



Mittwoch, 26. August 2026, 15:00 Uhr
~17 Minuten Lesezeit

Unterkomplexe Erklärungsversuche

Die Veränderungen des Weltklimas werden in der aktuellen Debatte auf eine einzige negative Ursache reduziert: vom Menschen ausgestoßenes CO₂.

von Uwe Froschauer

Bild: Collage mit Fotos von Shutterstock.com (NicoElNino, GizemGK)

*Schwankungen der Sonnenaktivität. Wasser als
Wärmespeicher. Meeresströmungen wie El Niño. Der*

Treibhauseffekt. Vulkanausbrüche, die den Himmel für Monate verdunkeln ... All diese Faktoren können unser Klima beeinflussen und verschiedene Abstufungen von Wärme und Kälte in der Luft verursachen. Die Zusammenhänge sind äußerst dynamisch und fluid – es verbietet sich insofern, eine einzige kausale Erklärung für ein Phänomen absolut zu setzen. Glauben wir jedoch den Mainstream-Medien, so scheinen tiefer gehende Analysen gar nicht mehr notwendig zu sein. Die Ursache ist bekannt: Wir Menschen sind es und das von uns in Folge von Industrietätigkeit, Verkehr und Tierhaltung ausgestoßene CO₂. Es scheint fast eine Art Schuldeitelkeit dahinterzustecken. Wir wollen partout die einzigen Verursacher sein, und diejenigen, die noch nicht zerknirscht genug sind, werden von der Politik auf Linie gebracht. Menschen sind dadurch manipulierbar, Freiheitseinschränkungen erhalten eine wohlfeile Begründung. Der Autor ruft hier eine Reihe weiterer wichtiger Klimafaktoren ins Gedächtnis und ergänzt monokausale Erklärungsmuster zu einem vollständigeren Bild.

In Teil 3 der Serie habe ich einen Blick auf die Klimageschichte geworfen. Nun stellt sich die nächste Frage: Warum verändert sich das Klima?

In der öffentlichen Debatte entsteht meist der Eindruck, als gäbe es auf diese Frage eine einfache Antwort. Für viele ist sie inzwischen auf ein einziges Molekül reduziert: Kohlendioxid.

Das Klimasystem der Erde ist kein einfaches Ursache-Wirkungs-System. Es ist ein hochkomplexes Netzwerk natürlicher Prozesse. Es wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst, die sich gegenseitig verstärken, abschwächen oder überlagern können. Die nachfolgenden Abschnitte stellen die wichtigsten natürlichen Einflussgrößen vor. Sie machen deutlich, wie komplex das Klimasystem tatsächlich ist und weshalb einfache Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge ihm nur selten gerecht werden. Auffallend ist, wie stark sich die öffentliche und politische Klimadebatte auf einen einzigen Faktor konzentriert: Kohlendioxid. Das bedeutet nicht, dass CO₂ keine Wirkung auf das Klima hat. Die Frage ist vielmehr, wie groß sein Einfluss im Zusammenspiel mit all den anderen Faktoren tatsächlich ist und welche politischen Schlussfolgerungen daraus gerechtfertigt sind. Dass mit der Beantwortung dieser Fragen inzwischen gewaltige wirtschaftliche und politische Interessen verbunden sind, sollte dabei ebenfalls nicht ausgeblendet werden. Darauf werde ich später zurückkommen.

Die Sonne – der Motor unseres Klimas

Ohne die Sonne gäbe es auf der Erde kein Leben. Sie liefert nahezu die gesamte Energie, die unser Klimasystem antreibt. Jeder Wind, jede Meeresströmung, jede Verdunstung und jeder Wasserkreislauf sind letztlich Folgen der Sonnenenergie.

Noch bevor die Sonnenstrahlen in die Erdatmosphäre eintreten, treffen im Mittel rund 1.361 Watt Sonnenleistung auf jeden Quadratmeter, der der Sonne direkt zugewandt ist. Erst beim Durchgang durch die Atmosphäre wird ein Teil dieser Energie von Wolken, Wasserdampf und anderen Bestandteilen der Luft reflektiert oder absorbiert, sodass die Erdoberfläche deutlich weniger Sonnenenergie erreicht. 1.361 Watt entsprechen ungefähr

der Leistung eines kräftigen Heizlüfters oder gut 13 100-Watt-Glühlampen – und zwar auf jedem einzelnen Quadratmeter. Ein Teil dieser Energie wird von Wolken, Eisflächen und hellen Oberflächen wieder ins Weltall reflektiert. Der übrige Teil erwärmt Land und Meere, lässt Wasser verdunsten, treibt Winde an und setzt den gesamten Wasserkreislauf in Gang. Nahezu jedes Wetterereignis auf der Erde geht letztlich auf diese Energiequelle zurück.

Strahlung bedeutet zunächst nichts anderes als die Übertragung von Energie. Wärme entsteht, wenn Materie diese Strahlungsenergie aufnimmt und in innere Energie umwandelt.

Dabei strahlt die Sonne keineswegs immer gleich stark. Seit Jahrhunderten beobachten Astronomen Schwankungen der Sonnenaktivität. Bekannt ist beispielsweise der etwa elfjährige Sonnenfleckenzyklus.

Sonnenflecken sind dunklere Bereiche auf der Sonnenoberfläche und gelten als Zeichen einer besonders aktiven Sonne. Obwohl die Flecken selbst etwas kühler sind als ihre Umgebung, entstehen gleichzeitig sehr helle Regionen – sogenannte Fackelgebiete (Faculae) –, die diesen Energieverlust mehr als ausgleichen. Deshalb strahlt die Sonne während solcher Aktivitätsphasen insgesamt sogar etwas mehr Energie ab als in ruhigeren Zeiten.

Darüber hinaus kennt die Sonnenforschung auch wesentlich längere Aktivitätsschwankungen, zum Beispiel das sogenannte Maunder-Minimum zwischen etwa 1645 und 1715. Während dieser Zeit wurden extrem wenige Sonnenflecken beobachtet. Diese Phase fällt zeitlich in den kältesten Abschnitt der Kleinen Eiszeit. Bis heute wird wissenschaftlich untersucht, ob und in welchem Ausmaß die außergewöhnlich geringe Sonnenaktivität zu den damaligen kühleren Temperaturen beigetragen hat.

Außer ihrer Strahlungsleistung verändert sich auch die magnetische

Aktivität der Sonne. Sie erzeugt den sogenannten Sonnenwind – einen ständigen Strom elektrisch geladener Teilchen, der sich von der Sonne aus in alle Richtungen ausbreitet. Gleichzeitig wirkt dieser Sonnenwind wie ein Schutzschild: Je stärker er ist, desto besser schirmt er die Erde gegen einen Teil der kosmischen Strahlung ab – hochenergetische Teilchen, die überwiegend aus den Tiefen unserer Galaxie auf das Sonnensystem treffen und nicht mit der UV-Strahlung der Sonne verwechselt werden dürfen. Ist die Sonne dagegen weniger aktiv, wird dieser Schutzschild schwächer, sodass mehr kosmische Strahlung die Erdatmosphäre erreichen kann.

Einige Wissenschaftler vermuten, dass kosmische Strahlung die Entstehung bestimmter Wolken beeinflussen könnte. Vereinfacht gesagt lautet die Idee: Treffen mehr kosmische Teilchen auf die Atmosphäre, könnten dadurch Bedingungen entstehen, die die Wolkenbildung begünstigen. Diskutiert wird insbesondere ein möglicher Einfluss auf tiefer liegende Wolken. Diese Hypothese wird seit Jahren erforscht und kontrovers diskutiert. Ein wissenschaftlicher Konsens über einen bedeutenden Einfluss auf das Klima besteht bislang nicht. Unabhängig davon zeigt die Diskussion, wie komplex die Wechselwirkungen zwischen Sonne, Atmosphäre und Erde tatsächlich sind.

Die Aktivität der Sonne macht sich zudem auf andere Weise bemerkbar. Besonders starke Sonneneruptionen und Sonnenstürme können Polarlichter hervorrufen sowie Satelliten, Funkverbindungen, Navigationssysteme und Stromnetze beeinträchtigen. Diese Auswirkungen betreffen jedoch in erster Linie moderne technische Infrastrukturen und sind von der Frage langfristiger Klimaveränderungen zu unterscheiden.

Wasser – der wichtigste Klimafaktor

In der öffentlichen Diskussion spielt oftmals der Stoff eine untergeordnete Rolle, der für das Klima von zentraler Bedeutung ist: Wasser.

Wasser begegnet uns in unterschiedlichen Formen — als Wasserdampf in der Atmosphäre, als Wolken und Niederschlag, als Schnee und Eis oder in flüssiger Form in Meeren, Seen und Flüssen. Kaum ein anderer Stoff ist auf der Erde so allgegenwärtig und zugleich für das Klimasystem von so grundlegender Bedeutung.

Wasser beeinflusst das Klimasystem in vielfältiger Weise. Vor allem Wasserdampf kann enorme Energiemengen speichern und Wärme über große Entfernungen transportieren.

Zugleich durchläuft es, angetrieben vor allem durch die Energie der Sonne, einen ständigen Kreislauf aus Verdunstung, Wolkenbildung, Niederschlag und Rückfluss in Flüsse, Seen und Meere. Auf diese Weise werden Wasser und Wärme fortwährend zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre ausgetauscht und über den Planeten verteilt.

Anschaulich wird die Bedeutung dieses Kreislaufs beim Verdunsten und bei der Wolkenbildung. Erwärmt die Sonne Wasser an der Erdoberfläche, verdunstet ein Teil davon und nimmt dabei Wärmeenergie auf. Der Wasserdampf steigt in die Atmosphäre und führt diese Energie über große Entfernungen mit. Kühlt er sich später ab, kondensiert er wieder vom gasförmigen in den flüssigen Zustand und bildet winzige Wassertröpfchen, die sich zu sichtbaren Wolken zusammenlagern können. Bei niedrigen Temperaturen können auch Eiskristalle entstehen. Bei der Kondensation wird ein Teil der zuvor aufgenommenen Energie wieder als Wärme freigesetzt. Ohne diesen ständigen Austausch sähe das Klima unseres Planeten völlig anders aus.

Die Weltmeere bedecken rund 70 Prozent der Erdoberfläche. Sie wirken wie gewaltige Wärmespeicher. Tagsüber nehmen sie große Mengen Sonnenenergie auf und geben sie oft erst Stunden, Tage oder sogar Monate später wieder an die Atmosphäre ab. Dadurch gleichen sie Temperaturunterschiede teilweise aus und beeinflussen das Klima ganzer Kontinente.

Jeder kennt diesen Effekt aus dem Alltag. An einem heißen Sommertag erwärmt sich ein Sandstrand innerhalb kurzer Zeit so stark, dass man kaum barfuß darüber laufen kann. Geht man wenige Schritte weiter ins Wasser, fühlt es sich dagegen deutlich kühler an. Der Grund: Wasser kann wesentlich mehr Wärme aufnehmen als Sand oder Gestein, ohne sich dabei so stark zu erwärmen. Diese Eigenschaft macht die Ozeane zu den größten natürlichen Wärmespeichern unseres Planeten.

Die Ozeane speichern Wärme jedoch nicht nur — sie verteilen sie auch. Gewaltige Meeresströmungen transportieren ständig enorme Energiemengen rund um den Globus.

Besonders bekannt ist der Golfstrom. Vereinfacht gesagt transportiert dieses Strömungssystem warmes Wasser aus dem Bereich des Golfs von Mexiko entlang der nordamerikanischen Ostküste nach Norden und anschließend über den Nordatlantik in Richtung Europa. Auf seinem Weg gibt das Wasser einen Teil seiner gespeicherten Wärme an die Atmosphäre ab. Zusammen mit der atmosphärischen Zirkulation trägt dieser Wärmetransport dazu bei, dass das Klima in West- und Nordwesteuropa wesentlich milder ist, als es aufgrund der geografischen Breite zu erwarten wäre. Städte wie London liegen beispielsweise ungefähr auf derselben geografischen Breite wie Teile Kanadas, dort sind die Winter aber deutlich milder. Dafür sorgen auch der Nordatlantik und seine Strömungen.

Besonders anschaulich wird die Bedeutung der Ozeane beim Blick auf El Niño und La Niña im tropischen Pazifik. Hierbei handelt es sich um natürliche Schwankungen im Zusammenspiel von Ozean und Atmosphäre. Normalerweise treiben beständige Passatwinde warmes Oberflächenwasser von Südamerika in Richtung Indonesien und Australien. Vor der südamerikanischen Küste kann dadurch kälteres Wasser aus tieferen Meeresschichten nach oben steigen. Bei El Niño schwächen sich diese Passatwinde zeitweise ab. Werden die Winde schwächer, wird auch weniger warmes Wasser nach Westen gedrückt. Ein Teil des dort angesammelten warmen Wassers breitet sich wieder nach Osten in Richtung Zentralpazifik und Südamerika aus. Gleichzeitig steigt vor der südamerikanischen Küste weniger kaltes Wasser aus der Tiefe nach oben. Beides zusammen führt dazu, dass sich der zentrale und östliche tropische Pazifik ungewöhnlich stark erwärmen – das typische Kennzeichen eines El-Niño-Ereignisses. Dadurch verändern sich wiederum Luftströmungen, Wolkenbildung und Niederschlagsgebiete.

Diese geografischen Bezeichnungen (Ost und West) mögen zunächst irritieren, weil wir mit dem Begriff „Fernost“ gewöhnlich Asien verbinden.

Ost und West beziehen sich hier jedoch auf den Pazifischen Ozean selbst. Deshalb muss man gegenüber unserer gewohnten Vorstellung beinahe umgekehrt denken: Der Ostpazifik liegt auf der amerikanischen Seite, der Westpazifik auf der asiatisch-australischen Seite.

Die Auswirkungen von El-Niño können Tausende Kilometer entfernt zu spüren sein. Regionen, die normalerweise relativ trocken sind, können plötzlich ungewöhnlich starke Niederschläge erleben, während andernorts Regen ausbleibt und die Gefahr von Dürren steigt. El Niño kann darüber hinaus die globale Durchschnittstemperatur eines Jahres vorübergehend anheben.

La Niña ist gewissermaßen die Gegenphase. Wenn die Passatwinde heftiger als gewöhnlich sind, wird verstärkt warmes Oberflächenwasser nach Westen gedrückt und vor der südamerikanischen Küste steigt mehr kaltes Tiefenwasser auf.

Dadurch wird der tropische Ostpazifik – also vereinfacht gesagt der Teil des Pazifiks vor Mittel- und Südamerika – ungewöhnlich kühl. Auch La Niña verändert Luftströmungen und Niederschlagsmuster auf weiten Teilen der Erde. Während El-Niño-Jahre die globale Durchschnittstemperatur tendenziell etwas anheben, wirken La-Niña-Phasen tendenziell etwas abkühlend.

Man kann sich den tropischen Pazifik deshalb vereinfacht wie eine riesige, langsam hin- und herschwappende Badewanne vorstellen: Verschiebt sich das warme Wasser in die eine oder andere Richtung, verändert sich nicht nur die Temperatur des Wassers vor Ort. Darüber verändert sich die Atmosphäre – und mit ihr können sich Wetter- und Niederschlagsmuster in weit entfernten Regionen verschieben. El-Niño-Jahre und La-Niña-Phasen beeinflussen somit Temperaturen, Niederschläge und Wetterextreme auf nahezu allen Kontinenten.

Auch Wolken spielen eine wichtige Rolle, indem sie sowohl kühlend als auch wärmend wirken. Tagsüber reflektieren sie einen Teil der einfallenden Sonnenstrahlung zurück ins Weltall. Jeder kennt diesen Effekt: Zieht an einem heißen Sommertag eine größere Wolke vor die Sonne, wird es innerhalb kurzer Zeit spürbar kühler. Nachts dagegen nehmen Wolken einen Teil der von der Erdoberfläche abgegebenen Wärmestrahlung auf und strahlen Energie auch wieder in Richtung Erdoberfläche ab. Deshalb kühlt die Temperatur in einer bewölkten Nacht häufig weniger stark ab als in eine sternenklaren. Vereinfacht gesagt können Wolken tagsüber wie ein Sonnenschirm und nachts wie eine Decke wirken.

Welche Wirkung überwiegt, hängt vor allem von Höhe, Dicke und Ausdehnung der Wolken ab. Hohe, dünne Wolken lassen viel Sonnenlicht hindurch, vermindern aber zugleich die Wärmeabgabe ins Weltall und wirken deshalb im Durchschnitt eher erwärmend. Tiefe, dichte Wolken reflektieren dagegen viel Sonnenlicht und wirken meist eher kühlend. Hinzu kommen Tages- und Jahreszeit sowie weitere Eigenschaften der Wolken.

Dieses Zusammenspiel macht Wolken zu einem wichtigen und zugleich komplexen Bestandteil des Klimasystems.

Hinzu kommt, dass Wasserdampf das häufigste natürliche Treibhausgas der Atmosphäre ist. Sein Anteil schwankt jedoch stark und hängt unmittelbar mit Temperatur und Wasserkreislauf zusammen. Je wärmer die Luft ist, desto mehr Wasserdampf kann sie grundsätzlich enthalten. Steigt die Temperatur, kann deshalb – sofern genügend Wasser zur Verdunstung vorhanden ist – auch der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre zunehmen.

Was aber bedeutet eigentlich Treibhauseffekt? Die Sonne erwärmt zunächst die Erdoberfläche. Diese gibt einen Teil der aufgenommenen Energie anschließend als Wärmestrahlung wieder ab. Treibhausgase wie Wasserdampf, Kohlendioxid oder Methan nehmen einen Teil dieser Wärmestrahlung auf und strahlen Energie in verschiedene Richtungen wieder ab – auch zurück in Richtung Erdoberfläche.

Dadurch bleibt die untere Atmosphäre wärmer als ohne diese Gase. Der natürliche Treibhauseffekt ist also eine Voraussetzung für das Leben auf der Erde und nichts Bedrohliches, wie er oft dargestellt wird. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt wäre die Erde erheblich kälter. Auf den Treibhauseffekt komme ich in einem späteren Kapitel noch einmal zurück.

Zudem kommt eine sogenannte Rückkopplung ins Spiel. Das bedeutet: Eine Veränderung löst eine weitere Veränderung aus, die wiederum auf die ursprüngliche Entwicklung zurückwirkt. Erwärmt sich die Atmosphäre beispielsweise zunächst durch eine stärkere Sonneneinstrahlung, veränderte Meeresströmungen oder einen anderen Einflussfaktor, kann mehr Wasser verdunsten und mehr Wasserdampf in die Luft gelangen. Da Wasserdampf selbst als Treibhausgas wirkt, kann dies die ursprüngliche Erwärmung zusätzlich verstärken. Wissenschaftler sprechen in diesem Fall von einer positiven Rückkopplung.

Doch damit endet die Kette nicht. Mehr Wasserdampf kann zugleich die Wolkenbildung beeinflussen – und Wolken können, wie bereits beschrieben, je nach Art, Höhe und Situation sowohl kühlend als auch erwärmend wirken. Dieses Zusammenspiel zeigt, wie eng Wasserdampf, Temperatur, Wolken und Strahlung miteinander verbunden sind.

Vulkane – natürliche Eingriffe in das Klimasystem

Auch Vulkane beeinflussen das Klima.

Große Vulkanausbrüche schleudern Asche sowie enorme Mengen an Schwefeldioxid bis in die Stratosphäre. Dort verbinden sich die Schwefelgase mit Wasserdampf zu feinsten Aerosolen, die einen Teil der Sonneneinstrahlung zurück ins Weltall reflektieren. Dadurch gelangt vorübergehend weniger Sonnenenergie auf die Erdoberfläche – die Folge sind zeitweise kühlere Temperaturen.

Man kann sich diese Aerosole wie einen hauchdünnen Schleier vorstellen, der sich um die Erde legt. Er ist für das menschliche Auge kaum sichtbar, wirkt aber ähnlich wie ein leicht getöntes

Sonnenschutzglas: Ein Teil des Sonnenlichts wird reflektiert, sodass sich die Erdoberfläche vorübergehend weniger stark erwärmt. Je größer der Ausbruch, desto stärker kann dieser Effekt ausfallen.

Der Ausbruch des Tambora, eines Vulkans auf der indonesischen Insel Sumbawa, im Jahr 1815 ist eines der eindrucksvollsten Beispiele. Das darauf folgende Jahr 1816 ging als „Jahr ohne Sommer“ in die Geschichte ein. In Teilen Europas und Nordamerikas kam es selbst in den Sommermonaten zu Frost und Schneefall. Ernten brachen ein, Hungersnöte breiteten sich aus, und zahlreiche Menschen verließen ihre Heimat.

Auch der Ausbruch des Pinatubo auf den Philippinen im Jahr 1991 zeigte, welche Auswirkungen ein einzelnes Naturereignis auf das globale Klima haben kann. Rund 20 Millionen Tonnen Schwefeldioxid gelangten bis in die Stratosphäre und bildeten dort einen feinen Aerosolschleier, der einen Teil der Sonneneinstrahlung zurück ins All reflektierte. In den folgenden ein bis zwei Jahren sank die globale Durchschnittstemperatur zeitweise um etwa 0,5 °C. Erst nachdem sich die Aerosole allmählich wieder aus der Atmosphäre abgebaut hatten, verschwand dieser kühlende Effekt.

Vulkane setzen selbstverständlich auch Kohlendioxid frei. Nach dem heutigen Stand der Forschung stoßen alle aktiven Vulkane der Erde zusammen jährlich etwa 0,13 bis 0,44 Gigatonnen CO₂ aus. Die weltweiten menschlichen Emissionen liegen dagegen heute bei rund 40 Gigatonnen CO₂ pro Jahr und sind damit um ein Vielfaches höher. Für den kurzfristigen Einfluss großer Vulkanausbrüche auf das Klima sind deshalb die gewaltigen Mengen an Schwefeldioxid und Aerosolen, die das Sonnenlicht vorübergehend abschirmen, entscheidend und nicht das CO₂.

Der Blick auf große Vulkanausbrüche verdeutlicht, wie dynamisch das Klimasystem sein kann. Selbst einzelne Naturereignisse können das globale Klima für Monate

oder Jahre messbar beeinflussen — ganz ohne menschliches Zutun.

Die langsamen Taktgeber des Klimas

Neben kurzfristigen Einflüssen existieren auch Veränderungen, die sich über Jahrtausende oder sogar Hunderttausende von Jahren vollziehen.

Der serbische Mathematiker und Geophysiker Milutin Milanković beschrieb im frühen 20. Jahrhundert, dass sich die Erdbahn um die Sonne, die Neigung der Erdachse und die langsame, kreiselartige Taumelbewegung der Erdachse im Laufe der Zeit verändern. Diese Veränderungen vollziehen sich über Zeiträume von rund 26.000, 41.000 oder sogar 100.000 Jahren. Die sogenannten Milanković-Zyklen beeinflussen die Verteilung der Sonneneinstrahlung auf der Erde und gelten als einer der wichtigsten natürlichen Auslöser für den Wechsel zwischen Eiszeiten und Warmzeiten.

Man kann sich die Erde dabei wie einen Kreisel vorstellen. Ein Kreisel dreht sich nicht nur um seine eigene Achse, sondern beginnt mit der Zeit, auch leicht zu taumeln. Ähnlich verhält es sich mit der Erde. Ihre Achse verändert ihre Ausrichtung ganz langsam, ihre Neigung schwankt geringfügig, und auch die Form ihrer Umlaufbahn um die Sonne verändert sich im Laufe sehr langer Zeiträume. Keine dieser Veränderungen ist für den Menschen im Alltag wahrnehmbar. Über Zehntausende von Jahren können sie jedoch dazu führen, dass einzelne Regionen der Erde unterschiedlich viel Sonnenenergie erhalten.

Erhalten die nördlichen Regionen der Erde über viele Jahrtausende hinweg etwas weniger Sonneneinstrahlung während des Sommers, schmilzt der im Winter gefallene Schnee nicht mehr vollständig ab.

Aus den liegen gebliebenen Schneemassen entstehen nach und nach Gletscher und schließlich mächtige Eisschilde. Umgekehrt führt eine stärkere sommerliche Sonneneinstrahlung dazu, dass große Eismassen allmählich abschmelzen und wärmere Klimaphasen begünstigt werden.

Die Milanković-Zyklen wirken also wie ein extrem langsam arbeitendes Stellrad des Klimas. Über Zehntausende von Jahren kann diese langsame Veränderung das Leben auf unserem Planeten grundlegend verändern. Wer nur kurze Zeiträume betrachtet, läuft Gefahr, langfristige Zusammenhänge zu übersehen.

An dieser Stelle wird deutlich, weshalb Klimaforschung außerordentlich anspruchsvoll ist. Verändert sich ein Faktor, kann dies zahlreiche weitere Prozesse beeinflussen.

Klimamodelle – hilfreiche Werkzeuge, aber keine Kristallkugeln

Wenn niemand die Zukunft kennt, wie können Wissenschaftler dann Aussagen darüber treffen, wie sich das Klima in 50 oder 100 Jahren entwickeln könnte?

Mithilfe von Klimamodellen.

Ein Klimamodell ist kein Blick in die Zukunft und erst recht keine Kristallkugel. Es handelt sich um ein mathematisches Rechenmodell, mit dem die Forscher versuchen, die bekannten physikalischen Prozesse des Klimas möglichst realitätsnah nachzubilden.

Dazu werden riesige Datenmengen verarbeitet und die wichtigsten Einflussgrößen des Klimas – etwa Sonne, Atmosphäre, Ozeane,

Wasserkreislauf, Meeresströmungen oder Treibhausgase – miteinander verknüpft.

Man kann ein Klimamodell mit einem riesigen Flugsimulator vergleichen. Ein Pilot trainiert darin gefährliche Situationen, ohne tatsächlichen Flugzeugabsturz. Der Simulator berechnet auf Grundlage physikalischer Gesetze, wie sich das Flugzeug unter bestimmten Bedingungen wahrscheinlich verhalten wird. Keiner kann jedoch behaupten, der Simulator könne den nächsten echten Flug bis auf die letzte Windböe exakt vorhersagen. Ebenso verhält es sich mit Klimamodellen. Sie helfen, mögliche Entwicklungen zu simulieren, ersetzen aber nicht die Wirklichkeit.

Für ein solches Modell müssen zahlreiche Annahmen getroffen werden. Nicht jeder Prozess des Klimas lässt sich vollständig erfassen. Manche Größen sind gut bekannt, andere müssen geschätzt werden. Außerdem weiß heute niemand mit Sicherheit, wie sich die Welt in den kommenden Jahrzehnten entwickeln wird. Wie viele Menschen werden im Jahr 2100 auf der Erde leben? Welche Energieträger werden sie nutzen? Welche technischen Innovationen wird es geben? Wie entwickeln sich Wirtschaft, Wohlstand oder politische Entscheidungen? Für all diese Fragen müssen Annahmen getroffen werden, die die Ergebnisse der Modelle beeinflussen. Deshalb liefern Klimamodelle nur mögliche Szenarien. Ein Szenario beschreibt vielmehr, was eintreten könnte, wenn bestimmte Annahmen zutreffen. Ändern sich diese Annahmen, verändern sich auch die Ergebnisse.

Demzufolge verwenden Klimaforscher mehrere Modelle und verschiedene Szenarien. Sie berechnen unterschiedliche mögliche Entwicklungen und vergleichen anschließend die Ergebnisse miteinander. Daraus lassen sich Wahrscheinlichkeiten ableiten – keine Gewissheiten.

Seriöse Wissenschaftler vergleichen ihre Berechnungen fortlaufend

mit tatsächlichen Messdaten. Wo stimmen Modell und Wirklichkeit überein? Wo weichen sie voneinander ab? Welche Annahmen müssen verbessert werden?

Unseriös wird Wissenschaft dagegen, wenn das gewünschte Ergebnis bereits feststeht und Modelle, Annahmen oder Theorien anschließend nur noch dazu dienen, politische Entscheidungen wissenschaftlich zu legitimieren. Forschung darf nicht zur nachträglichen Rechtfertigung politischer Vorgaben – siehe die „Wissenschaft“ in Coronazeiten – verkommen. Gerade deshalb lohnt sich immer auch die Frage: Wer finanziert welche Forschung – und mit welchen Interessen? Dieser Spur des Geldes werde ich später noch genauer folgen.

Zwischenfazit

Das Klima der Erde wird von einer Vielzahl natürlicher Prozesse beeinflusst. Sonne, Wasser, Ozeane, Meeresströmungen, Vulkane und langfristige astronomische Zyklen wirken gleichzeitig auf das Klimasystem ein. Hinzu kommen Wechselwirkungen, Rückkopplungen und Unsicherheiten, die eine exakte Vorhersage erschweren.

Wer diese Komplexität kennt, wird vorsichtig gegenüber einfachen Erklärungen. Ein System, das von so vielen Faktoren beeinflusst wird, lässt sich kaum auf eine einzige Ursache reduzieren.

Im nächsten Kapitel geht es um den Stoff, der die Klimadebatte wie kein anderer geprägt hat: Kohlendioxid. Ich gehe darin der Frage nach, welche Rolle CO₂ im Klimasystem tatsächlich spielt, was wissenschaftlich gut belegt ist und wo bis heute kontrovers diskutiert wird. Erst auf dieser Grundlage lässt sich aus meiner Sicht der behauptete Einfluss des Menschen auf das Klima sachgerecht

beurteilen.



Uwe Froschauer hat an der Ludwig-Maximilians-Universität München Betriebswirtschaft studiert und abgeschlossen. Sein besonderes Interesse galt der Wirtschaftspsychologie. Er arbeitete als Unternehmensberater, gibt Seminare bei Berufsbildungsträgern, ist Autor mehrerer Bücher und betreibt den Blog **wassersaenge.com** (<https://wassersaenge.com/>). Seine Leidenschaft für weltweite Reisen machte ihn sensibel für Kulturen und Probleme anderer Völker. Er ist naturverbunden und liebt Tiere und Pflanzen.