



Ab kommenden Donnerstag ist Gores Dokumentarfilm «Eine unbequeme Wahrheit» in Schweizer Kinos zu sehen. (AP)

# Klima-Vorlesung im Kinosaal

Der Dokumentarfilm des früheren US-Vizepräsidenten Al Gore ist aktuell und wissenschaftlich korrekt. Und trotzdem spannend erzählt, schreibt der Berner Klimaforscher Thomas Stocker

Am 19. Oktober wird der Film «An Inconvenient Truth» (Eine unbequeme Wahrheit) von Al Gore, dem ehemaligen Vizepräsidenten der Vereinigten Staaten, in den Schweizer Kinos anlaufen. Der Mann, der sich im Film selbstironisch als der frühere zukünftige Präsident der USA vorstellt, hat ein ungewöhnliches Format für seinen Film gewählt: die klassische Frontalvorlesung, jedoch mit ausgezeichneter Grafik, Fotografie und eingestreuten persönlichen Reminiszenzen. Wer diese Art der Wissensvermittlung totgeglaubt hat und E-Learning für das Wunderrezept hielt, wird erstaunt feststellen: Ohne langweilig oder schulmeisterlich zu wirken, fesselt Al Gore die Zuschauer 90 Minuten lang. Es lebe die Frontalvorlesung!

Die wissenschaftlichen Resultate zur Frage der Klimaänderungen, die Gore in diesem Film vorstellt, sind bis auf wenige Ausnahmen auf dem neuesten Stand, einige davon waren erst ein paar Monate alt, als der Film im Juni in den USA anlief. Gore beschäftigt sich mit dem Klimawandel und dem Verhältnis Mensch - Erde seit fast 30 Jahren. Er hat 1992 das Buch «Earth in the Balance» publiziert und sich bereits damals im Gespräch mit führenden Wissenschaftlern auf den Stand des Wissens gebracht. Er hätte also leicht der Versuchung verfallen können, altes Material in neue Schläuche zu verpacken. Gore hat in der Vorbereitung zum Film aber wiederum an die Türen von vielen Wissenschaftlern geklopft und sich die neusten Informationen geben lassen - direkt von der Quelle. Während «Earth in the Balance» stellenweise als «New Age»-Produkt daherkam und verklärend wirkte, präsentiert Gore heute die Fakten souverän und mit Witz.

Der Film baut an vielen Stellen auf Ergebnissen der Schweizer Klimaforschung auf: beispielsweise auf den in

Eisbohrkernen der Antarktis gemessenen Treibhausgaskonzentrationen oder dem dokumentierten Rückzug der Alpengletscher. Das unterstreicht die weltweite Bedeutung der Schweiz in der Klimaforschung. Aber es muss uns auch beunruhigen, denn obwohl wir von den direkten Auswirkungen des ansteigenden Meeresspiegels verschont bleiben werden, reagiert der Alpenraum bezüglich Temperatur und Wasserhaushalt besonders sensibel auf Klimaänderungen: Auswirkungen der Erwärmung sind bereits messbar.

Schauen wir etwas genauer hin: Wo stecken die Vereinfachungen, was lässt Gore weg, wo sind die Unsicherheiten, und wie relevant sind diese überhaupt in der gegenwärtigen Klimadebatte?

## Schwächere Sonne

Mit einer eindrucksvollen Sequenz von Einst-und-jetzt-Bildern, darunter der sterbende Rhonegletscher, illustriert Gore den Rückgang der Gletscher während der letzten 100 Jahre. Allerdings ist die Erwärmung der letzten 50 Jahre nicht der einzige Grund für diesen, denn zu Beginn des 20. Jahrhunderts erholte sich die Nordhemisphäre gerade von der Kleinen Eiszeit, einer natürlichen Klimaschwankung.

Auch früher gab es zudem Zeiten geringer Vergletscherung, so zum Beispiel um 5000 v. Chr. Diese Tatsache wird aber oft missbräuchlich verwendet, um Zweifel an der Ursache des heutigen Gletscherschwunds zu säen. Wer dieses Argument anführt, darf nicht verschweigen, dass die Sonneneinstrahlung im Sommer um 5000 v. Chr. etwa 25 Prozent höher war als heute. Heute nimmt die Einstrahlung immer noch ab, und trotzdem gehen die Gletscher mit zunehmender Geschwindigkeit zurück - ein deutlicher Hinweis darauf, dass die gegenwärtige Entwicklung nicht durch Veränderungen der Sonneneinstrahlung erklärt

werden kann. Gore verkürzt die Argumentation im Film auf das Visuelle, doch die Grundaussage bleibt korrekt: Gletscher verschwinden mit alarmierender Schnelligkeit.

Szenenwechsel: Gore erzählt, wie er Mitte der sechziger Jahre als Student in Harvard mit der ansteigenden CO<sub>2</sub>-Konzentration, gemessen seit 1958 auf Mauna Loa (Hawaii), konfrontiert worden ist. Bereits im 19. Jahrhundert hatte der schwedische Nobelpreisträger Svante Arrhenius gewarnt: Der CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre wird eine globale Erwärmung verursachen.

Für die Klimaforschung stellen sich deswegen zwei Fragen. Erstens: Ist der Anstieg Folge einer natürlichen Schwankung, oder ist er vom Menschen verursacht, stammt er also aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und Abholzung? Und zweitens: Ist eine Erwärmung bereits messbar, und wie ungewöhnlich ist sie?

Auf die erste Frage geht Gore sehr ausführlich ein, indem er die Ergebnisse der Rekonstruktion aus Eisbohrkernen der Antarktis, übrigens gemessen an der Universität Bern, darstellt. Diese zeigen mit aller Deutlichkeit: Die Zunahme von CO<sub>2</sub> seit etwa 1750 ist nicht Teil eines natürlichen Phänomens, sondern eine in den letzten 650 000 Jahren nie da gewesene Entwicklung. Heute liegen die Konzentrationen des Treibhausgases um 28 Prozent höher als je zuvor in diesem Zeitraum. Und sie steigen weiter - so weit, dass Gore eine Hebebühne benötigt, um das Wachstum zeigen zu können.

Wie gross ist die gegenwärtige globale Erwärmung, und in welcher Relation steht sie zu den Temperaturschwankungen der letzten 1000 Jahre? Diese heftig diskutierte Frage hat sogar das Komitee für Energie und Handel des US-Senats veranlasst, mehrere Befragungen von Wissenschaftlern durchzuführen - eigentliche Verhöre, die ei-

## Der Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 6 Metern ist ein in der Wissenschaft vermehrt diskutierter Effekt.

nen ungeheuerlichen Eingriff der Politik in die Unabhängigkeit der Forschung darstellen.

Der Film zeigt Daten aus einem Eisbohrkern aus den Anden, die den aussergewöhnlichen Temperaturanstieg der letzten 50 Jahre mit den natürlichen Schwankungen der letzten 1000 Jahre vergleichen. Dies ist aber nur eine von vielen unabhängigen Methoden der Klimarekonstruktion. Messungen von Baumringen, Temperaturverteilungen in Bohrlöchern, Schmelzschichten im Eis von Grönland, Tropfsteine in Höhlen, Sedimentkerne, alle zeigen, dass die Entwicklung der Temperatur in der Nordhemisphäre in den letzten 50 Jahren einen Anstieg aufweist, der grösser ist und schneller vonstatten geht als in den letzten 1000 Jahren.

## Eisbohrkerne

Einen Blick zurück in die Klimaschicht ermöglichen die Eisbohrkerne aus der Antarktis. Neben den Treibhausgaskonzentrationen kann auch die Temperatur in der Antarktis rekonstruiert werden. Die CO<sub>2</sub>- und die Temperaturkurve passen ausgezeichnet aufeinander. Der logische Schluss: Der Anstieg von CO<sub>2</sub> führt zur Erwärmung. Das deckt sich mit heutigen Beobachtungen. Erdgeschichtlich präsentiert sich der Zusammenhang allerdings umgekehrt: Hier ging jeweils ein Temperaturanstieg einer erhöhten Konzentration des Treibhausgases CO<sub>2</sub> im Mittel um etwa 800 (± 600) Jahre voraus.

Als diese Erkenntnis publiziert wurde, jubilierten die Klimaskeptiker und feierten dies als Beweis, dass CO<sub>2</sub> somit nicht ursächlich für den Anstieg der Temperatur verantwortlich sein könne. Diese Aussage gilt für die natürlichen Zyklen der letzten 650 000 Jahre; sie ist jedoch falsch für die Zukunft. Atomphysikalische Tatsache ist, dass CO<sub>2</sub> ein infrarotabsorbierendes Gas, also ein Treibhausgas ist. Fakt ist zwar, dass in der Vergangenheit Anstiege von CO<sub>2</sub> nicht Auslöser der Erwärmung waren. Die Daten belegen aber auch, dass die CO<sub>2</sub>-Änderungen notwendig waren, das Erdklima in einer längeren Warmzeit zu halten. Durch die vom Menschen gemachten CO<sub>2</sub>-Emissionen gelangt seit dem 18. Jahrhundert kontinuierlich zusätzliches Treibhausgas in die Atmosphäre, so dass heute dieser Anstieg erstmals zur antreibenden Grösse im Klimasystem wird. Dass nun die Erwärmung dem CO<sub>2</sub>-Anstieg hinterherhinkt, ist auf die Aufnahme von Wärme durch den Ozean zurückzuführen und in völligem Einklang mit Klimamodellen, die seit vielen Jahren zur Abschätzung der erfolgten und künftigen Erwärmung verwendet werden.

Auf aktuellstem Stand ist der Film, wenn er zeigt, wie sich die obersten Schichten des Ozeans in den letzten 50 Jahren erwärmt haben. Dies ist ein eindrucksvolles Forschungsergebnis, weil es illustriert, dass nun auch die langsam reagierenden Systeme auf der Erde von den Veränderungen erfasst werden. Die Auswirkungen werden gravierend sein. Die Ozean-Oberfläche, wo die für die Bildung von Hurrikänen notwendige Wassertemperatur erreicht wird, wird weiter zunehmen. Gore begibt sich aber nicht aufs Glatteis und vermeidet es, einen einzelnen Hurrikan wie «Katrina» der globalen Erwärmung zuzuschreiben, sondern er

► Fortsetzung Seite 86



# Friedliche Koexistenz im Darm

Unser Verdauungsorgan wird von Milliarden von Bakterien bevölkert. Die Wohngemeinschaft von Mensch und Mikrobe ist überlebenswichtig. *Von Sabine Sütterlin*

Der menschliche Körper ist eine kleine Welt für sich. Bis zu hundert Billionen Mikroorganismen, so wird geschätzt, leben ständig auf seiner Haut, im Mund, vor allem aber im Dickdarm. Die Untermieter im Verdauungstrakt besitzen zusammen mehr als 60 000 Gene – doppelt so viele, wie ihr menschlicher Wirt in seinem Erbgut hat. Diese Zahl haben Wissenschaftler des Institute for Genomic Research in Rockville im amerikanischen Maryland ermittelt, als sie kürzlich zum ersten Mal das kollektive Erbgut der Mikroben im Dickdarm analysierten. Das Fazit der im Fachblatt «Science» veröffentlichten Untersuchungen war: Beim menschlichen Stoffwechsel lässt sich kaum auseinanderhalten, welchen Beitrag der Mensch und welchen die Darmflora leistet.

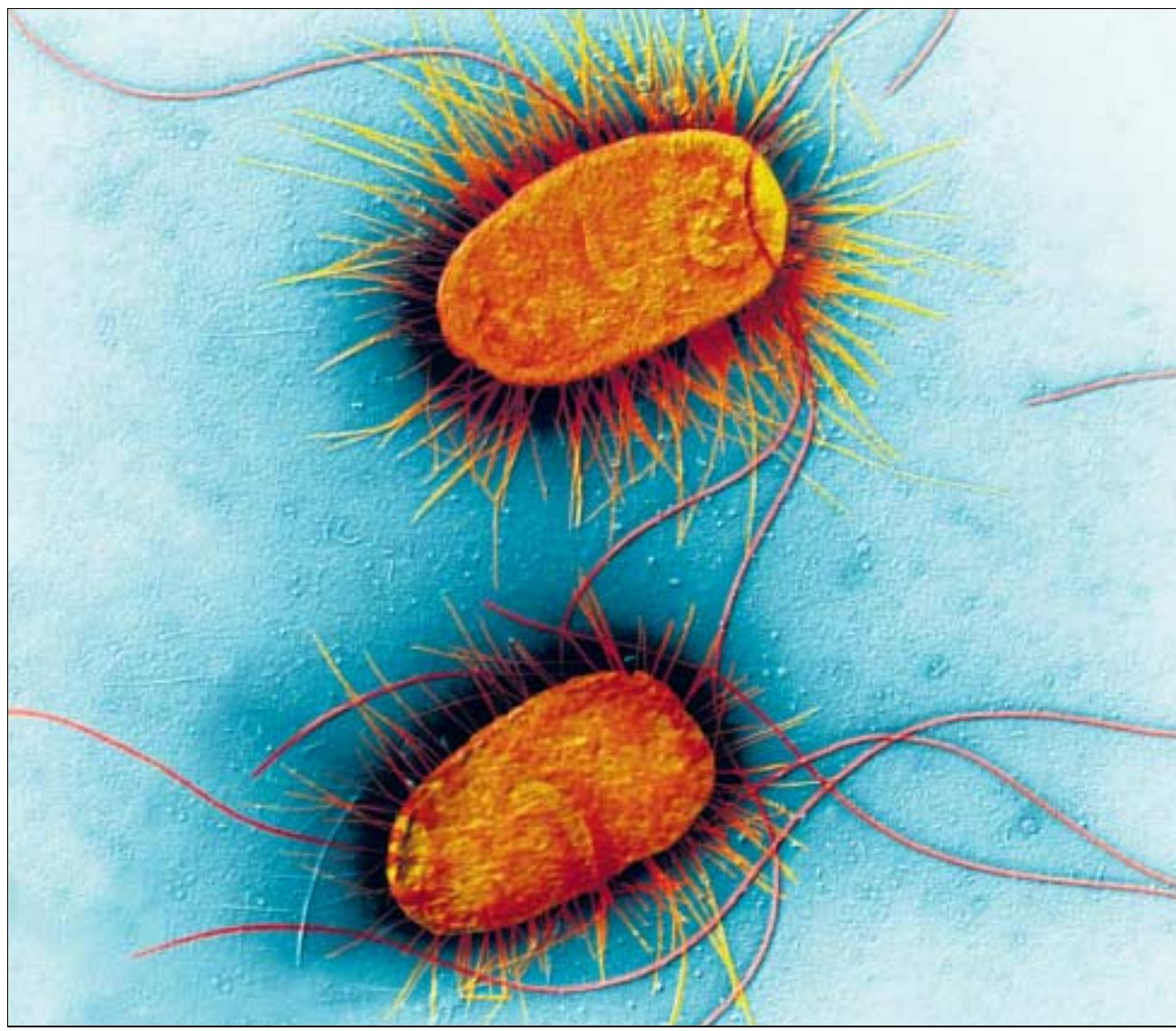
Dass Mensch und Mikrobe in enger Symbiose leben, ist seit langem bekannt. Ebenso, dass die winzigen Mitbewohner dem Wirt mehr nützen als umgekehrt: Sie bauen unverdauliche Inhaltsstoffe der Nahrung zu verwertbaren Nährstoffen um, versorgen den Körper mit Vitaminen, die er sich selbst nicht beschaffen kann, sie halten Krankheitserreger und Entzündungsvorgänge in Schach. Eine gesunde Darmflora ist also unabdingbar für unsere Gesundheit.

Allerdings wusste man bisher erstaunlich wenig darüber, welche Arten von Mikroorganismen im Verdauungstrakt vorkommen und welche wofür zuständig sind. Diese Unkenntnis rührt daher, dass sich die allermeisten Bakterien, ebenso wie auch ihre urtümlichen, oft in extremen Lebensräumen siedelnden Verwandten, die Archäen, nicht in Laborschalen züchten lassen und deshalb mit den herkömmlichen mikrobiologischen Methoden nicht zu bestimmen sind.

## Bifido-Bakterien

Ein Team um den Molekularbiologen Steven Gill wandte nun erstmals die neue Methode der Metagenomik auf die Darmflora an: Statt mühselig nach einzelnen Organismen zu suchen, fischten die Forscher das gesamte Erbmaterial aller Darmmikroben aus Stuhlproben zweier gesunder junger Erwachsener heraus, die beide mindestens ein Jahr lang keine Antibiotika oder andere Medikamente genommen hatten. Als Nächstes legten sie ein Verzeichnis aller darin vorkommenden Gene an. Dieses Verzeichnis gibt erstmals Anhaltspunkte über die Vielfalt der vorhandenen Arten. Zweitens lässt sich anhand der gefundenen Gene zeigen, welche Funktionen die vorhandenen Mikroorganismen im Stoffwechsel übernehmen.

Die Wissenschaftler des Institute for Genomic Research fanden einige neue, bisher unbekannte Mikroben in den Stuhlproben. Allerdings waren darin auch manche Arten nur schwach oder

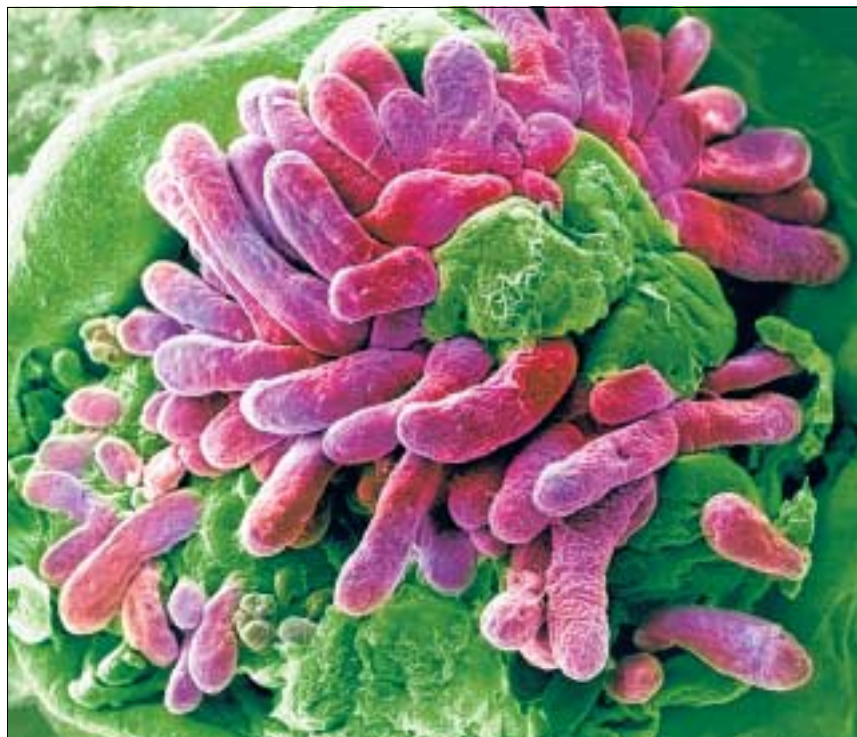


Escherichia coli gehören zu den häufigsten Bakterien im Verdauungstrakt. Aufnahme eines Elektronenmikroskops. (SPL)

gar nicht vertreten, die in früheren Studien bereits beschrieben wurden. «Verbreitete Arten wie etwa die Bifido-Bakterien fehlen praktisch ganz», sagt Michael Blaut, Leiter der Abteilung Gastrointestinale Mikrobiologie am Deutschen Institut für Ernährungsforschung in Potsdam. Das liege wahrscheinlich an methodischen Fehlern, wie die Autoren der Arbeit selbst vermutet hatten.

Erwartungsgemäss enthielt ein guter Teil der vorgefundenen Gene Baupläne für Enzyme, die Kohlenhydrate verdauen. Denn pflanzliche Nahrung enthält viele grosse Kohlenhydrat-Moleküle, die Xylane oder Pektine etwa, die der Mensch nicht abzubauen vermag. In der Darmflora der beiden Versuchspersonen machten die Forscher mindestens 81 Familien von Enzymen aus, die darauf spezialisiert sind, Kohlenhydratketten zu knacken.

Auch der Schleim, der vom Darm des Wirts abgesondert wird, enthält Kohlenhydrate, vor allem solche, die am Ende Fucose-Zuckermoleküle aufweisen. Fucose aber dient den Darmbakterien als willkommener Energie-



Einige Stämme von E. coli (hier violett eingefärbt) sind krankheitserregend. (SPL)

sen, eine eisfreie Arktis im Sommer, der Rückgang des Permafrosts und der langsame Anstieg des Meeresspiegels werden im Film ausführlich und anschaulich erklärt. Hier finden die neuesten Ergebnisse der Forschung Eingang. Die Möglichkeit eines langfristig massiven Anstiegs des Meeresspiegels von bis zu 6 Metern, ausgelöst durch das Abschmelzen von Grönlands Gletschern oder Teilen der Antarktis, ist

**Der Film überzeugt durch den Inhalt und die Person Al Gores, der sich die Informationen aus erster Hand beschafft.**

ein in der Wissenschaft vermehrt diskutierter Effekt der Erwärmung. Der Film visualisiert die Auswirkungen eines solchen Anstiegs des Meeresspiegels eindrücklich anhand bearbeiteter Luftbilder.

Macht Gore auf Panik? Nein – sämtliche Auswirkungen der globalen Erwärmung, wie sie Gore präsentiert, sind in der wissenschaftlichen Literatur der letzten 5 Jahre verankert. Gore räumt auch mit Mythen auf, etwa mit dem, dass ein Abstellen des Golfstroms in Europa zu einer neuen Eiszeit führen könnte. Panikmacher verwenden gerne Worte wie Klimakollaps oder Klimakatastrophe. Gore verwendet den Begriff Klimakrise und betont damit, dass wir nicht hilflos ausgeliefert sind, sondern dass es einen Ausweg gibt. Diesen präsentiert Gore im letzten Teil des Films.

Hier scheint Gores Glaube an die technische Entwicklung und die Erneuerungskraft des politischen Willens auf. Neben globalen Massnahmen, die sich am Beispiel des Verbots von Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffen orientieren sollen, gibt Gore im Abspann des Films und vor allem im zum Film publizierten Buch konkrete Hinweise, wie der Einzelne dazu beitragen kann, die Auswirkungen der Klimakrise zu vermindern und abzuwenden.

«An Inconvenient Truth» überzeugt durch den Inhalt und die Person Al Gores. Der frühere Vizepräsident engagiert sich seit vielen Jahren für dieses Thema und beschafft sich die Informationen aus erster Hand. Will man ein so komplexes Thema in 90 Minuten behandeln, sind Verkürzungen und Vereinfachungen notwendig. Ohne diese

lieferant, wenn die Nahrungszufuhr von aussen einmal knapp wird. Gene für Fucose verwertende Enzyme waren deshalb in den beiden Proben ebenfalls reichlich vorhanden.

Eine weitere gut vertretene Gruppe von Enzymen dient dazu, Kohlenhydrate in kurzkettenige Fettsäuremoleküle umzuwandeln, die von den Darmzellen des Wirts als Energielieferanten aufgenommen werden können. Auch für diese Leistung fanden sich entsprechende Gene, ebenso wie für die Umwandlung von Wasserstoff, der bei Gärungsvorgängen entsteht, in Methangas – eine für die Archäen typische Funktion. In grösserer Menge als erwartet tauchten nach Angaben der Wissenschaftler auch jene Enzyme auf, die Vorstufen der Vitamine B<sub>1</sub> und B<sub>6</sub> herstellen, und solche für die Vorläufer von Cholesterin und Carotinoiden.

## Patentierbare Gene

Für sich genommen sind diese Befunde wenig spektakulär. «Neu ist bei dieser Arbeit nur die Herangehensweise», sagt Michael Blaut vom Deutschen Institut für Ernährungsforschung. Die Bedeutung liege im Weg, den diese Studie weise, urteilt auch Stefan Schreiber vom Universitätsklinikum in Kiel, der Entdecker jenes Gens, das die chronisch-entzündliche Darmerkrankung Morbus Crohn auslöst. Die metagenomische Analyse der Darmflora, so Schreiber, könnte nämlich künftig die Aufklärung des menschlichen Genoms ideal ergänzen.

Als Nächstes ist in Rockville eine systematische Erfassung des kollektiven Mikroorganismen-Erbguts, des sogenannten Mikrobioms, geplant, und zwar im Rahmen eines internationalen Projekts, ähnlich wie bei der Entschlüsselung des menschlichen Genoms. Denn erst mit dem Mikrobiom des Verdauungstrakts ist die Genbibliothek des Menschen komplett.

Die Wissenschaftler in Rockville haben indessen noch ein weiteres Ziel vor Augen: neue Gene zu finden, die wirtschaftlich verwertbar sein könnten. Der Genforscher Craig Venter, ein erster Protagonist der Metagenomik und Begründer des Institute for Genomic Research, hat in ähnlicher Weise etwa aus Wasserproben des Meeres rund 800 Gene für Photorezeptoren gefunden. Dabei handelt es sich um Moleküle, durch die Kleinstlebewesen Licht einsammeln können, um daraus Energie zu gewinnen. Die Hoffnung wäre, dereinst Mikroben mit Photorezeptoren für die Wasserstoffproduktion einzuspannen.

Craig Venter selbst denkt öffentlich bereits darüber nach, Gene von Bakterien patentieren zu lassen. Wer weiss, vielleicht finden sich eines Tages auch im vielfältigen Ökosystem des Dickdarms nutzbare Gene? Die Erforschung des unbekanntes Territoriums im Bauch hat erst begonnen.

## Klima-Vorlesung

◀ Fortsetzung von Seite 85

informiert korrekt, dass die Zerstörungskraft der Wirbelstürme seit den siebziger Jahren zugenommen hat und direkt mit der Meeresoberflächen-temperatur korreliert.

In der weltweiten Klimadebatte steht meistens die Temperatur im Vordergrund. Dies ist eine unzulässige Vereinfachung, an der der Begriff globale Erwärmung nicht ganz unschuldig ist. Nicht so in Gores Film, der besonders auch die Veränderungen des Wasserkreislaufs beleuchtet. Vermehrte Dürren in den Tropen, die Zunahme von Überschwemmungen in mittleren Breiten, das Abschmelzen von Eismas-

würden die Aussagen zwar besser untermauert, ob sie aber auch besser verstanden würden, darf bezweifelt werden. Gore hat als erfahrener Politiker und Kommunikator die Vereinfachung gewählt. Die Aktualität der Fakten, die ausgezeichneten Bilder und verständlichen Grafiken, verbunden mit der Glaubwürdigkeit und Überzeugungskraft von Al Gore, verleihen diesem Film einen hohen Lerneffekt, und dies, ohne die Zuschauer zu langweilen. Geniessen Sie die Frontalvorlesung!

Der Autor ist Professor für Klima- und Umweltphysik an der Universität Bern. Er ist einer der profiliertesten Klimaforscher der Schweiz und Mitautor des neuesten Berichts des internationalen Uno-Klimarates IPCC, der im Januar 2007 publiziert wird.

Lust auf Romantik? [www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch)

Information und Beratung: Holzenergie Schweiz, Tel. 044 250 88 11

