

Die Klima-Versteher

Computermodelle und weltweite
Messreihen berechnen Klima der Zukunft.



Wetterballons liefern den Klimaforschern Daten über die Zusammensetzung der Erdatmosphäre.

Leistungsfähige Rechner sind nötig, um die komplexen Wetter- und Klimadaten zu erfassen und zu verarbeiten. Ein Beispiel dafür ist der Supercomputer des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Offenbach.



Globale Klimamodelle lassen in den nächsten Jahrzehnten eine deutliche Erwärmung der Erde erwarten. Aber wie kommen diese Modelle zustande? Und wie exakt sind die Vorhersagen?

Eines ist sicher: vor ungemütlichen Expeditionen dürfen Klimaforscher nicht zurückschrecken. Ob in der antarktischen Eiswüste, der Steppe Patagoniens oder den Tiefen des Ozeans – an den entlegensten Orten der Welt suchen die Wissenschaftler nach Zeugen vergangener Klimaschwankungen. Denn aus den Spuren des Wetters von gestern wollen sie das Klima von morgen berechnen. Dazu sammeln sie Millionen von Daten und entwickeln umfassende Klimamodelle. Ihr Ziel dabei ist, das komplizierte System Erde so exakt wie möglich in mathematischen Formeln zu beschreiben. Leistungsfähige Supercomputer rechnen mit diesen Formeln tagelang an der Aufgabe, wie sich das Klima in den nächsten Jahrzehnten unter dem Einfluss des Menschen verändern könnte. Denn dass das Klima der Erde ständig zwischen Kalt- und Warmzeiten schwankt, ist lange bekannt. Die Frage ist jedoch, wie stark der Mensch in das Weltklima eingreift.

Dieser Frage nachzugehen, dazu besteht aller Grund. Die tatsächlich gemessene Fieberkurve der Erde steigt seit etwa 1950 an. Zehn der zwölf wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnung der Erdoberflächentemperatur im Jahr 1850 entfallen auf den Zeitraum 1995 bis 2006. Insgesamt ist das globale Mittel der bodennahen Lufttemperatur in den letzten hundert Jahren um $0,74^{\circ}$ Celsius gestiegen. Auch die Zusammensetzung der Erdatmosphäre hat sich bereits

erheblich verändert. Dabei brauchen wir die schützende Hülle aus Gasen und Wasserdampf. Ohne sie wäre die Erde unter einem dicken Eispanzer begraben. „Die mittlere globale Lufttemperatur in Bodennähe würde Berechnungen zufolge etwa -18° Celsius betragen statt heutigen $+15^{\circ}$ Celsius“, erläutert Klimaforscher Joachim Namyslo vom Deutschen Wetterdienst (DWD).

Ändert sich die Zusammensetzung der Atmosphäre, hat dies Einfluss auf ihre Fähigkeit, die Sonneneinstrahlung einzufangen und in Wärme umzuwandeln. Messungen belegen, dass die Konzentration von Kohlendioxid (CO_2) in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung um rund ein Drittel zugenommen hat. Aber auch der Anteil von Lachgas in der Atmosphäre hat sich deutlich erhöht, der von Methan sogar mehr als verdoppelt. Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderung (IPCC) der UNO führt den Anstieg der CO_2 -Konzentration vor allem auf die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Gas und Kohle zurück. Bei Methan und Lachgas gilt die Landwirtschaft als einer der größten Emittenten.

Blick in die Vergangenheit

Damit die Klimaforscher mit einiger Sicherheit Aussagen über künftige Klimaverschiebungen treffen können, schauen sie zunächst weit in den erdgeschichtlichen Rückspiegel. So brachten deutsche Klimaexperten eigens ein kleines Forschungsschiff auf den Laguna Potrok Aike, einen Kratersee in der Steppe Patagoniens. Das Boot wurde zu einer Bohrplattform umgebaut. Aus dem bis zu 100 Meter tiefen See förderten die Wissenschaftler ein 19 Meter langes Sedimentprofil zutage.

Aus den fein geschichteten Ablagen aus Pollen, Algen und Fossilien konnten sie Teile der Klimageschichte auf der Südhalbkugel rekonstruieren, die tausende von Jahren zurückliegen. In der Westantarktis beteiligte sich das Alfred-Wegener-Institut an internationalen Bohrungen unter dem Schelfeis. Eine Forschergruppe um Dr. Frank Niessen und Dr. Gerhard Kuhn konnte mit Hilfe der im Sediment gefundenen Mikroorganismen auf den Klimaverlauf in den vergangenen fünf Millionen Jahren schließen. Die Untersuchungen ergaben unter anderem, dass die Eiskappe der Westantarktis vor drei bis fünf Millionen Jahren wiederholt vollständig abgeschmolzen war. Wo heute eine 80 Meter dicke Eisschicht schwimmt, war einmal offener Ozean. „Das Brisante daran ist, dass das westantarktische Eis sich besonders in den

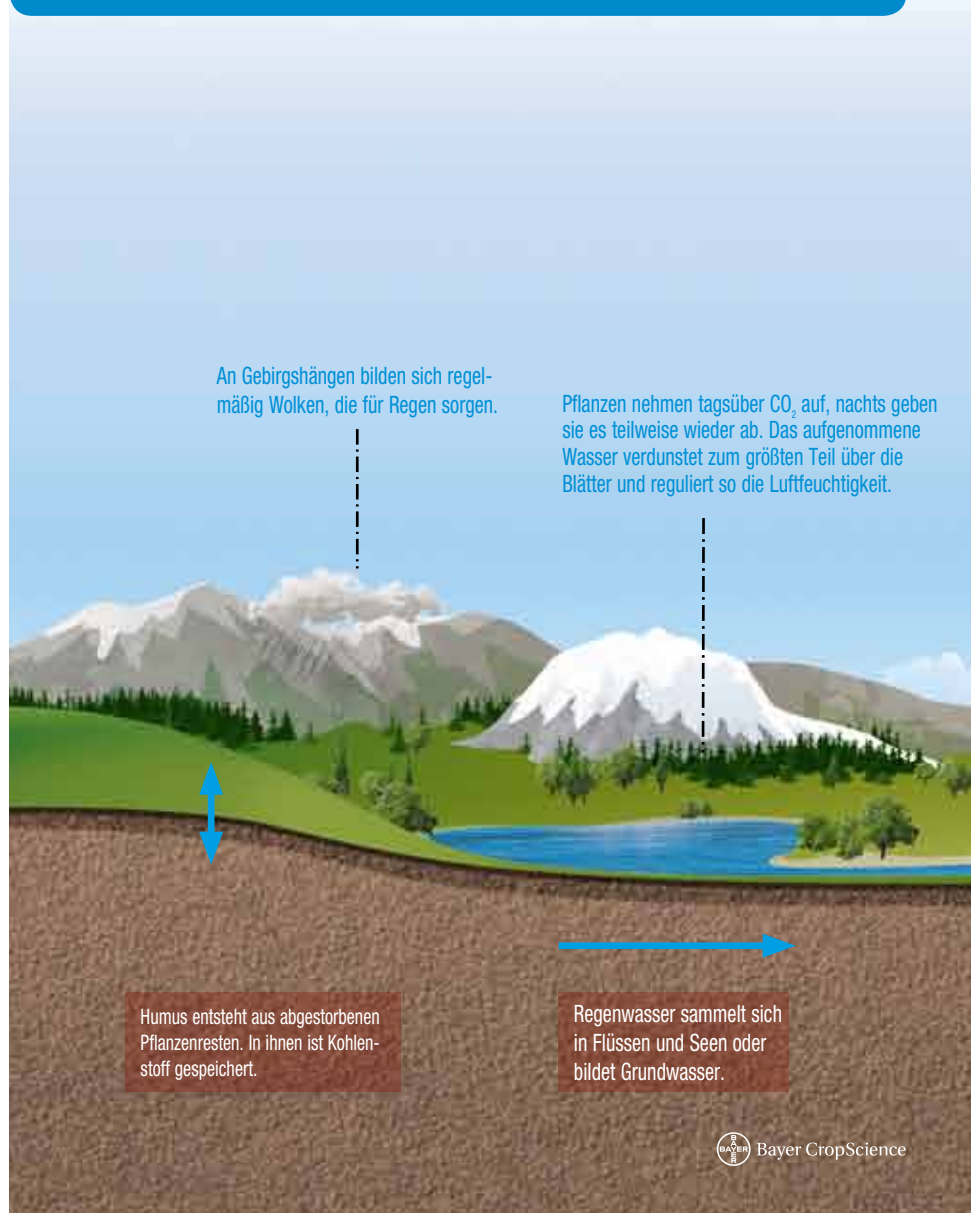
Zeiten zurückgezogen hatte, in der es auf der Erde etwa 3° Celsius wärmer war als heute, bei einem höheren CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre“, erläutert Dr. Niessen. Falls die Eiskappe erneut abschmilzt, könnte der Meeresspiegel weltweit um fünf bis sieben Meter steigen.

Weitere ergiebige Klimaarchive für die Forscher sind Korallenriffe und Tropfsteinhöhlen. Auf den Klimaverlauf in jüngerer Zeit lässt sich aus den Jahresringen von Bäumen und zeitgenössischen Schilderungen schließen. Aktuelle Daten werden mit Wetterballons und Satelliten gesammelt. Viel Mühe wird derzeit darauf verwandt, die großen Meeresströmungen besser zu verstehen. Dazu wurden spezielle Bojen konstruiert. Sie treiben in großer Tiefe mit den Strömungen durch die Ozeane und messen Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit. In regelmäßigen Abständen steigen die Bojen an die Wasseroberfläche und funken ihre Messergebnisse zu den Forschungsstationen.

Diese vielfältigen Einzeldaten setzen die Klimawissenschaftler wie Mosaiksteine zu einem möglichst vollständigen Abbild des globalen Klimas in den letzten Millionen von Jahren zusammen. Extreme Ereignisse wie zum Beispiel Vulkanausbrüche oder der Einschlag eines Meteoriten helfen, die Datenreihen zu synchronisieren.

Um die Datenflut zu beherrschen, zerlegen die Wissenschaftler die Erde gedanklich in mehrere Systeme und Untersysteme, etwa die Land- und Eismassen, die Ozeane und die Atmosphäre. Außerdem wird der gesamte Globus gleichmäßig in kleine Würfel eingeteilt. Dabei wird heutzutage meistens mit einem Raster von etwa 200 Kilometern Länge und einer Höhe von 1.000 Metern gearbeitet. Für jeden dieser Würfel, von der Tiefsee bis zu den obersten Luftschichten, wird der Klimaverlauf durch mathematische Gleichungen beschrieben. Dazu müssen die Luft- und Wassertemperatur, Meeresströmungen, Wind, Niederschlag, Pflanzenwachstum und viele wei-

Wie das Klima entsteht



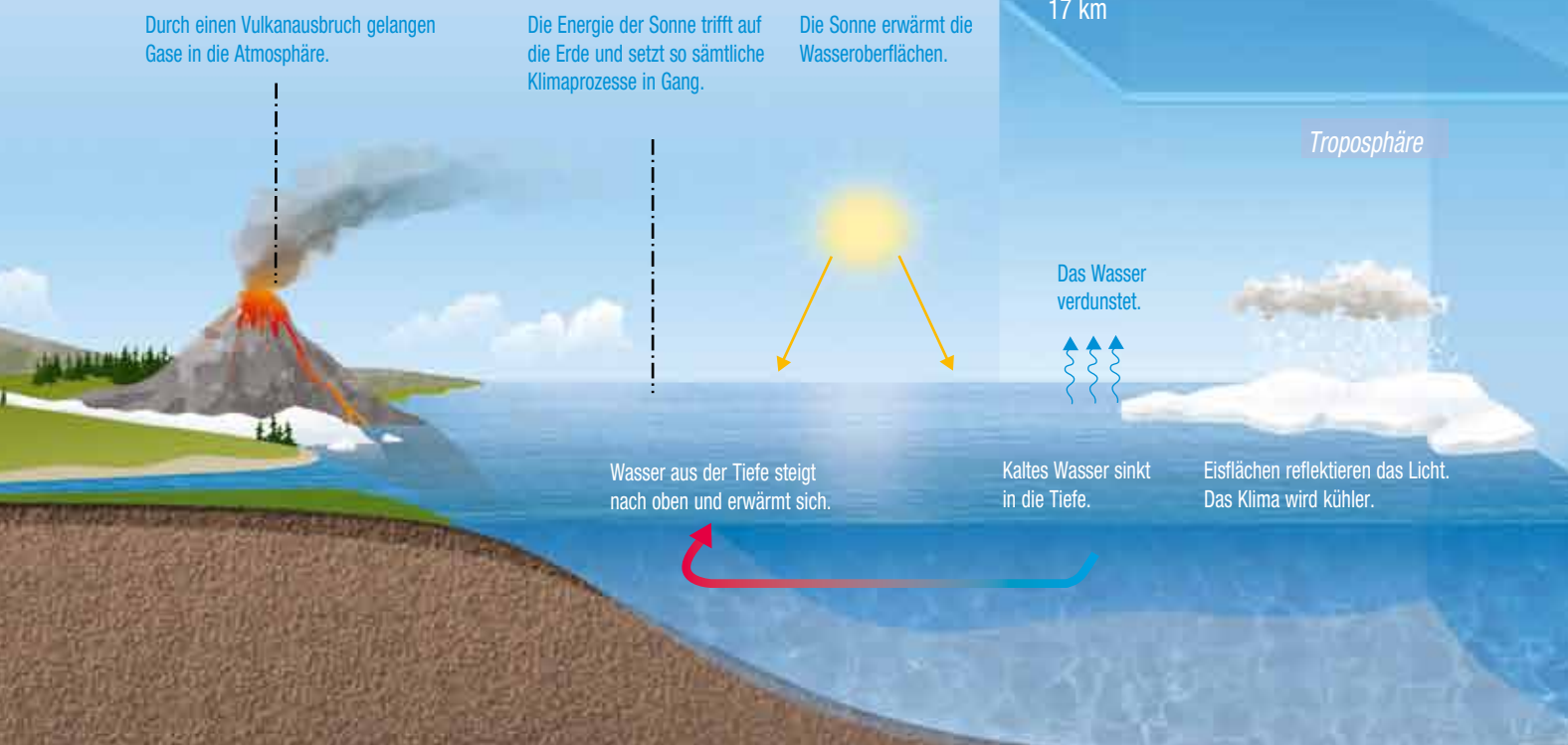
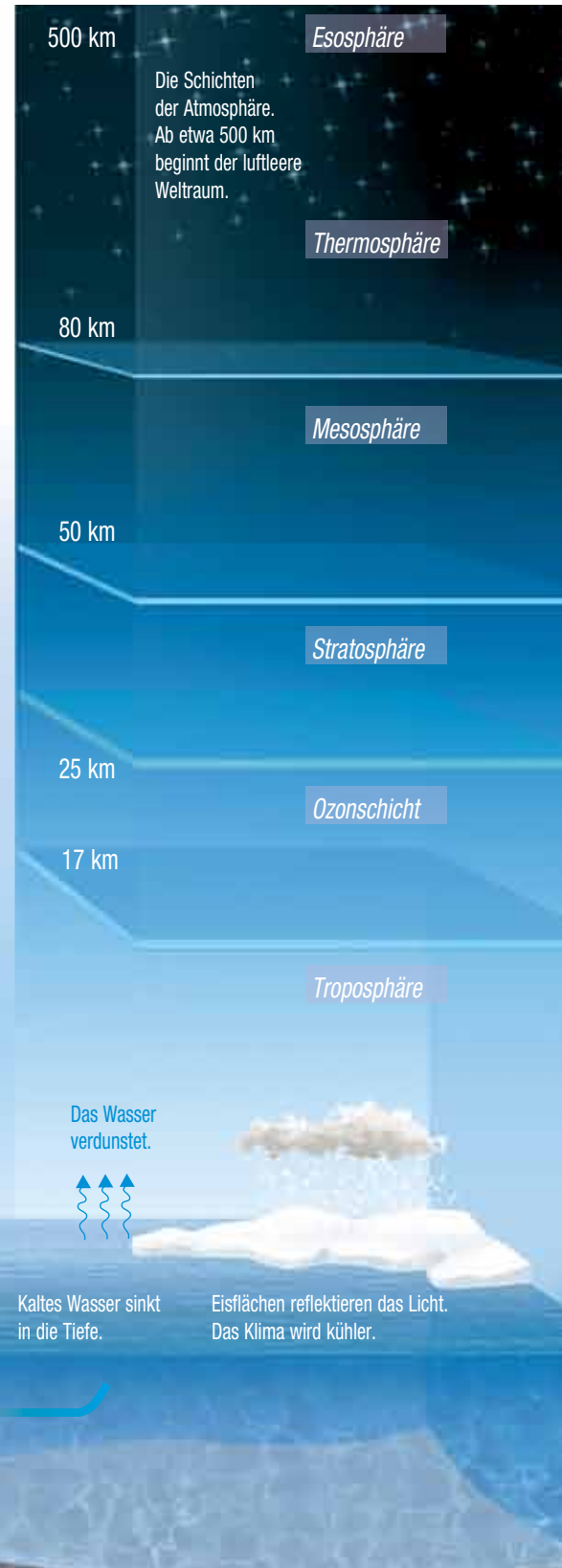
Mit BayDir Wetter Aktuell bietet Bayer CropScience Deutschland der Landwirtschaft eine genaue regionale Wettervorhersage. Dieser Service wird kostenlos und aktuell im Netz, per Fax oder per E-Mail angeboten. Die Wetterprognosen werden von den Bayer-Vertriebsberatern – also den Kollegen vor Ort – mit regionalen Hinweisen zum Pflanzenschutz tagesaktuell ergänzt (Anmeldung: www.bayer-cropscience.de, Rubrik: Expertentools).

tere Elemente in Formeln miteinander verknüpft werden. Dass sich all diese Faktoren gegenseitig beeinflussen und rückkoppeln, macht die Modellierung umso komplizierter. Für die Berechnung sind daher sehr leistungsfähige Rechner notwendig. Je exakter und umfassender das Modell, desto größer ist die benötigte Computerkapazität.

Was wäre, wenn...

Mehr als 20 globale Klimamodelle haben Wissenschaftler aus der ganzen Welt in den vergangenen Jahren entwickelt. Bevor sie damit jedoch unterschiedliche Zukunftsszenarien berechnen, testen sie die Systeme auf ihre Zuverlässigkeit. Dazu vergleichen sie Rechenergebnisse für vergangene Zeiträume mit vorliegenden historischen Wetterdaten als Referenz. So wird erkennbar, wie präzise ein Modell die Wirklichkeit abbildet. Bei zu großen Abweichungen werden die Gleichungen nachjustiert. Erst wenn die Ergebnisse der Simulationsrechnungen der Wirklichkeit nahe genug kommen, ist es an der Zeit, einen Blick in die Zukunft zu werfen. Der Laie spricht dabei gern von Klimaprognosen. Der Begriff ist jedoch irreführend. Um beispielsweise die globale Erdtemperatur in den nächsten 50 Jahren zu berechnen, müssen die Wissenschaftler das Modell zunächst mit bestimmten Annahmen füttern.

So wird vorgegeben, wie sich der CO₂-Gehalt der Atmosphäre entwickeln, wie schnell die Erdbevölkerung zunehmen oder wie stark das globale Wirtschaftswachstum ausfallen werden. Auf der Grundlage dieser Annahmen kalkulieren die Modelle dann den künftigen Klimaverlauf. Wissenschaftler sprechen daher bevorzugt von Szenarien und Projektionen, aber nicht von Prognosen. Werden die Startbedingungen nämlich verändert, ergeben sich andere Resultate.



So weist der 4. IPCC-Sachstandsbericht je nach Emissionsszenario bis zum Ende des 21. Jahrhunderts eine mittlere globale Erwärmung von 1,8° Celsius bis 4,0° Celsius aus. Das ist eine erhebliche Bandbreite. Mit einem globalen Klimamodell lässt sich also in etwa vorausberechnen, welchen Einfluss eine Verringerung des Ausstoßes von CO₂, Methan und anderen Treibhausgasen durch menschliche Aktivitäten auf den Temperaturverlauf der Erde hätte. Über die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Klimaprojektion ist damit aber keine Aussage verbunden. Sie hängt vom Eintreten der Ausgangsvoraussetzungen ab. Angesichts der unbestreitbar messbaren Erderwärmung in den vergangenen 60 Jahren können die Modelle aber dennoch wertvolle Informationen für politische Entscheidungen liefern. Sie simulieren das Weltklima nach dem Prinzip „Was wäre wenn...“

Globales, regionales und lokales Klima

Aufgrund ihres relativ groben Rasters von 200 km lassen globale Klimamodelle allerdings keine Aussagen über die regionalen oder gar lokalen Auswirkungen einer Erderwärmung zu. Für diesen Zweck werden regionale und lokale Modelle benötigt. Sie bilden ein bestimmtes Gebiet wesentlich kleinräumiger ab. Für Deutschland wurden die vier regionalen Klimamodelle CLM, REMO, WETTREG und STAR erstellt. Mit

ihrer Hilfe kann simuliert werden, wie sich eine globale Erwärmung beispielsweise auf die Niederschlagsverteilung in Ostdeutschland oder die Schneebedeckung in den Alpen auswirkt. Lokale Modelle wiederum brechen die Szenarien noch weiter herunter bis auf Flächen von 1 km². Sie können somit die Anpassung der Landwirtschaft an lokal veränderte Niederschlagsmuster oder Temperaturverschiebungen unterstützen. Der DWD betreibt dazu das agrarmeteorologische Beratungssystem AMBER. Detaillierte Ergebnisse will der Wetterdienst im kommenden Jahr vorlegen. Eines ist allerdings zu berücksichtigen: Lokale Klimamodelle sind auf Vorgaben aus regionalen Modellen und diese wiederum auf Resultate aus globalen Modellen angewiesen. Um die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung in der Köln-Aachener-Bucht im Jahr 2100 zu berechnen, muss das lokale Modell mit Randbedingungen aus übergeordneten Modellen rechnen. Somit werden also bis zu drei Simulationsebenen hintereinander geschaltet. Das erhöht den Grad der Unsicherheit.

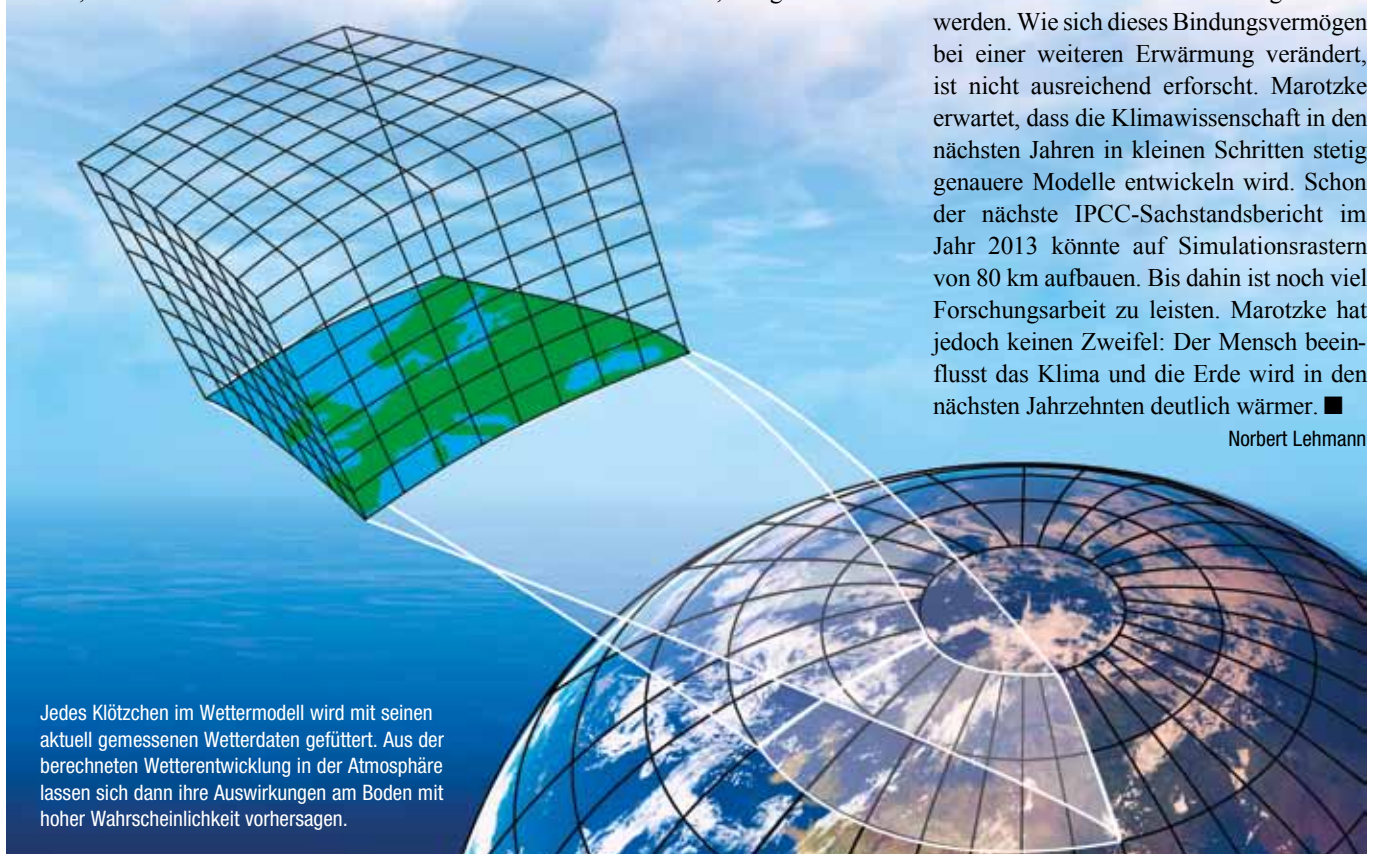
Sind Klimamodelle überhaupt vertrauenswürdig?

„Es gibt noch erhebliche Unsicherheiten, aber in einer Sache sind wir uns ganz sicher: es wird in den nächsten Jahrzehnten eine deutliche Erderwärmung geben“, sagt Professor Jochem Marotzke, der geschäftsfüh-

rende Direktor des Max-Planck Instituts für Meteorologie (MPI-M). An dem Hamburger Institut wurde das globale Klimamodell ECHAM5 entwickelt. Dieses gekoppelte Atmosphären-Ozean-Modell gilt als eines der besten weltweit. ECHAM5-Simulationen flossen auch in den 4. IPCC-Sachstandsbericht ein. Marotzke ist überzeugt, dass die Wissenschaft die Prozesse der Erderwärmung verstanden hat und im Modell grundsätzlich zutreffend nachbilden kann. „Die größten Schwächen der heutigen Modelle liegen in der Darstellung der Wolkenbildung und des Wärmehaushalts der Ozeane“, erläutert der Klimaexperte.

In einer wärmeren Luft bilden sich mehr Wolken, die tagsüber einen kühlenden, nachts jedoch einen wärmenden Effekt haben. Wolken können den Treibhauseffekt also lindern, aber auch verstärken. Die Veränderung der Wolkenbedeckung zeitlich und räumlich richtig zu erfassen, bereitet den Forschern noch Probleme. Und auch über den Wärmehaushalt und die CO₂-Bindung der Ozeane ist zu wenig bekannt. Das ist ein großes Manko. Stellt man sich das Klimasystem als eine Reihe schwingender Pendel vor, sind die Ozeane aufgrund ihrer riesigen Wassermasse zwar sehr träge Pendel. Sind sie jedoch einmal in Bewegung versetzt, übertragen sie die alles entscheidenden Impulse an die empfindlicheren Elemente des Systems. Marotzke schätzt, dass bisher etwa ein Drittel bis zur Hälfte der CO₂-Emissionen in den Weltmeeren gebunden werden. Wie sich dieses Bindungsvermögen bei einer weiteren Erwärmung verändert, ist nicht ausreichend erforscht. Marotzke erwartet, dass die Klimawissenschaft in den nächsten Jahren in kleinen Schritten stetig genauere Modelle entwickeln wird. Schon der nächste IPCC-Sachstandsbericht im Jahr 2013 könnte auf Simulationsrastern von 80 km aufbauen. Bis dahin ist noch viel Forschungsarbeit zu leisten. Marotzke hat jedoch keinen Zweifel: Der Mensch beeinflusst das Klima und die Erde wird in den nächsten Jahrzehnten deutlich wärmer. ■

Norbert Lehmann



Jedes Klötzchen im Wettermodell wird mit seinen aktuell gemessenen Wetterdaten gefüttert. Aus der berechneten Wetterentwicklung in der Atmosphäre lassen sich dann ihre Auswirkungen am Boden mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhersagen.

Integrierte Maßnahmen für mehr Klimaschutz

Broschüre mit Lösungsbeiträgen für Gebäude, Landwirtschaft und Produktion



Kompakte und anschauliche Informationen zum Klimawandel vermittelt eine neue Broschüre der Bayer AG. Sie stellt neben den Herausforderungen des Klimawandels auch Lösungsansätze für mehr Klimaschutz vor, die Bayer insbesondere in den Bereichen Gebäude, Landwirtschaft und industrielle Produktion verfolgt.

Drei Kapitel dieser Broschüre widmen sich der Entstehung des Klimas, den Ursachen des Klimawandels sowie der internationalen Klimapolitik. Anschließend werden der integrierte Ansatz des Bayer-Klimaprogramms und so genannte „Leuchtturmprojekte“ erläutert. So ist das „EcoCommercial Building“ ein auf die verschiedenen Klimazonen der Erde anpassbares Konzept für Geschäftsgebäude mit Null-Emissionen. Das erste Gebäude dieser Art in Europa entsteht auf dem Bayer CropScience-Gelände in Monheim und soll im November 2009 fertig gestellt sein: eine betriebliche Kindertagesstätte, die etwa 60 Kindern Platz bietet.

Im Rahmen des Klimaprogramms arbeitet Bayer CropScience auch an der Entwicklung von stressresistenten Pflanzen, die gegen Faktoren wie Hitze, Dürre, Kälte und salzige

Böden widerstandsfähig sind – gegen Faktoren, die der Klimawandel zu verstärken droht.

Der „Bayer Climate Check“ ist das von Bayer neu entwickelte Instrument zur Treibhausgas-Reduktion in der industriellen Produktion. Das vom TÜV zertifizierte Mess- und Steuerungsinstrument bezieht auch die Rohstoffe, die Logistik und den Energieeinsatz in die Betrachtung mit ein und identifiziert Potenziale für die Einsparung von Treibhausgas-Emissionen.

Eine Foto-Reportage über Kinder aus aller Welt rundet die Inhalte der Broschüre ab. Im Rahmen eines internationalen Malwettbewerbs, den Bayer gemeinsam mit dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) veranstaltete, entstanden Bilder mit eindringlichen Botschaften zum Thema „Klimawandel“. Einige der prämierten Kinderbilder-Motive sind in Form von Postkarten der Broschüre beigelegt.

Die Bayer-Klimabroschüre ist telefonisch bestellbar unter 0214 / 30-57546, per Fax unter 0214 / 30-57547 oder per E-Mail unter serviceline@bayer-ag.de. Als Download steht sie im Internet zur Verfügung unter: www.klima.bayer.de