



Am 12. September 2022 stieg vom südenglischen Buckinghamshire aus ein Wetterballon hoch in die Atmosphäre auf. Er trug einen kleineren, etwa basketballgroßen zweiten Ballon, gefüllt mit 400 Gramm Schwefeldioxid. Der abnehmende Luftdruck zog den kleineren Ballon immer stärker auseinander. In etwa 25 Kilometern Höhe – in der Stratosphärenschicht, die als Stratosphäre bezeichnet wird – platzte er und setzte das Schwefeldioxidgas frei, wo es daraufhin mutmaßlich begann, teilweise zu sulfathaltigen Aerosolen zu reagieren. Diese Schwebeteilchen ändern die Energieverteilung in der Atmosphäre: Von der Sonnenstrahlung, die auf sie trifft, wird ein Teil wieder zurück ins All gestreut.

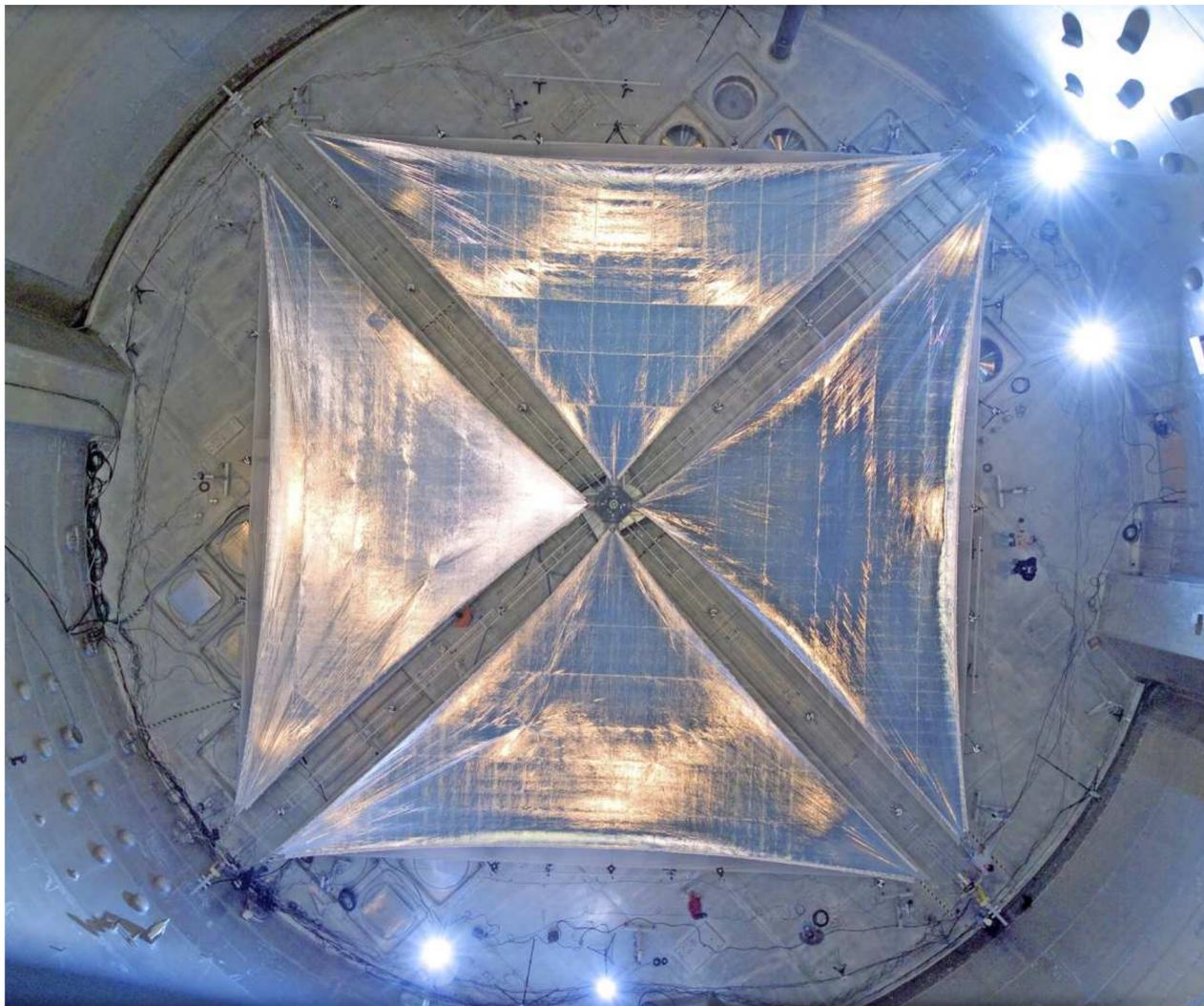
Der Aufstieg eines wissenschaftlichen Ballonexperimentes ist nichts Außergewöhnliches. Hunderte Wetterballons werden täglich mehrfach gestartet, außerdem viele Dutzend aufwendigere Experimente in jedem Jahr. Der Ballon über Buckinghamshire sorgte dennoch für Aufsehen. Denn er war eingebettet in ein Forschungsfeld, das als solares Geoengineering bezeichnet wird: der Versuch, durch Einbringen von Partikeln in die Stratosphäre die auf der Erde eintreffende Sonneneinstrahlung so zu mindern, dass der vom Klimawandel hervorgerufenen Erwärmung entgegengewirkt wird.

Es ist ein Forschungsgebiet, das so umstritten ist, dass sich Wissenschaftler seit Jahrzehnten mit empirischer Forschung zurückhalten. Das wissenschaftliche Freiluft-Experiment „Stratospheric Aerosol Transport And Nucleation“, kurz SATAN, war das erste seiner Art. Der provokante Name sollte die Leute dazu bringen sich zu fragen, ob die extreme Kritik an den Experimenten wirklich gerechtfertigt ist, erklärt der verantwortliche und bis Anfang des Jahres am University College London tätige Wissenschaftler Andrew Lockley auf Nachfrage, merklich gereizt von der Diskussion, die sein Experiment nach sich gezogen hatte: Kollegen hatten Details zum Experiment vor der Veröffentlichung der Ergebnisse an die Medien durchgestochen, ihm mangelnde Ernsthaftigkeit und fehlende Transparenz vorgeworfen. Er habe das Vertrauen der Öffentlichkeit in die Forschung aufs Spiel gesetzt, hieß es. Lockleys Erwiderung: Zu früh die Öffentlichkeit einzubeziehen, habe in der Vergangenheit auch keinen großen Erfolg gehabt. Tatsächlich war der Start eines früheren Experiments der Harvard Universität, genannt „SCOPEX“, an anhaltenden Protesten von Kritikern der Technologie gescheitert. Lockley konnte nun immerhin zeigen: Es ist möglich, mit Ausrüstung, die weniger als 1000 Dollar kostet, SO<sub>2</sub> in die Stratosphäre einzubringen.

Ähnliche Ballons wie die von Lockley werden angeblich schon kommerziell in die Stratosphäre geschickt. Das Unternehmen „Make Sunsets“ um den US-amerikanischen CEO Luke Iseman bietet seit vergangemem Jahr „Cooling Credits“ zum Verkauf an. In „bioabbaubaren Latexballons“ kann man laut Firmenwebsite Schwefeldioxid in der Stratosphäre freisetzen lassen. Ein Gramm als Ausgleich für den Effekt einer Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr; wer ein Monatsabo abschließt, kann 90 Prozent sparen. Der erste Flug fand im April 2022 vom mexikanischen Baja California aus statt, wie „MIT Technology Review“ berichtete. Auf ihrer Homepage beantwortet „Make Sunsets“ die Frage, warum sie die Ersten sind, die so etwas machen: Ihre Vorgänger seien an wohlgemeintem, aber fehlgeleitetem Aktivismus und Patentstreitigkeiten gescheitert. Dabei gebe es eine moralische Pflicht, angesichts des Versagens in der Klimakrise die Dinge selbst in die Hand zu nehmen.

„Es ist so billig, es zu tun, dass es nur eine Frage der Zeit war, dass es irgendwo einen Verrückten gibt, der aus solarem Geoengineering ein Geschäft macht“, sagt Gernot Wagner, Klimaökonom von der Columbia Business School. Die Ausbringung von Aerosolen in die Stratosphäre unterscheidet sich hinsichtlich der Kosten deutlich von anderen teureren und aufwendigeren Varianten des solaren Geoengineerings wie etwa der futuristisch wirkenden Idee, spiegelnde Sonnensegel im All zu positionieren, um auf diese Weise Sonnenlicht von der Erde weg zu lenken.

Die aktuellen Entwicklungen, erste Geoengineering-Freilandversuche mit stratosphärischen Aerosolen zu realisieren, hält er für wenig besorgniserregend. Er selbst gehört zu denjenigen Wissenschaftlern, die sich entschieden für eine



Solares Geoengineering klingt vielleicht nach Sonnensegeln im All, doch aktuell werden preiswertere Strategien diskutiert. Foto NASA

## Eine Frage der Zeit

Die Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen läuft schleppend. Kann das Klima gerettet werden, indem wir die Sonne verdunkeln?

bessere Erforschung dieser Technologie engagieren, 2016 hat er zusammen mit David Keith an der Harvard University das erste große Forschungsprogramm zu solarem Geoengineering ins Leben gerufen. „Es geht darum, Fragen zu dieser Technologie beantworten zu können, bevor sich Politiker selbst eine Antwort geben, ohne dass es eine Faktenbasis gibt“, sagt er. Diese Einstellung liegt im Trend. Auf der ganzen Welt ist eine wachsende Offenheit zu beobachten, sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen – nach einer langen Zeit großer Skepsis. Erste Überlegungen, dem Klimawandel mithilfe von solarem Geoengineering entgegenzuwirken, wurden schon 1965 in einem Bericht des Beratungsausschusses des US-Präsidenten Johnson geäußert – damals war die Idee, die Meeresoberfläche aufzuhellen, um Strahlung zurück ins All zu reflektieren. Verfolgt wurde diese Strategie in den folgenden Jahrzehnten aber kaum.

Erst als 2006 der Nobelpreisträger und Ozonloch-Forscher Paul Crutzen das Thema wieder aufgriff, begann es langsam seinen Tabu-Charakter zu verlieren. In einem Aufsatz wies Crutzen damals auf das Dilemma hin, dass die Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid einen Beitrag zur

Milderung der Klimaerwärmung leistet. Bemühungen zur Verbesserung der Luftqualität tragen entsprechend zum Klimawandel bei. Als Ausweg nannte er zwei Szenarien: Eine Reduzierung der Emission von Treibhausgasen sei bei Weitem der zu bevorzugende Weg. Alternativ könne man aber auch dadurch eine Kühlung erreichen, dass man das Sonnenlicht reflektierende Aerosole in die Stratosphäre einbringt.

Dass diese Strategie im Prinzip funktioniert, war schon einige Male in der Geschichte zu beobachten, besonders eindrücklich im Jahr 1991, als der philippinische Vulkan Pinatubo ausbrach und bis zu 20 Millionen Tonnen SO<sub>2</sub> in die tropische Stratosphäre blies. Im folgenden Jahr fiel die globale Durchschnittstemperatur um 0,5 Grad niedriger aus. Solch eine Abkühlung – das ist wichtig zu betonen – wäre allerdings nur die Linderung eines Symptoms des Klimawandels. Weder würde die Verdunkelung der Sonne die erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration rückgängig machen noch ein Mittel gegen die Versauerung der Meere liefern. Das heißt aber auch: Sobald man das wiederholt durchzuführende solare Geoengineering beenden würde – die Aerosole verbleiben nur ein bis zwei Jahre in der Stratosphäre –, würden die globalen Temperaturen sprunghaft ansteigen.

Zudem sind die potentiellen Risiken und unerwünschten Folgen solch eines Eingriffs zahlreich. Sie reichen von einer schwerer zu prognostizierenden Veränderung des regionalen Klimas, veränderten Niederschlagsmustern, möglichen Ernteausfällen und Beeinträchtigungen des Pflanzenwachstums über eine Schädigung der Ozonschicht durch die sulfatbasierten Aerosole hin zu reduzierter Ausbeute von Solaranlagen, einer ausgebleichten Farbe des Himmels und drohenden geopolitischen Konflikten hinsichtlich der Kontrolle und Steuerung dieser Technologie. Für die große Zurückhaltung der Wissen-

schaftler war und ist allerdings vor allem noch etwas anderes ausschlaggebend: Die Sorge, dass das Wissen um einen solchen Plan B im Kampf gegen die Klimaerwärmung den Einsatz für die Minderung der schädlichen Treibhausgasemissionen reduziert. Bezeichnet wird das als „moralisches Risiko“: In der Hoffnung auf eine zukünftige technologische Lösung macht man einfach weiter wie bisher.

„Das eigentlich Verrückte am solaren Geoengineering wäre, wenn man glaubte, dass es als isolierte Maßnahme zu verstehen ist“, sagt Gernot Wagner. „Ähnlich verrückt wie zu sagen: Wir verzichten auf Elektromotoren und Solaranlagen, weil wir auf Wasserstofftechnologie und Fusionsreaktoren warten.“ Er sieht solares Geoengineering als eine Art Schmerzmittel, das die Folgen des Klimawandels abschwächen kann, während gleichzeitig mit unverändertem Einsatz die Emissionen reduziert werden müssen.

In Deutschland werden auch solche Überlegungen unverändert kritisch gesehen. Das Umweltbundesamt spricht sich auf seinen Seiten für eine weltweite Regulierung von Geoengineering-Technologien aus – nicht nur wegen des moralischen Risikos, sondern auch aus Ablehnung der Vorstellung, der Mensch sei in der Lage, globale Umweltprozesse zu verstehen und zu steuern, sowie der Idee, entgegen dem Umweltvölkerrecht einen Schadstoffeintrag in die Umwelt zu fördern. Anders in den Vereinigten Staaten. 2021 empfahlen die National Academies of Science, Engineering and Medicine in ihrem Bericht „Reflecting Sunlight“, innerhalb von fünf Jahren 100 bis 200 Millionen Dollar in entsprechende Forschung zu investieren. Solch eine strategische Investition sei notwendig, um Politikern ein besseres Verständnis für mögliche Reaktionen auf den Klimawandel zu geben. Im Juni dieses Jahres folgte daraufhin die Veröffentlichung eines entsprechenden For-

schungsplans durch das OSTP, das wissenschaftliche Beratungsgremium der Biden-Regierung. Neben stratosphärischer Aerosol-Injektion wurden darin auch eine mögliche Aufhellung von Meereswolken sowie die Ausdünnung von Zirruswolken als andere Varianten des Geoengineerings genannt. Wichtig sei insbesondere, auch die gesellschaftlichen Dimensionen des Problems in einem interdisziplinären Programm zu erforschen – und zwar möglichst transparent und in internationaler Kooperation.

Was diese Forschung am Ende bewirken wird, bleibt unklar. Kritiker befürchten, dass eine Etablierung des Forschungsfeldes einer kritischen Diskussion der Technologie entgegenwirken könnte. Es gibt auch noch Fragen bezüglich der generellen Realisierbarkeit: Für eine messbare Abkühlung des Klimas wäre das Einbringen großer Mengen Schwefeldioxid in die Atmosphäre nötig. Mit Ballonen wäre das mühsam, entsprechende Flugzeuge oder Raketen zu bauen ist schon aufwendiger. Trotzdem wäre es denkbar, dass etwa vom Klimawandel besonders in Mitteleuropa gezogene Länder oder sogar wohlhabende Einzelpersonen innerhalb der kommenden Jahrzehnte Geoengineering im Alleingang in Angriff nehmen könnten – unbeeinträchtigt von der möglicherweise in weiterer Forschung herausgearbeiteten Risiken. Schätzungen zufolge würde solares Geoengineering pro Jahr schließlich nur wenige Milliarden Dollar kosten.

Gernot Wagner könnte sich noch eine andere Lösung vorstellen. Seine These: Je konkreter über riskantes solares Geoengineering diskutiert werde, desto größer sei die Motivation der Menschen, sich für alternative Wege einzusetzen. Mit Blick auf die vergangene Entwicklung hochrisikanter Technologien mag diese Vorstellung sehr optimistisch erscheinen. SIBYLLE ANDERL



## Denk-Unkultur

Von Andreas Kilb

Seit zwei Jahren läuft in der deutschen Geschichtswissenschaft eine Debatte, die eigentlich keine ist – denn die eine Seite liefert Argumente, die andere nur Behauptungen. Es begann mit der These des australischen Historikers A. Dirk Moses, in der deutschen Erinnerungskultur herrsche ein neuer „Katechismus“, der aus der Unvergleichbarkeit des Holocausts mit anderen Menschheitsverbrechen die bedingungslose Solidarität mit dem Staat Israel und seinem politischen Handeln ableite. Diesem Konstrukt haben seither viele mit guten Gründen widersprochen, wenige haben es unterstützt und propagiert. Zu den Unterstützern gehört der Hamburger Geschichtswissenschaftler Jürgen Zimmerer, der mit Forschungen zu historischen Kontinuitäten zwischen dem Völkermord an Herero und Nama in Deutsch-Südwestafrika und der Massenvernichtung der europäischen Juden hervorgetreten ist. In der neuesten Ausgabe des Magazins „ZEIT Geschichte“ geriert sich Zimmerer nun als Vermittler zwischen Moses und dessen Kritikern, weil er „mit beiden Seiten im Gespräch“ bleibe. Im zentralen Punkt der Auseinandersetzung aber bleibt er strikt bei Moses, indem er den Deutschen attestiert, ihre Vergangenheitsbewältigung erfolge „ein völkisches Konzept von Deutschtum“ und reduziere die Lehren aus dem Nationalsozialismus „auf den Holocaust und eine bestimmte Form antisemitischer Verbrechen“. Hat Zimmerer die Geschichtsdebatten der letzten sechzig Jahre verschlafen? Hat er die Kontroverse um die Wehrmachtsausstellung verpasst? Ist ihm entgangen, dass es in Berlin nicht nur ein Holocaust-Mahnmal, sondern auch eines für die ermordeten Sinti und Roma und die verfolgten Homosexuellen gibt; dass dort ein Polnisches Haus und ein Dokumentationszentrum zur deutschen Besatzungsherrschaft in Europa geplant sind? Nein, das alles ist Zimmerer durchaus bewusst, er blendet es nur aus, weil es nicht in sein Weltbild passt, in dem außer den europäischen Juden nur eine wichtige Opfergruppe existiert, die Opfer des Kolonialismus. Auch für sie wird ganz sicher bald eine Gedenkstätte in Berlin entstehen, weil die deutsche Erinnerungskultur eben nicht auf Exklusion, sondern auf Vollständigkeit angelegt ist. Aber das genügt der Katechismus-Fraktion nicht, sie will, dass mit dem Bekenntnis zum Staat Israel, der für sie eine koloniale Gründung „des Westens“ auf arabischem Gebiet ist, auch die einzigartige Bedeutung der Schoa für die deutsche Geschichtspolitik verabschiedet wird. Deshalb versteigt sich Zimmerer zuletzt zu der absurden These, Juden seien von den Nationalsozialisten als „nichtweiß“ konstruiert und „vor allem mit dem osteuropäischen, traditionellen Judentum assoziiert“ worden – als hätte Hitlers Vernichtungsapparat seine Opfer nicht nach familiärer Herkunft statt nach Hautfarbe ausgewählt. Aber so geht es mit Ideologien: Je genauer man sie anschaut, desto schärfer treten ihre Ungenauigkeiten hervor. Am Ende bleiben Behauptungen. Also nichts.

## Frankfurt Oper des Jahres

Die Oper Frankfurt ist aus der Kritikerumfrage des Fachmagazins „Opernwelt“ zum siebten Mal und in direkter Folge zum vergangenen Jahr als „Opernhaus des Jahres“ hervorgegangen. Zusätzlich wurde die Oper „Die ersten Menschen“ von Rudi Stephan aus dem Jahr 1914, ebenfalls in Frankfurt von Tobias Kratzer und Sebastian Weigle herausgebracht, als „Wiederentdeckung des Jahres“ gewürdigt. Bei der „Uraufführung des Jahres“ liegt die Frankfurter Produktion von Vito Zurajs Thomas-Mann-Adaption „Blühen“ gleichauf mit „La légende de Tristan“ von Charles Tournemire, die fast hundert Jahre nach der Komposition am Theater Ulm erstmals gezeigt wurde. Auch der Titel „Chor des Jahres“ geht wieder an die Oper Frankfurt. „Regisseur des Jahres“ wurde Dmitri Tcherniakov, „Dirigent des Jahres“ einmal mehr Kirill Petrenko (für „Die Frau ohne Schatten“ in Baden-Baden). Der Titel „Sänger des Jahres“ geht mit jeweils gleicher Stimmenzahl an Michael Völle und Konstantin Krimmel. F.A.Z.



Ideen von heute für die Welt von morgen

### Schutz vor der Sonne

**13** Klar: Der beste Weg, um den Klimawandel aufzuhalten, wäre es, konsequent global die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren. Doch da die Umsetzung dieses Plans so schwierig erscheint, wird schon über weitere Strategien nachgedacht. Der Atmosphäre Kohlendioxid zu entziehen ist eine. Aktiv die auf der Erde ankommende Sonnenstrahlung abzdunkeln eine andere. Sofern man für Letztere nicht auf teure Sonnensegel im All zurückgreift, sondern reflektierende Partikel in der Stratosphäre verteilt, wäre das sogar preiswert. Aber wollen wir das? sian.  
(Siehe Artikel auf dieser Seite.)

### Sprechen Sie Computer?

**14** Auf die große Umwälzung, die sich ergab, als vernetzte Maschinen das, was Menschen so schreiben oder sagen, sowohl als Archivmaterial wie als heiße Nachricht in immer größerem Umfang plötzlich immer mehr Leuten zugänglich machten, folgt jetzt eine noch größere: Maschinen scheinen selbst zu kommunizieren und verändern damit noch schneller, wie wir das tun. Die Aufgabe, neue Begriffe von Denken und Sprache zu bilden, wird zur sozialen Existenzfrage. dda.  
(Siehe Artikel Seite 13.)

### Seelen statt Netzwerke

**15** Während die Debatte um Zuschauererschwind und leere Schauspielhäuser noch schwelt, drängt die grundsätzliche Frage nach der Zukunft des Theaters auf Antwort. Dabei wird Zukunft oft vorschnell mit Digitalität gleichgesetzt. Gibt es neben VR-Brillen und immersiven Bilderfassungen nicht doch noch andere Phantasien? Zum Beispiel von einem Theater der Menschen statt der Identitäten, der Seelen anstelle der Netzwerke? Wie könnte ein Theater der Zukunft aussehen, das die Sinne schärft, statt den Verstand zu langweilen? stra.  
(Siehe Artikel Seite 14.)

### Geld und Zuversicht

**16** Die Kindheit sollte die Zeit des freien Spiels und der Entfaltung sein. Eine Zeit, in der es um mehr geht als die Aneignung von Kompetenzen. Eine aktuelle UNICEF-Studie zeigt, dass die Zufriedenheitswerte unter den Heranwachsenden hierzulande miserabel sind. Dies hat einerseits ökonomische Gründe und andererseits damit zu tun, dass bereits die Jüngsten in ein Korsett der Optimierung eingeschnürt sind. Was es braucht, ist mehr Gelassenheit. mmü.  
(Siehe Artikel Seite 14.)

### Bibliothek der Verheißung

**17** Gute Ideen sind das Kapital der Literatur, vor allem solcher aus den Genres Science-Fiction und Utopie, die uns von Dingen erzählen, die es noch nicht gibt. Wobei man sich streiten kann, ob unglückliches künstliches Leben oder eine gemäß totalitären Glücksverheißungen regierte Insel (um die Gegenstände der Urtexte beider Genres zu nennen) gute Ideen sind. Und doch sind aus „Frankenstein“ und „Utopia“ zahllose weitere Meisterwerke erwachsen, die die Hoffnung nicht aufgegeben haben, gegen alle Vernunft und Erfahrung. Eine Bibliothek der Verheißung, das wäre etwas – gegen die Verheißung, Notfalls sogar als E-Bibliothek. apl