestörte Wolke spendet also mehr Schatten als die ungestörte Wolke«, so Possner.

### Große globale Wirkung

Wie groß die Wirkung ist, fand sie in einer Studie mit einem US-Kollegen heraus. »Da ist es uns erstmals gelungen, einen Aufhellungseffekt durch Schiffsabgase in Satellitenbeobachtungen nachzuweisen und zu quantifizieren. Wir haben uns einen Schiffskorridor an der Westküste Afrikas angeschaut. Innerhalb dieses Korridors weht der Wind für Teile des Jahres so, dass sich einzelne Abgasfahnen überlappen. Daher war das Signal stärker im Vergleich zur Variabilität und ließ sich so isolieren.«

Es gab also ein klares, robustes Ergebnis, das in der wissenschaftlichen Veröffentlichung »Substantial Cloud Brightening from Shipping in Subtropical Low Clouds« aus dem Jahr 2020 beschrieben wurde. Und zwar global hochgerechnet. Danach reflektieren die Partikel der Schiffsabgase, indem sie marine Schichtwolken aufhellen, global rund 1 Watt pro Quadratmeter an einfallendem Sonnenlicht. »Das ist beachtlich verglichen mit der derzeitigen Erwärmung durch anthropogene Treibhausgase, die bei 4 Watt pro Quadratmeter liegt. Es bedeutet, dass etwa ein Viertel der menschengemachten Erderwärmung durch den kühlenden Wolkeneffekt von men-



Aerosole aus Schiffsabgasen führen dazu, dass sich in den niedrigen Wolken über dem Ozean kleinere und zahlreichere Wassertröpfchen (kleine Kreise) bilden als gewöhnlich. Solche Wolken sind heller und reflektieren daher mehr Sonnenlicht (gelb). Gleichzeitig regnen sie seltener ab, da ihr Wassergehalt geringer ist.

schengemachten Aerosolen über den Meeren kompensiert wird.«

### Eiskristalle mindern Kühl-Effekt

Momentan richtet sich Possners Blick auf die niedrigen Wolken im Südozean jenseits des 40. Breitengrads, wo anthropogene Aerosole keine Rolle spielen, da die Gegend wenig befahren ist. Auch dort erstrecken sich Stratocumulusdecks über Hunderte von Kilometern und kühlen die darunterliegende, fast ungestörte Ozeanfläche. Im Gegensatz zu den Subtropen ist es im Südozean so kalt, dass 40 bis 70 Prozent der niedrigen Wolken aus einem Wassertropfen-Eiskristall-Gemisch bestehen. Immer wieder frieren Wolkentropfen – und das verringert die Albedo. Denn Wolkentropfen sind kleiner als Eiskristalle und nehmen bei gleichem Wassergehalt mehr Oberfläche ein. Daher reflektieren Wolken mit viel Wasser mehr Licht als Wolken mit wenig Wasser. Oder andersherum: Je mehr

Kondensat in die Eisphase übergeht, desto geringer die Albedo.

Doch bei Wolken wird es eben schnell mal besonders kompliziert und daher kommt noch etwas dazu, das die Reflexionseigenschaften mitbestimmt: die innere Organisation der Wolken. Die Stratocumuli im Südozean zeigen regelmäßige Muster, die aussehen wie Bienenwaben. Es gibt »volle« und »leere«. Voll heißt, die Wolkenbildung entspringt dem Wabenzentrum. Leer heißt, die Wolkenbildung beginnt an den Rändern. »Zwei dynamisch unterschiedliche Systeme mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften. Volle Zellstrukturen besitzen eine höhere Albedo als leere Wolkenrandzellen. Sie wirken also kühlender.« Possner untersucht gerade ein Detail: Ändert sich durch Eiskristallbildung die innere Organisation? Wird dann aus einer vollen, stärker reflektierenden Wabe eine leere, weniger reflektierende? Das würde einen zusätzlichen Erwärmungseffekt bedeuten. Nach einer ersten statistischen Analyse sieht es jedoch nicht so aus: »Wir haben bisher keinen Beweis, dass die Eiskristallbildung Stratocumuli in eine weniger reflektierende Organisationsstruktur hineintreibt.« Volle Waben bleiben also volle Waben. Bestätigen weitere Studien diesen Zwischenstand, wäre das eine kleine gute Nachricht in punkto Erderwärmung. ●



### Der Autor

**Andreas Lorenz-Meyer**, Jahrgang 1974, wohnt in der Pfalz und arbeitet seit 13 Jahren als freischaffender Journalist mit Schwerpunkt Nachhaltigkeit, Klimakrise, erneuerbare Energien, Digitalisierung. Er veröffentlicht in Tageszeitungen, Fachzeitschriften, Universitäts- und Jugendmagazinen.

[andreas.lorenz-meyer@nachhaltige-zukunft.de](mailto:andreas.lorenz-meyer@nachhaltige-zukunft.de)