

Natur und Wissenschaft

Wenn man Steven Chu vor gut acht Jahren hätte machen lassen, dann wäre die Welt heute ein gutes Stück weißer. Vielleicht wäre sie sogar ein bisschen kühler, wer weiß das schon. Der damalige Energieminister von Präsident Barack Obama hatte bei einem Nobelpreisträgertreffen im Jahr 2009 so wie später in einer wissenschaftlichen Publikation dafür geworben, sämtliche Oberflächen weiß einzufärben. Autos, Häuserdächer, Straßen – alles weiß überpinseln. Die Sonnenenergie, die von dunkleren Flächen ansonsten absorbiert wird und für eine Erwärmung sorgt, sie wäre dann, so der Plan, vermehrt zurück ins All reflektiert worden. Chus Vorschlag wurde nicht umgesetzt. Die Dächer und Straßen blieben grau, die Autos vorwiegend schwarz, und die Erde? Sie wärmt sich weiter auf. Um mittlerweile 0,86 Grad Celsius über dem Durchschnitt des zwanzigsten Jahrhunderts, wie die amerikanische Klimabehörde NOAA jüngst mitteilte. Könnte es also sein, dass Chus Vorschläge schon bald wieder aus der Schublade geholt werden, und mit ihnen eine ganze Reihe anderer technischer Maßnahmen, die unter dem Oberbegriff Geoengineering zusammengefasst werden und die helfen sollen, den globalen Temperaturanstieg einzudämmen?

Im Jahr 2015 einigte sich die Weltgemeinschaft in Paris darauf, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius, wenn möglich auf 1,5 Grad Celsius bezugen zu wollen. Die Tinte unter dem Vertragswerk war noch nicht trocken, da mehrten sich die Stimmen, die Zweifel hegten, dass diese Ziele – bei denen man davon ausgeht, dass deren Erreichung einen gefährlichen Klimawandel unterbindet – kaum mehr einzuhalten sind. Die Absichtserklärungen zur Emissionsminderung jedenfalls, die die einzelnen Staaten bislang eingereicht haben, geben Anlass zur Sorge: Die dort angekündigten Kohlendioxid-Emissionen würden zu einem Temperaturanstieg von 3,2 Grad Celsius bis zum Ende des Jahrhunderts führen. Unter welchen Umständen also kann das Ziel des Pariser Abkommens noch erreicht werden?

Klimawissenschaftler wie Johan Rockström und Hans Joachim Schellnhuber rechnen so: Um das Zwei-Grad-Ziel mit einer 66-prozentigen Wahrscheinlichkeit zu erreichen, stehe der Weltgemeinschaft noch ein Kohlendioxid-Budget von 843 Gigatonnen zur Verfügung. Um das ambitionierte 1,5-Grad-Ziel zu erreichen, sogar nur noch 110 Gigatonnen. Bei etwa 40 Gigatonnen, die die Weltgemeinschaft derzeit jährlich in die Atmosphäre entlässt, blieben also noch zwanzig Jahre, um unterhalb der Zwei-Grad-Schwelle zu bleiben; die Empfehlung aber lautet: Spätestens 2020 sollte der Peak erreicht sein, die Emissionen ab diesem Zeitpunkt nur noch sinken. Auch die beiden Klimaforscher machen keinen Hehl daraus, dass flankierende Maßnahmen nötig seien. So müsste man die Abholzung stoppen, müsse bestehende Senken wie Wälder und Ozeane schützen, brauche eine Landwirtschaft, die dafür Sorge trägt, dass weniger Kohlendioxid emittiert wird, und ja, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen, müsse man neben den Emissionsreduktionen auch über den Einsatz künstlicher Kohlenstoffspeicher, sogenannter Carbon-Capture-and-Storage-Lösungen (CCS) nachdenken. Seit seinem letzten Synthese-Bericht zieht auch der Weltklimarat IPCC technische Lösungen in Betracht, um in die Atmosphäre ausgestoßenes Kohlendioxid wieder zurückzugewinnen – Fachleute sprechen von negativen Emissionen. Dabei werden aber die Methoden nicht näher spezifiziert, obgleich sie bei der Berechnung der Klimaszenarien durchaus berücksichtigt werden.

Es gibt gleichwohl Kritiker, die mahnen, bei den IPCC-Szenarien handle es sich um überwiegend ökonomisch orientierte Modelle, die die Potentiale der negativen Emissionen überbewerten.



Schräge Visionen? Spiegel im All könnten den irdischen Strahlungshaushalt sanieren – theoretisch.

Foto Science Photo Library

Ohne Regeln

Jeden Tag rücken die Klimaziele der Staatengemeinschaft etwas weiter in die Ferne. Wäre Geoengineering ein Ausweg? Nicht mit dem vorhandenen Regelwerk.

Von Ulrich Schaper

Bei den derzeitigen Emissionspfaden wächst dennoch die Wahrscheinlichkeit, dass die Gesellschaft keine Wahl mehr hat und auf solche Technologien zurückgreifen muss. Von Kohlenstoffextraktion (Carbon Dioxide Removal, CDR) reden heute die einen in der internationalen Debatte, die anderen wollen gleich in den planetaren Strahlungshaushalt eingreifen (Solar Radiation Management, SRM). Alles zusammen firmiert unter Geoengineering oder Climate-Engineering. Das von Rockström und Schellnhuber genannte Beispiel des CCS, also die Abscheidung und Lagerung von Kohlendioxid, ist dabei noch eine realitätsnahe, wenig radikale Methode. Künstliche Bäume, reflektierende Gletscherverpackungen, Wolkenaufhellung und Verbringung kleiner Spiegel in die Hemisphäre hingegen hören sich eher an, wie Science-Fiction; in den Denkfabriken aber ist alles erlaubt. Nur: Wer soll über den Einsatz der Technik entscheiden? Wann und wie lange darf sie zum Einsatz kommen? Wer haftet für mögliche Umweltschäden?

„Die meisten Ansätze im Bereich des Climate-Engineering lassen sich nicht im Labor nachstellen. Schon bei der Untersu-

chung und Erprobung der notwendigen Großforschungsvorhaben scheinen die gesellschaftlichen Risiken, die man kaum abschätzen kann, zu überwiegen. Und über die Vorteile, die solche Techniken bringen, wissen wir noch zu wenig“, sagt Sabine Schlacke, Umweltrechtlerin an der Universität Münster und Vorsitzende des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung. „Abgesehen davon ist das Signal das falsche: Eigentlich muss das Ziel sein, das Engagement im Klimaschutz zu intensivieren, die Ursachen für die Erwärmung zu bekämpfen und nicht deren Ausprägung.“

Da es sich bei den meisten Geoengineering-Ansätzen um grenzüberschreitende Maßnahmen handelt, müsste es einen völkerrechtlichen Regelungsrahmen geben, um Einsatz und Haftung politisch zu legitimieren. Nach dem im Umweltrecht geltenden Vorsorgeprinzip haben bereits heute alle Staaten die Pflicht, Handlungen zu unterlassen, die negative grenzüberschreitende Folgen haben könnten. Wobei im Einzelfall nicht spezifiziert ist, was negativ bedeuten könnte. „Wenn Umweltschäden auftreten, dürfte es zudem schwer werden, nachzuweisen, welche Staaten dafür verantwortlich sind. Um im

nächsten Schritt ein Verfahren anzustreben, würde man einen Konsens der Parteien benötigen, dass sie sich vor ein Schlichtungsgremium begeben“, sagt Schlacke. „Die Aussichten auf Erfolg sind daher relativ gering.“ Es ist offenbar, dass das Vorsorgeprinzip beim Entwurf eines bindenden Rechtsrahmens nur ein Anhaltspunkt sein kann, vermag es das Kernproblem – die bestehenden Zielkonflikte beim Einsatz großtechnischer Lösungen – nicht zu beheben: Während auf der einen Seite das Risiko eines gefährlichen Klimawandels droht, scheinen auch technische Eingriffe ins Erdsystem wenig beherrschbar und hinsichtlich ihrer Folgen kaum abschätzbar zu sein.

Die Rechtslage ist derzeit vage; im internationalen Kontext lassen sich gleichwohl einige Anhaltspunkte finden, die Geoengineering zumindest teilweise berühren. So werden unter der Londoner Konvention (1972) und dem anhängigen Londoner Protokoll (1996) – eigentlich Werke, die Regelungen zur Abfallbeseitigung im Meer enthalten – explizit Vereinbarungen zur Ozeandüngung getroffen. Seit 2013 sind demzufolge nur Projekte mit Forschungscharakter erlaubt, und dies auch

nur dann, wenn negative Umweltwirkungen ausgeschlossen sind. Das Übereinkommen könnte auch für andere Felder des Geoengineering beispielhaft sein. Ein Sonderfall in Bezug auf großskalige Eingriffe ist die ENMOD-Konvention aus dem Jahr 1978. Sie kann als Reaktion militärischer Interventionen gewertet werden und verbietet den militärischen Einsatz von wetterverändernden Maßnahmen. Für Überlegungen im Hinblick auf den Klimaschutz kann sie gleichwohl nützliche Grundlagen liefern, da sie die Manipulation von Hydro- und Atmosphäre sowie Flora, Fauna und Erdkruste untersagt.

Die Vertragsstaaten der Biodiversitäts-Konvention haben Gefährdungen durch technische Eingriffe bereits frühzeitig erkannt und diese, wenn auch in sehr allgemeiner Form, im Moratorium X/33 geregelt. Der Beschluss aus dem Jahr 2010 untersagt angesichts der fehlenden wissenschaftlichen Kenntnisse und aus Mangel an geeigneten globalen, transparenten und wirksamen Kontroll- und Regelungsmechanismen die Durchführung großskaliger Geoengineering-Maßnahmen. Zumindest so lange, bis es eine geeignete wissenschaftliche Grundlage gibt, auf deren Basis die Risiken für Umwelt und Biodiversität sowie die sozialen, wirtschaftlichen und kulturellen Folgen ausreichend geprüft werden können. Unberührt von diesem Moratorium bleiben kleinskalige Vorhaben wie die CCS-Technologien.

„Entscheidend bei der jeweiligen Bewertung ist, wo Geoengineering stattfindet“, sagt Sabine Schlacke. Auf dem Gebiet einzelner Staaten durchgeführt, sei vor allem nationales Recht berührt; auf hoher See oder in der Atmosphäre hingegen seien mehrere, wenn nicht alle Staaten involviert. „Es bräuchte einen völkerrechtlichen Vertrag, der ein repressives Verbot mit Erlaubnisvorbehalt enthält. Es muss klar sein: Eigentlich wollen wir gar kein Climate-Engineering. Wenn es doch dazu kommt, darf es nur die Ultima Ratio sein.“

Der Druck, einen entsprechenden Regelungsrahmen zu schaffen, steigt stetig: zum einen, da die Kohlendioxid-Emissionen in diesem Jahr erstmals wieder gestiegen sind, zum anderen, weil die Idee eines kurzfristigen Überschreitens der Zwei-Grad-Marke („Overshooting“) immer mehr Gegenstand der Klimaverhandlungen wird. Wohlgermerkt: Selbst die kurzfristige Überschreitung kann bisher nicht vorhersehbare ökologische Folgen hervorrufen. In einem in der Zeitschrift „Nature“ veröffentlichten Positionspapier fordern Oliver Geden, Klimaexperte der Berliner Wissenschaft und Politik, und Andreas Löschel, Experte für Energie- und Ressourcenökonomik der Universität Münster, daher, dass die Klimaforschung klare Grenzen für Ausmaß, Dauer und Zeitpunkt des Overshootings ziehen muss. Beide befürchten, dass sich die Staaten aufgrund des scheinbar unrealistischen 1,5-Grad-Ziels einen Leerlauf gönnen und vermehrt auf künftige großtechnische Lösungen setzen. „Es besteht die Gefahr, dass die Staaten die Klimaziele nicht mehr als absolute Grenze respektieren. Dadurch könnte das Verantwortungsgefühl in der Klimapolitik erodieren“, wie die beiden Wissenschaftler schreiben.

Tatsächlich hält das Abkommen von Paris keine Lösung parat für diesen Fall. Nirgends ist geregelt, welche Temperaturüberschreitung annehmbar ist, wie lange diese dauern darf und wie es anschließend gelingen wird, die Erde wieder abzukühlen. Es scheint immer wahrscheinlicher, dass die gängigen Klimaschutz-Konzepte der Anpassung (Adaption) und Emissionsreduktion (Mitigation) um den Maßnahmenkomplex der negativen Emissionen erweitert werden müssen. Allgemeine internationale Regelwerke existieren vereinzelt; für eine realpolitische Umsetzung der mitunter fragwürdigen Technik jedoch genügen diese derzeit bei weitem noch nicht.

Heilende Künste

Ben Doolittle, ein bereits ergrauter Privatdozent der Yale School of Medicine, blickte höchst besorgt durch seine goldrandige Brille, als er vor zwei Jahren bei einer Podiumsdiskussion in Yale das Gespräch auf eine aktuelle Studie lenkte. 54 Prozent der amerikanischen Ärzte, so hatte man herausgefunden, zeigten Symptome von Burnout. „Wir suchen Antworten. Wir suchen Hoffnung“, seufzte Doolittle, um sich mit diesem Appell gleich darauf an seinen Gesprächspartner, den indischen Yogi „Sadhguru“ Jaggi Vasudev, zu wenden. Das feine Lächeln des Mystikers war hinter dessen langem weißen Bart nur zu erahnen, als er langsam und bedächtig – so langsam und bedächtig, dass das Zuhören für die gestressten Elite-Mediziner im Publikum wohl bereits als erste meditative Übung gelten konnte – das Problem analysierte. Wie solle es gehen, so wunderte sich der Yogi, dass Burnout-Patienten andere Menschen zu heilen versuchten? Es liege beim westlichen medizinischen System offenbar etwas ganz grundlegend im Argen: „Menschliche Erfahrung hat ihre Ursache in unserem Inneren, nicht außen. Ich bin überrascht, dass es nur 54 Prozent sind.“ Ob diese spirituelle Analyse die in Yale so dringend ersohnte Hoffnung zu spenden vermochte, bleibt fraglich. Nachhaltig gelöst hat sie das Problem zumindest nicht, die Suche nach Hilfe angesichts der psychischen Instabilität der Mediziner geht weiter. Eine aktuelle amerikanische Studie legt nun nahe, dass es vielleicht gar nicht nötig ist, sich die mystischen Dimensionen fremder Kulturen zu eigen zu machen. Vielleicht tun es auch einfach die guten alten Künste und Geisteswissenschaften. Wissenschaftler um Marc J. Kahn von der Tulane-Universität befragten 739 Studenten an fünf amerikanischen medizinischen Fakultäten nach dem Grad ihres Kontaktes mit Musik, Literatur, Theater oder den bildenden Künsten. Gleichzeitig testeten die Forscher die Teilnehmer auf deren persönliche Eigenschaften wie Empathie, Selbsteffizienz oder emotionale und physische Erschöpfung. Wie die Wissenschaftler nun im „Journal of General Internal Medicine“ (doi: 10.1007/s11606-017-4275-8) berichteten, zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen dem Grad der Einbindung in geisteswissenschaftliche Themen und Aktivitäten und positiven persönlichen Qualitäten. Das Auftreten von Eigenschaften, die mit Burnout assoziiert werden, war dagegen signifikant negativ korreliert. Der Erstautor der Studie, Salvatore Mangione, sieht dies als klaren Anhaltspunkt dafür, die strikte akademische Trennung zwischen der Medizin und den Künsten aufzuheben: „Die Resultate liefern ein starkes Argument dafür, die linke und rechte Gehirnhälfte wieder zusammenzubringen – der Gesundheit von Patienten und Ärzten zuliebe.“ Sadhguru – nach eigenen Angaben immun gegen Burnout – würde diesem Fazit wohl kaum widersprechen. Sein eigener Weg zur spirituellen Erleuchtung führte immerhin über ein Bachelorstudium der englischen Literatur. sian

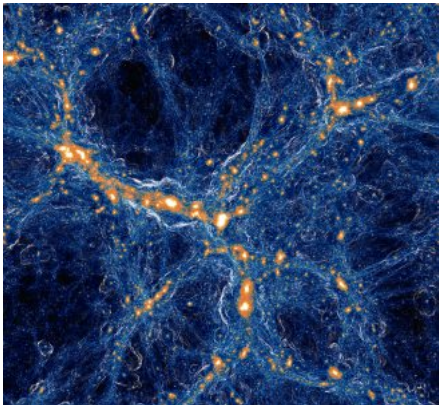
Achtung bei grippalen Herzbeschwerden

In den ersten sieben Tagen einer Grippe steigt das Risiko für einen Herzinfarkt um das Sechsfache an. Das hat eine kanadische Studie gezeigt, die in der neuesten Ausgabe des „New England Journal of Medicine“ erschienen ist (doi: 10.1056/NEJMoal702090). Die Ergebnisse seien wichtig, weil ein Zusammenhang zwischen Grippe und Herzinfarkt die Bedeutung der Grippe-Impfung unterstreiche, so Jeffrey Kwong, Leiter der Studie, in einer Erklärung. Ein solcher Zusammenhang gilt seit längerem als wahrscheinlich, allerdings hatten die bisherigen Studien keine besonders gute Qualität. Kwong und seine Kollegen haben nur labormedizinisch gesicherte Grippeerkrankungen mit Herzinfarkten korreliert und die Rate in den ersten sieben Tagen nach der Sicherung der Diagnose mit der Rate im Jahr vor und nach der Grippe verglichen. Dabei zeigte sich der sechsfache Anstieg in den ersten sieben Tagen nach der Sicherung der Diagnose. Die Studie legt zudem nahe, dass das Risiko für ältere Patienten und Patienten mit einer Influenza-B-Infektion noch größer sein könnte. Bei der derzeitigen Grippewelle in Deutschland geht ein Großteil der Infektionen auf Influenza-B-Viren zurück. Kwong und seine Kollegen raten allen Grippe-Patienten in der ersten Krankheitswoche bei Beschwerden, die auf einen möglichen Herzinfarkt hindeuten, sofort zum Arzt zu gehen. hka

Ein Update fürs Universum

Eine neue Computersimulation zeigt in nie dagewesenem Detail, wie Schwarze Löcher bei der Entstehung der Galaxien halfen

Mit Hilfe des schnellsten deutschen Supercomputers „Hazel Hen“ im Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart haben Wissenschaftler die bislang detaillierteste Simulation des Universums erstellt. Für einen der beiden Simulationsläufe, in dem mehrere Millionen Galaxien in einem virtuellen Raumbereich von einer Milliarde Lichtjahre Kantenlänge virtuell nachgebaut wurden, waren 24 000 Prozessoren rund zwei Monate beschäftigt. Dabei gingen die Forscher der Frage nach, wie sich aus dem anfangs völlig regellos verteilten Gas des Urknalls im Laufe der Zeit der Kosmos entwickelte, den Astronomen heute beobachten. Erstmals berücksichtigten sie dabei auch die hydrodynamischen Eigenschaften der Materie und den Einfluss der extrem massereichen Schwarzen Löcher in den Zentren der großen Spiralgalaxien. Das Ergebnis, veröffentlicht unter dem Namen „IllustrisTNG“ (TNG steht für „The Next Generation“), sieht dem echten Universum zum Verwechseln ähnlich. „Die neuen Simulationen erzeugten mehr als 500 Terabyte Simulationsda-



Gas (blau) und Klumpen aus Dunkler Materie (orange/weiß)

Foto IllustrisTNG

ten“, erklärt Volker Springel vom Heidelberger Institut für theoretische Studien. „Die Auswertung dieses riesigen Datenberges wird uns noch über Jahre hinweg beschäftigen und verspricht viele weitere spannende Erkenntnisse über unterschiedliche astrophysikalische Prozesse.“

Computersimulationen wie IllustrisTNG sind zu einem mächtigen Werkzeug in der Kosmologie geworden. Die Astronomie kann nur das heute beobachtbare Universum untersuchen und daraus seinen „Bauplan“ rekonstruieren – oder wenn man so will: sein Kochrezept erraten. Moderne Großrechner geben den Forschern die Möglichkeit, dieses Rezept nachzukooken: Die Grundzutaten dafür werden durch das Standardmodell der Kosmologie beschrieben. Das besagt, dass rund 95 Prozent des gesamten Materie- und Energiegehalts des Kosmos in Form sogenannter „Dunkler Energie“ und „Dunkler Materie“ vorliegen – Materie-beziehungsweise Energieformen, die sich fundamental von den bekannten Atomen, Teilchen und Kräften zwischen ihnen unterscheiden. Während die Dunkle Materie sich nur durch ihre Gravitation bemerkbar macht – und hauptverantwortlich dafür ist, dass sich Galaxien überhaupt bilden können – treibt die Dunkle Energie das Universum als Ganzes auseinander. Weder für die Natur der Dunklen

Materie noch für die der Dunklen Energie gibt es allerdings bislang physikalisch überzeugende Erklärungen. Eine unbefriedigende Situation, die Zweifel weckt. Die Resultate von IllustrisTNG zeigen jedoch, dass die Simulation die Entwicklung des Kosmos im Großen und Ganzen sehr gut beschreibt. Wie im echten Universum ordnen sich die Galaxien auch in der Simulation nicht zufällig an, sondern bilden ein „kosmisches Netz“, an dessen Knotenpunkten sich die Galaxien, aber auch der Großteil der Dunklen Materie befinden. Die dazwischen liegenden Bereiche sind größtenteils leer. Aus dem Vergleich dieses Modell-Kosmos mit der Wirklichkeit können die Forscher nun ihre Theorien überprüfen.

IllustrisTNG bestätigt Vorläufersimulationen wie die 2014 präsentierte erste „Illustris“ oder die „Millennium“ Simulation. Abweichungen von den Vorhersagen des Standardmodells zeigten diese nur in Details. IllustrisTNG ist aber mehr als ein Update der älteren Simulationen. Einerseits simuliert sie einen größeren Raum

und liefert damit ein repräsentativeres Bild des Universums. Vor allem aber flossen bislang nicht berücksichtigte Prozesse in die neuen Rechnungen ein, zum Beispiel die Rolle der zentralen massereichen Schwarzen Löcher in Galaxien. Auch wenn Schwarze Löcher im Vergleich zu Galaxien geradezu winzig sind, beeinflussen sie deren Entwicklung ganz entscheidend. So beobachten Astronomen, dass junge Galaxien blau leuchten, da sich in ihnen viele heiße und damit blaue Sterne bilden. Irgendwann jedoch kommt es zu einem jähen Ende des stellaren Babybooms. Verantwortlich dafür sind laut der Simulation die massereichen Schwarzen Löcher in den Zentren der Galaxien: Verschlingen die Massenmonster große Mengen an Gas, entkommt ein Teil davon in zwei gegenläufigen Gasstrahlen, den sogenannten Jets. Diese Gasjets erreichen Geschwindigkeiten von bis zu zehn Prozent der Lichtgeschwindigkeit und blasen das restliche Gas – das Baumaterial für neue Sterne – aus der Galaxie heraus. JAN HATTENBACH

Die Efeu-Philosophie für das Stadtleben

Wie können urbane Räume nachhaltig gestaltet werden? Die Antwort einer Architektin: Durch Vernetzung und Einbeziehung der Menschen. [Seite N2](#)

Warum Göttingen kein Konstanz wurde

Das Max-Planck-Institut für Geschichte wurde 1956 von und für Hermann Heimpel gegründet. Eine verpasste Chance disziplinärer Modernisierung? [Seite N3](#)

Abschied von den Betonklötzen

Universitäten leisten sich wieder spektakuläre und luxuriöse Architektur. Mit der baulichen Tristesse der Massenuniversitäten hat sie nichts mehr zu tun. [Seite N4](#)