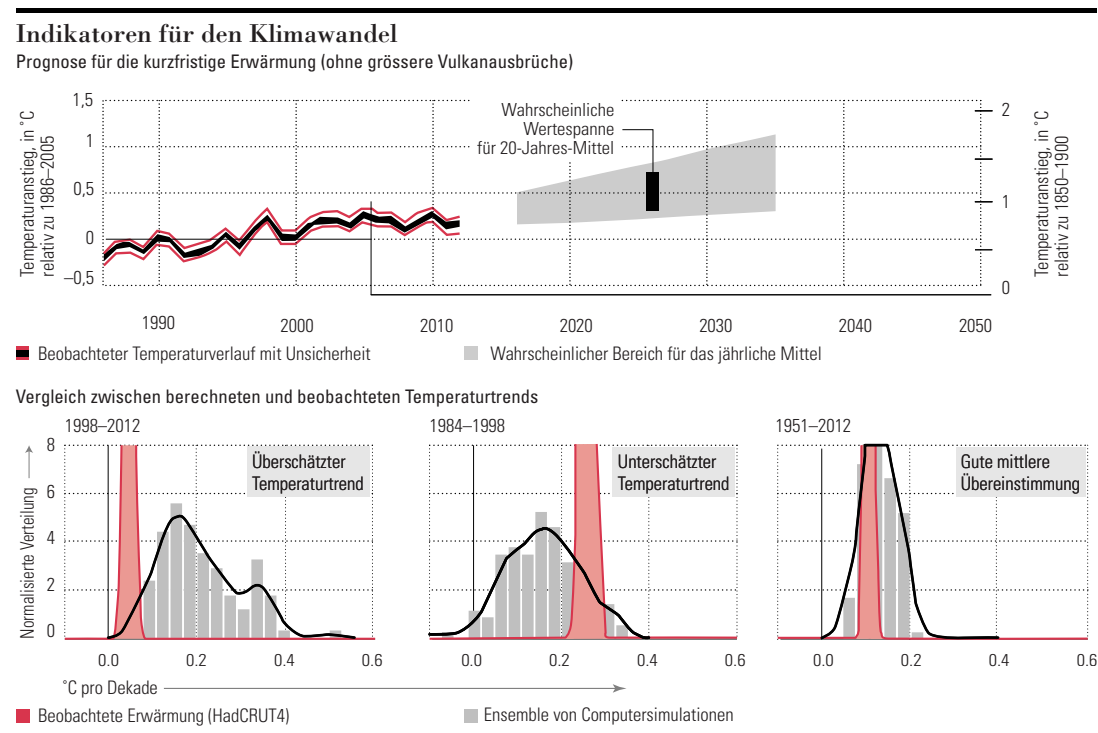
Neue Zürcher Zeitung

Zweiter Anlauf für die Borreliose-Impfung *Seite 58*
Curiosity – keine Lebensspuren auf dem Mars *Seite 58*
Kohlenstoff-Nanotubes: der erste Röhrchen-Rechner *Seite 59*
Gegen den Volumenverlust bei Fett-Transplantationen *Seite 59*

Auch Megacitys wie New York sind vom Anstieg des Meeresspiegels betroffen. GARY HE / REUTERS



QUELLE: IPCC NZZ-INFOGRAFIK / lea.

Das Klima bis zum Jahr 2035

Der Weltklimarat IPCC wagt sich erstmals an kurzfristige Projektionen heran

Am Montag ist der komplette erste Teil des Uno-Klimaberichts erschienen. Erstmals ist dort ein ganzes Kapitel der Frage gewidmet, wie sich das Klima kurzfristig, also in den nächsten zwanzig Jahren, verändern wird.

Sven Titz

Was die Vergangenheit angeht, sind sich die Klimaforscher so sicher wie nie zuvor: Mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 Prozent, so die Autoren des neuen Uno-Klimaberichts, hat der Mensch mindestens die Hälfte des Temperaturanstiegs seit 1950 zu verantworten. Im Bericht von 2007 lag der Wert noch bei 90 Prozent. Laut Gabriele Hegerl von der Universität von Edinburg – einer Leitautorin eines Kapitels – liegen die Ursachen für den Vertrauensgewinn in der um sechs Jahre längeren Temperaturzeitreihe sowie in methodischen Fortschritten. Aus dem Resultat leitet sich auch eine gewachsene Zuversicht ab, dass die langfristigen Klimaprojektionen im Kern stimmen. In Fachkreisen wird schon seit geraumer Zeit nicht mehr darüber gestritten, ob der Mensch durch den Ausstoss von Treibhausgasen das Klima beeinflusst, sondern über das Ausmass der Reaktion.

Kurzfristig contra langfristig

Vordergründig scheint die gewachsene Gewissheit nicht zu den Diskussionen zu passen, die sich seit neuestem um die seit 2001 stagnierende globale Mitteltemperatur ranken (oder, bei grosszügigerer Auslegung der Daten, seit 1998). Die Verwunderung ist begreiflich. In welchem Forschungsbereich kommt es schon vor, dass eine kurzfristige Prognose diffiziler ist als eine langfristige? Es mag paradox wirken, aber Projektionen für die nächsten zwanzig Jahre bereiten den Wissenschaftern in gewisser Weise mehr Schwierigkeiten als Langzeit-Projektionen bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus.

Gemäss dem herrschenden Paradigma in der Klimaforschung liegt das an einem wichtigen Unterschied: Kurzfristige Klimaschwankungen hängen vom «Anfangszustand» ab – also zum Beispiel vom Temperaturmuster in den Meeren zu Beginn der Simulation – und lassen sich mit Modellen noch nicht zuverlässig vorhersagen. Der langfristige Klimatrend hingegen wird in erster Linie durch die «Randbedingungen» erzwungen, etwa durch den Gehalt an Treibhausgasen in der Luft. Darum gilt der Trend prinzipiell als vorhersagbar, sofern die Emissionen vorhergesagt werden können. So steht es auch im neuen Bericht des Uno-Klimarats, der am Montag nun in voller Länge veröffentlicht worden ist.

Erstmals hat der Klimarat den kurzfristigen Projektionen nun ein ganzes Kapitel gewidmet. Es kulminiert in einer Art Vorhersage für die nächste Zeit. Sie wurde aus den Langzeit-Simulationen abgeleitet. Die Forscher korrigierten die Simulationswerte dafür ein wenig nach unten, denn es hat sich gezeigt, dass die Modelle den Temperaturanstieg bei kurzfristigen Projektionen etwas überschätzen. Demnach liegt die globale Mitteltemperatur zwischen 2016 und 2035 im Durchschnitt wahrscheinlich 0,3 bis 0,7 Grad Celsius über dem Niveau der Jahre 1986 bis 2005 (das entspricht 0,2 bis 0,6 Grad über dem Niveau des letzten Jahrzehnts).

Die Forscher schränken die Vorhersage zusätzlich ein wenig ein: Bis 2035 darf es keinen ungewöhnlichen Trend in der Sonnenaktivität geben, und es dürfen sich auch keine Vulkaneruptionen ereignen, die wie Mount Pinatubo im Jahr 1991 die Erde kurzfristig um ein paar Zehntelgrade kühlen können.

Die Einschränkungen sind nicht aus der Luft gegriffen. Gemäss Statistik beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass in den Jahren bis 2035 ein Vulkan ähnlich heftig wie Pinatubo explodiert, 50 Prozent. Und was die Sonne angeht, rechnen nicht wenige Astrophysiker mit einem Aktivitätsrückgang, der die Erde für sich genommen kühlen könnte, wenn auch nur um maximal drei Zehntelgrade.

Die Ungewissheit ist also für die nahe Zukunft relativ gross. Wenn alles zusammenkommt, also Vulkane und Sonnenschwäche, könnte die Temperatur sogar noch zwei Jahrzehnte nahe dem derzeitigen Niveau verharren. Doch spätestens im zweiten Drittel des 21. Jahrhunderts dürfte die wärmende Wirkung des steigenden Treibhausgasgehalts auch in diesem unwahrscheinlichen Fall überhandnehmen – und bis Ende des Jahrhunderts zu einer Erwärmung um bis zu 4,8 Grad Celsius führen.

Schwächere Reaktion auf CO_2

Für die langfristigen Projektionen, die letztlich auch von der Politik berücksichtigt werden, ist seit längerem die sogenannte «Gleichgewichts-Klimasensitivität» als massgebliche Grösse angesehen worden. Das ist der Temperaturanstieg, der bei Verdopplung des CO_2-Gehalts erfolgt, und zwar nach so langer Zeit, bis die Atmosphäre wieder genauso viel Energie ans Weltall abgibt, wie sie von der Sonne erhält. Es ist aber eine ziemlich akademische Masszahl. Forscher weisen darum nicht erst im neuen Uno-Klimabericht darauf hin, dass die «kurzzeitige Klimareaktion» («transient climate response») eigentlich der viel nützlichere Gradmesser ist. Dabei handelt es sich um den Temperaturanstieg, der sich sofort einstellt, wenn der Gehalt an CO_2 auf das Doppelte steigt – nicht erst dann, wenn das Gleichgewicht erreicht ist. Im neuen Bericht des Uno-Klimarats heisst es, die kurzzeitige Klimareaktion liege zwischen 1,0 und 2,5 Grad Celsius. Die Wertespanne konnte also etwas besser eingegrenzt werden als 2007: Damals lag die Obergrenze noch bei 3,0 Grad.

Gerade um die kurzfristige Klimareaktion genauer zu bestimmen, hätten die Forscher gerne genauere Messdaten aus dem Ozean. Denn die Wärmeaufnahme des Meeres ist ein mitentscheidender Faktor. Für Meeresschichten unterhalb von 700 Meter Tiefe gibt es aber laut dem Bericht erst seit 2005 brauchbare globale Abschätzungen der Temperaturänderungen. Überhaupt richtet sich das Augenmerk der Klimaforscher immer stärker auf den Ozean, und auch der Öffentlichkeit wird allmählich klar, dass sich Klimawandel nicht permanent an der Erdoberfläche abzeichnet, sondern zeitweise für den Menschen unsichtbar weitergeht, etwa indem tiefe Meeresschichten schleichend wärmer werden – was präzise gemessen werden muss.

Regionale Auswirkungen

Genauer geworden ist gegenüber dem letzten Bericht die Darstellung regionaler Klimaänderungen durch die Computermodelle. Das betrifft nicht nur die Temperatur, sondern teilweise auch Regen- und Schneefälle. Die generelle Prognose: Feuchte Regionen werden noch feuchter und trockene Regionen noch trockener – ein wichtiger Hinweis für die Anpassung an den Klimawandel. Auch den Rückgang des arktischen Meereises geben die Modelle inzwischen besser wieder. Bisher war das Ausmass des Schwunds unterschätzt worden. Eine Diskrepanz gibt es noch rings um die Antarktis. Dort zeigen die Modelle einen leichten Rückgang des Meereises, während die Eisdecke in der Realität in den letzten Jahrzehnten ein wenig zugelegt hat. Langfristig dürften die Eisschollen dort aber ebenfalls rarer werden. Sofern die Klimaprojektionen allgemein stimmen. Davon ist – siehe oben – die grosse Mehrheit der Klimaforscher inzwischen überzeugt.

Schwierigkeiten der Klimamodelle mit der Erwärmungspause

Christian Speicher · Das 36-seitige Dokument, das der Weltklimarat (IPCC) vergangene Woche in Stockholm vorgestellt hat, hat über das Wochenende hohe Wellen in den Medien und auf Klimablogs geschlagen. Je nach Gusto wurde dabei einmal der eine, einmal der andere Aspekt in den Vordergrund gerückt. Fast überall wurde jedoch über die sogenannte Erwärmungspause debattiert, also die Tatsache, dass die globalen Oberflächen-Temperaturen in den letzten 15 Jahren auf hohem Niveau stagnieren. In der am Freitag veröffentlichten Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger waren die Ausführungen zu diesem Thema notgedrungen relativ knapp. Ausführlicher wird die Erwärmungspause in dem umfangreichen Bericht besprochen, der am Montag veröffentlicht worden ist.

Die Erwärmungspause hatte schon im Vorfeld der Veröffentlichung zu reden gegeben. Übers Wochenende wurde von Klimaskeptikern der Vorwurf erhoben, der Bericht sei gegenüber einer früheren Version (die an die Öffentlichkeit gelangt war) entschärft worden. So wirft Benny Peiser, der Direktor der Global Warming Policy Foundation, dem IPCC vor, die Tatsachen über den anhaltenden Temperaturstillstand zu verschleiern. Zudem vermisst er klare Worte zum Versagen der Computermodelle.

In die gleiche Kerbe schlägt auch der Klimaforscher Richard Lindzen, einer der lautesten Kritiker des IPCC. Die ausbleibende Erwärmung werde vom IPCC damit entschuldigt, dass die Wärme sich in den tiefen Ozeanen verberge. Damit werde aber lediglich eingestanden, dass die Computermodelle ein wichtiges Element der natürlichen internen Variabilität, nämlich den Wärmeaustausch zwischen Oberfläche und tieferen Schichten der Ozeane, nicht simulieren könnten. Folglich müsse man auch die Behauptung des IPCC hinterfragen, die globale Erwärmung werde hauptsächlich durch den Menschen verursacht. Denn diese Behauptung, so Lindzen, hänge entscheidend davon ab, dass man mit den Modellen die natürliche interne Variabilität des Klimas korrekt simulieren könne.

Dass es in den Modellen Probleme mit der natürlichen Variabilität und dem Wärmeaustausch zwischen der Atmosphäre und den Ozeanen gibt, erkennen auch andere Klimaforscher an. Allerdings stellen sie deshalb nicht gleich alle Schlussfolgerungen aus diesen Modellen infrage. Ein Blick in den am Montag veröffentlichten Bericht zeigt, warum das so ist. Grundsätzlich sind die Computermodelle nämlich durchaus variabel genug, um Erwärmungspausen von 15 Jahren (aber nicht viel länger) zu reproduzieren. Nur den konkreten Fall, also den Stillstand der Temperatur seit 1998, können sie nicht vorhersagen. Das liegt daran, dass Simulationen über historische Zeiträume nach 10 bis 20 Jahren nicht mehr synchron mit den natürlichen Schwankungen des Klimas verlaufen.

Zur Veranschaulichung wird im Bericht auf ein Ensemble von historischen Simulationen verwiesen, die das Klima ausgehend vom Jahr 1850 simulieren. Von 114 Testläufen lieferten 111 für den Zeitraum 1998 bis 2012 einen Trend, der zum Teil deutlich über dem beobachteten lag (siehe Grafik). Für die 15-Jahres-Periode zwischen 1984 und 1998 lieferten die gleichen Simulationen allerdings ein ganz anderes Ergebnis. Hier gaben die Prognosen der meisten historischen Simulationen Werte unter dem gemessenen Trend an. Wegen der natürlichen Schwankungen im Klimasystem ist es also nichts Ungewöhnliches, dass die Temperaturen auf einer Zeitskala von 15 Jahren einmal nach oben und einmal nach unten ausschlagen.

Auf längeren Zeitskalen sollten sich diese Schwankungen jedoch aufheben. Das tun sie auch. Für den Zeitraum zwischen 1951 und 2012 stimmen die Beobachtungen bestens mit den historischen Simulationen überein. Im Bericht heisst es daher, es bestehe sehr hohes Vertrauen, dass die Langzeittrends der Modelle trotz der Diskrepanz in den letzten 15 Jahren mit den Beobachtungen konsistent sind.

Die natürliche interne Variabilität des Klimas ist möglicherweise nicht der einzige Grund dafür, dass die Erwärmungspause seit 1998 von den Modellen nicht richtig wiedergegeben wird. Unter Umständen sind auch externe Faktoren mit kühlender Wirkung unterschätzt worden. Zudem gibt es Hinweise, dass einige Modelle die Klimasensitivität überschätzen und deshalb zu stark auf einen CO_2-Anstieg reagieren. Das sei einer der Gründe, warum der untere Wert für die Klimasensitivität leicht nach unten korrigiert worden sei, sagt Reto Knutti von der ETH Zürich, der als leitender Autor am Bericht mitgearbeitet hat. Die Diskussion um die Erwärmungspause findet er wissenschaftlich zwar reizvoll. Für die Temperaturentwicklung in den nächsten 100 Jahren sei sie jedoch wenig relevant.