

Wie warm wird's?

Die wichtigsten Erkenntnisse der Klimaforscher – einmal schön kompakt Von Michael Brake

Wieso sorgt CO₂ für die Erwärmung des Erdklimas?

Kohlenstoffdioxid, also CO₂, ist ein sogenanntes Treibhausgas, es fördert den Treibhauseffekt in der Atmosphäre. Und der funktioniert so: Die Sonne strahlt auf die Erde, der Großteil des Sonnenlichts wird auf der Erdoberfläche in Wärmestrahlung umgewandelt und strahlt zurück ins All. Nun sind mehrere Bestandteile der Atmosphäre, die Treibhausgase nämlich, durchlässig für kurzwelliges Sonnenlicht – aber nicht für die langwellige Wärmestrahlung. Diese Wärme bleibt also in der Atmosphäre. Das ist eigentlich eine gute Sache, denn ohne den Treibhauseffekt läge die durchschnittliche Temperatur auf der Erde bei etwa minus 18 Grad, es gäbe kein oder fast kein Leben auf ihr. Bloß verstärkt die deutlich gesteigerte Freisetzung von CO₂ und anderen Treibhausgasen durch die Menschen den Effekt rapide und macht die Atmosphäre spürbar wärmer.

Welche Treibhausgase gibt es außerdem?

Am bedeutendsten sind Methan und Distickstoffoxid (N₂O) – auch als Lachgas bekannt. Methan entsteht vor allem in den Mägen von Wiederkäuern wie Kühen – weswegen unser Fleischkonsum einen merkbaren Anteil am Klimawandel hat –, aber auch beim Reisanbau, auf Müllkippen und in Klärwerken. N₂O wird hauptsächlich von der Landwirtschaft freigesetzt, wo es in Düngemitteln zum Einsatz kommt. Methan hat im Vergleich zu CO₂ eine 25-fach höhere Treibhauswirkung, N₂O sogar eine rund 300-fache. Trotzdem ist CO₂ mit Abstand das bedeutendste Treibhausgas, einfach aufgrund der Menge, in der wir es freisetzen. Um die unterschiedlich wirksamen Gase vergleichen zu können, rechnet man in „CO₂-Äquivalenten“.

Was ist Wetter und was ist Klima?

Vereinfacht gesagt: Klima ist das durchschnittliche Wetter über einen längeren Zeitraum – in der Regel 30 Jahre – betrachtet. Wetter ist eine Momentaufnahme, der klimatische Zustand an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt – es hängt von sich permanent ändernden Bedingungen wie Luftdruck, Wolkenfeldern oder der Windrichtung ab. Deswegen kann es jederzeit Ausreißer geben, die nicht zum Gesamtklima passen – ein verregneter Sommer ist noch kein Beweis gegen den Klimawandel, ein warmer Herbst ist keiner dafür.

Wie viel wärmer ist es bereits geworden?

Seit etwa 1880 werden Temperaturen strukturiert gemessen, seitdem sind sie um 0,8 bis 1 Grad im weltweiten Durchschnitt gestiegen, in Deutschland sogar um 1,4 Grad. Der größte Teil dieses Anstiegs ist in den vergangenen 50 Jahren passiert. 17 der 18 wärmsten jemals gemessenen Jahre fallen ins 21. Jahrhundert.

Wie warm wird es noch werden?

Darüber herrscht Uneinigkeit – einfach weil es von zu vielen Faktoren abhängt und man nur Modellrechnungen am Computer als Grundlage hat. Es gibt schließlich keine Versuchserde für Forschungszwecke, an der man das alles mal ausprobieren kann. Im allerbesten Fall, glauben Wissenschaftler, kann die Erwärmung auf 1,5 bis 2 Grad beschränkt werden. Dafür müssten die Menschen ihren Treibhausgasausstoß so weit senken, dass spätestens um das Jahr 2070 herum der CO₂-Anteil in der Atmosphäre stabil bleibt. Negativszenarien prognostizieren einen Anstieg von 4 bis 5 Grad bis zum Jahr 2100 – oder noch höher, wenn bestimmte „Kippunkte“ erreicht werden oder selbstverstärkende Effekte einsetzen.

Was sind Kippunkte und selbstverstärkende Effekte?

Kippunkte sind sensible Stellen im globalen Ökosystem, deren Veränderung ab einem bestimmten Umfang nicht mehr rückgängig zu machen ist. So wird etwa beim Nordatlantikstrom oder dem indischen Monsun befürchtet, dass sie vom Klimawandel verstärkt, verlangsamt oder aber zum Stoppen gebracht werden. Auch die Eisschilde an den Polen und das Grönlandeis sind Kippunkte. Wird es zu warm, können Schmelzvorgänge in Gang gesetzt werden, die sich nicht mehr aufhalten lassen. Hier zeigt sich zudem, welche selbst-

verstärkenden Dynamiken der Klimawandel hat: Während das helle Eis wenig Sonnenstrahlung aufnimmt, wird diese von dunkleren Böden oder dem Meerwasser gut absorbiert. Je mehr Eis verschwindet, desto mehr „Angriffsfläche“ hat das Sonnenlicht, die Umgebung des Eises aufzuheizen und den Schmelzvorgang zu beschleunigen. Ein weiteres Beispiel: Tauen die Permafrostböden Russlands und Nordamerikas durch die Klimaerwärmung nach und nach auf, können Mikroorganismen die fossilen Tier- und Pflanzenreste im Boden schneller zersetzen – dabei werden CO₂ und Methan freigesetzt.

Lässt der Klimawandel den Meeresspiegel steigen?

Ja. Das Festlandeis an den Polen sowie Gebirgsgletscher schmelzen durch die Wärme immer schneller. Zwischen 250 und 300 Milliarden Tonnen Eis verliert allein Grönland pro Jahr. Und der Meeresspiegel steigt bereits: Im 20. Jahrhundert waren es insgesamt 20 Zentimeter, seit Anfang der 1990er-Jahre im Jahresmittel schon gut 3 Millimeter, und es wird davon ausgegangen, dass er noch stärker pro Jahr steigen wird. Forscher gehen bei Einhaltung des Zwei-Grad-Ziels von einem Anstieg von etwa einem halben Meter bis zum Jahr 2100 aus. Erwärmt sich die Erde um 3 bis 4 Grad, könnte es, je nach Szenario, fast ein Meter oder sogar mehr sein. Die exakten Auswirkungen sind dabei auch deswegen schwer zu bestimmen, weil sich der Anstieg nicht überall gleichmäßig vollzieht: Auf den Philippinen sorgen beispielsweise Passatwinde dafür, dass der Meeresspiegel überdurchschnittlich steigt. In Skandinavien sinkt er hingegen sogar – weil sich hier das Festland seit der letzten Eiszeit, befreit vom Gewicht der Eismassen, langsam aus dem Wasser hebt.

Was ist das Zwei-Grad-Ziel?

Es beschreibt die Begrenzung des Temperaturanstiegs auf maximal 2 Grad Celsius – vom Beginn der Industrialisierung an gerechnet, es dürfte aktuell also nur noch etwa ein Grad hinzukommen. Erstmals formuliert wurde das Zwei-Grad-Ziel 1975 vom Klimaökonom William D. Nordhaus. In den 1990er-Jahren wurde in einem Bericht des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung formuliert, dass bei 2 Grad die Grenze dessen liegt, was unser Ökosystem noch verkraften kann, danach drohen einschneidende Veränderungen. Da alle Modelle für Klimafolgen nur mit Näherungswerten arbeiten, ist das Ziel vor allem ein Symbol – aber ein wirksames: 1996 legte die EU das Zwei-Grad-Ziel als Richtlinie der europäischen Klimapolitik fest. Bei der Weltklimakonferenz in Paris wurde es 2015 in einem völkerrechtlichen Vertrag verankert. Einige Staaten wie die Marshallinseln hatten sogar 1,5 Grad gefordert. Die aktuellen Zusagen der Vertragsstaaten zum Klimaschutz reichen allerdings nicht mal aus, um das Zwei-Grad-Ziel zu erreichen.

Gab es auch früher in der Erdgeschichte schon Klimaschwankungen?

Ja, die gab es, als mögliche Ursachen gelten vulkanische Aktivitäten, veränderte Meeresströmungen infolge von Kontinentalverschiebungen und eine schwankende Sonnenaktivität. Erdgeschichtlich gesehen leben wir sogar in ziemlich kalten Zeiten. Nach aktuellem Forschungsstand machten den Großteil der letzten 500 Millionen Jahre Warmklimata aus, also Perioden, in denen die Pole der Erde nicht vereist sind. So lag die durchschnittliche Erdoberflächentemperatur mitunter 15 Grad über den heutigen 15 Grad. Damals war auch die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre deutlich höher. Während der letzten Eiszeit war es hingegen rund 5 bis 6 Grad kälter.

Ist die aktuelle Erwärmung der Erde vielleicht gar nicht menschengemacht?

Die bisherigen Klimaschwankungen vollzogen sich über Zeiträume von Zehn- bis Hunderttausenden Jahren. Ein Anstieg von etwa einem Grad innerhalb von weniger als 150 Jahren deutet sehr darauf hin, dass ein zusätzlicher Faktor im Spiel ist – der Mensch. Rund 97 Prozent der Klimaforscher gehen davon aus, und auch die Konzentration des CO₂ in der Atmosphäre lässt darauf schließen. Aktuell sind es etwa 0,04 Prozent beziehungsweise 410 ppm (410 Millionstel) – klingt wenig, aber vor rund 250 Jahren waren es nur 280 ppm und in den 650.000 Jahren zuvor nie mehr als 300 ppm. Schuld ist die Verfeuerung von Kohle, Erdöl und Erdgas im Zuge der Industrialisierung.

Wenn die Erde schon viel wärmeres Klima überstanden hat, was ist dann unser Problem?

Für die Erde gibt es kein Problem. Nur für die Lebewesen, die aktuell auf ihr leben – also auch für uns. Das aktuelle ökologische Gleichgewicht wird mit zunehmender Erwärmung immer weiter durcheinandergebracht. Wenn beispielsweise die Siebenschläfer früher aus ihrem Winterschlaf erwachen, fresen sie Vogeleier, die einst zu diesem Zeitpunkt bereits ausgebrütet waren. Nach einem Negativszenario könnte ein Sechstel aller Arten klimawandelbedingt noch in diesem Jahrhundert aussterben. Da sich auch hier die Effekte gegenseitig verstärken, könnte die Folge ein Massenaussterben sein, von dem es in der Erdgeschichte schon einige gab – zuletzt vor ca. 65 Millionen Jahren, als die Zeit der Dinosaurier endete.