

# Die Klima-Klempner

Kohlendioxid umwandeln, die Sonne dimmen, Wüsten begrünen: Experten planen gigantische Projekte, die den Klimawandel abwenden sollen. Kann **Geoengineering** den Planeten retten?

**Wachstumswächter**  
Ingenieur Andreas Apel kontrolliert das Gedeihen der Salzwasseralge *Microchloropsis salina* in einer Versuchsanlage der TU München

**CO<sub>2</sub>-Fresser**  
Hochleistungsfotosynthese: *Microchloropsis* verwandelt das Treibhausgas in ein Ausgangsmaterial für Biosprit, Kunststoff und Carbonfasern

**D**er Schatz verbirgt sich in einem unauffälligen Stahlschrank eines Laboratoriums der Technischen Universität München. Grün schimmert er bei 27 Grad Celsius in Dutzenden kleinen Phiolen auf dem Forschungscampus Garching. „Das hier“, sagt Professor Thomas Brück, „ist Millionen wert.“

Brück ist Biochemiker und Chef einer Forschungsgruppe, die sich mit der Frage beschäftigt, wie die Erderwärmung gestoppt werden kann. Der grün schimmernde Stoff in den Glasfläschchen besteht aus Algen, genauer gesagt: aus einer besonderen Züchtung der Salzwasseralge *Microchloropsis salina*. Mit ihrer Hilfe will Brück die Welt retten.

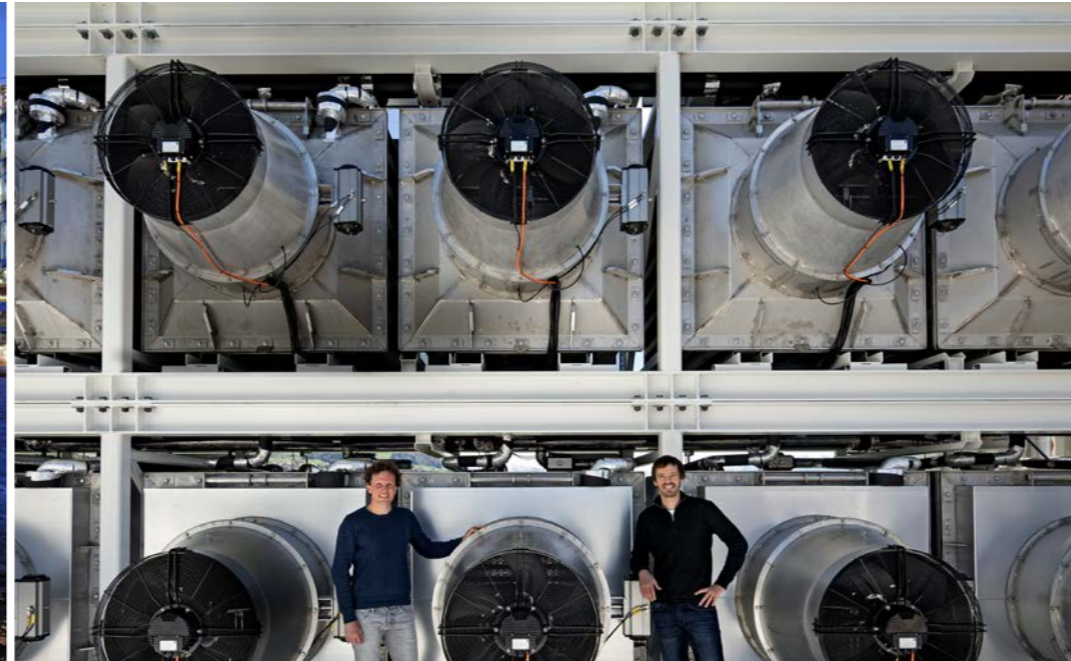
*Microchloropsis* betreibt Fotosynthese. Das bedeutet: Mithilfe von Licht wandelt die Alge Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser in Biomasse um. Das CO<sub>2</sub>-Gas ist dann raus aus der Luft, und das ist gut, denn CO<sub>2</sub> gilt als Hauptschuldiger für Klimawandel und Erderwärmung.

Forscher wie Thomas Brück überlegen sich, wie man überschüssiges CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernen kann. Man nennt das Carbon Dioxide Removal (CDR). ▶



### Ab in die Tiefe

Beim Northern-Light-Projekt in Norwegen wird Kohlendioxid von der Plattform Sleipner aus in stillgelegte Gaskavernen unter der Nordsee gepresst. Großbritannien testet ähnliche Verfahren. Noch ist nicht sicher, ob die unterirdischen Lagerstätten dauerhaft dicht halten



### Schadstoffe aus der Luft filtern

Das Schweizer Start-up Climeworks der Gründer Anlagen, die CO<sub>2</sub> mit Filtern aus Zellulose und Auch Firmen aus den USA und Kanada produzieren



### Simulierte Vulkanausbrüche

Hoch über den Wolken könnten Jets winzige Schwebeteilchen verteilen, sogenannte Aerosole. Ähnlich wie Staubwolken, die von Vulkanen in den Himmel gejagt werden, würden sie die Einstrahlung der Sonne verringern. Das gäbe Verschwörungstheorien Nahrung, „Chemtrails“ vergifteten die Welt

Das Verfahren ist nur in gigantischem Maßstab sinnvoll. Schließlich geht es um Milliarden Tonnen von Gas, die eliminiert werden müssen. Andere Wissenschaftler erwägen Projekte, die den Strahlungshaushalt der Atmosphäre verändern würden. Geoengineering oder Climate Engineering nennen sich die weltweiten großtechnischen Eingriffe, die den Klimawandel stoppen sollen. Manchmal klingt es so, als würden größenwahnsinnige Wissenschaftler Gott spielen.

Die amerikanische Weltraumbehörde NASA zum Beispiel will große Teile der Sahara mit schnell wachsenden Bäumen bepflanzen. Riesige, einen Kilometer tief unter der Erde liegende Grundwasserspeicher sollen dafür angezapft werden. Auf einer eine Milliarde Hektar großen Fläche sollen eine Billion Bäume jährlich 10 bis 30 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre filtern – etwa so viel, wie die Menschheit mit dem Verbrennen von Kohle, Gas, Benzin und Öl hineinbläst.

### Das Meer umwälzen

Andere Pläne sehen vor, ganze Gebirgsketten zu Rollsplitt zu zermahlen, weil pulverisierter Stein CO<sub>2</sub> binden kann. Auch eiskaltes Tiefenwasser aus dem Ozean, mit gewaltigen Pumpen nach oben befördert, könnte viel CO<sub>2</sub> aufnehmen. Das deutsche Alfred-Wegener-Institut sowie Organisationen in Kanada, Peru, Chile und Südkorea wollen Millionen Quadratkilometer Meeresoberfläche mit Eisenpulver bestreuen. Dadurch wird

das Algenwachstum angeregt. Die Algen brauchen dafür – wie in den Versuchen an der TU in München – CO<sub>2</sub>. Nach ein paar Wochen sterben sie ab und verhaken sich zu schleimigen Klumpen. „Wir konnten nachweisen, dass über 50 Prozent der Planktonblüte mehr als 1000 Meter tief absank“, behauptet der Versuchsleiter Victor Smetacek in einer Pressemitteilung. „Dies deutet darauf hin, dass ein Teil des Kohlenstoffs der Algenblüte über Zeitskalen von mehr als 100 Jahren im tiefen Ozean und in den Sedimenten am Meeresboden gespeichert werden kann.“ Treffer, versenkt!

### Mancher Versuch ging daneben

Allerdings sind andere Versuche auf hoher See gründlich misslungen. Statt abzutauchen, dümpelten die Algenleichen wochenlang an der Meeresoberfläche und erstickten dort jedes Leben. „Totzonen“ nennen das die Forscher.

Norwegen filtert CO<sub>2</sub> aus der Luft und presst es in leer gepumpte Ölfelder unter der Nordsee. Auch Großbritannien arbeitet daran. Aber die Projekte sind noch in der Versuchsphase. An der verlassenen Gasplattform Goldeneye, 100 Kilometer vor der schottischen Küste, werden gerade drei Tonnen CO<sub>2</sub> mit chemischen Markern versehen und in die Bohrlöcher gedrückt. Mithilfe der Marker will man erkennen, ob die Kavernen unter dem Meeresboden dicht sind.

Da ist Brücks Münchner Projekt schon weiter. In einer Testanlage auf dem Airbus-Gelände im Süden von München

wachsen die Algen auf einer Fläche von 1500 Quadratmetern in zwei großen Pools. Microchloropsis ist eine Salzwasser-alge. Das ist gut, weil Salzwasser einen höheren ph-Wert als Süßwasser hat und dadurch mehr CO<sub>2</sub> speichert. Im offenen Meer allerdings kann man die Alge schlecht züchten – zu viele Wellen, Strömungen, Fische und sonstige Unwägbarkeiten. Die Pools sollen deshalb in Strandnähe entstehen, das Meerwasser wird dann dorthin gepumpt. Auch im Binnenland vermehrt sich Microchloropsis prima, vorausgesetzt, man streut das richtige Salz ins Wasser. „Das zu finden“, sagt Brück, „war eine Herausforderung.“ Als ideal erwies sich Salz aus dem Alpenort Bad Reichenhall, mit dem bayerische Brezen bestreut werden. Brück hat ein Abo für 40 Tonnen pro Jahr.

Wenn man die Algen gut salzt, Stickstoff, Phosphor und Eisen als Dünger hinzufügt, jede Menge CO<sub>2</sub> ins Wasser bläst, die Temperatur stimmt und die Sonne scheint, dann wächst Microchloropsis zehnmal schneller als jede Landpflanze und verarbeitet 90 Prozent des CO<sub>2</sub> in Biomasse. Nach 14 Tagen wird der Algenbrei abgefischt und zentrifugiert. Das glibberige Grünzeug ist ziemlich ölig. Es enthält bis zu 73 Prozent Fett in der Trockenmasse.

### So wertvoll wie Erdöl

Das hat mit einem Trick zu tun, den die Forschergruppe um Brück sich ausgedacht hat. Kurz vor der Ernte werden die Algen unter Stress gesetzt, indem

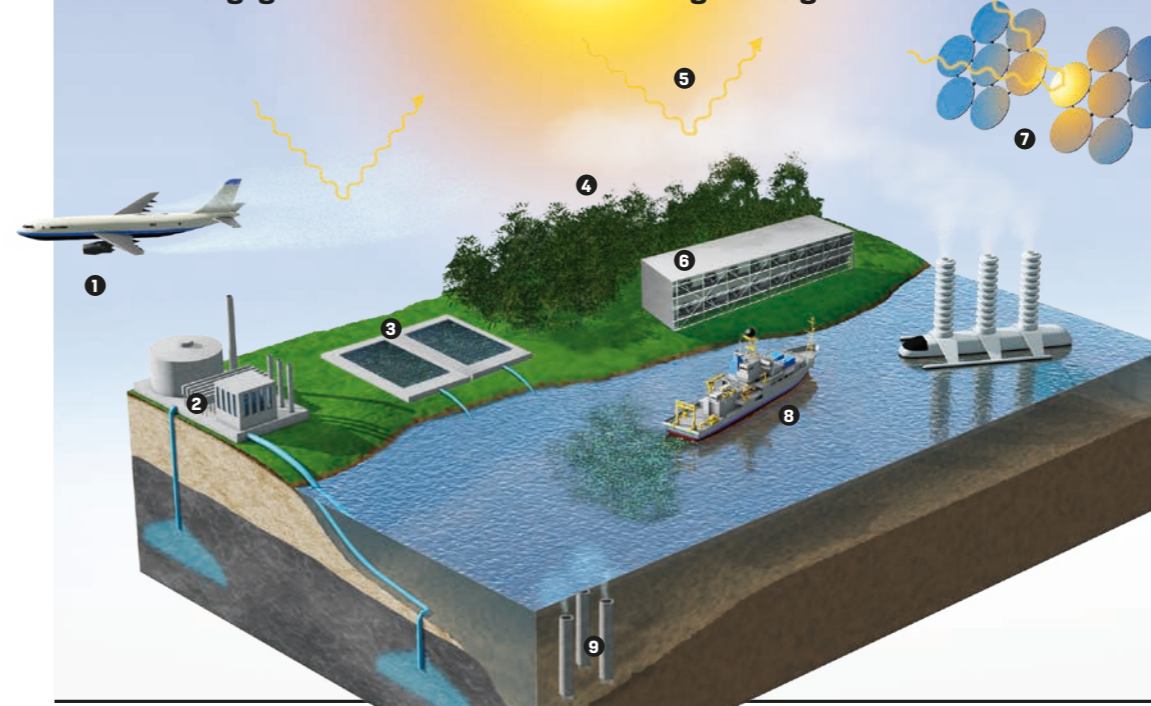
man ihnen keinen Stickstoffdünger mehr gibt. Als Panikreaktion lagern sie Fett ein und stoppen das Wachstum. Das Fett ist genau das, was Brück braucht. Es ist nämlich ähnlich wertvoll wie Erdöl. Aus Algenöl kann man Biosprit machen, Kunststoffe oder Carbonfasern. Brücks Microchloropsis-Bioreaktor ist heute

rentabel. Wenn das Verfahren die Welt retten soll, sollte es allerdings keinen Biosprit erzeugen. Der jagt bei der Verbrennung das eingefangene CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre. Besser sind die Carbonfasern. Aus ihnen kann man etwa Karosserien oder Flugzeugflügel fertigen. Sie könnten Bleche aus Stahl und Alu-

minium ersetzen, bei deren Herstellung besonders viel CO<sub>2</sub> entsteht.

Zukunftspotenzial hat auch eine neue Erfindung: Wenn man die Carbonfasern aus Algen mit hauchdünnen Granitplatten zu einem sogenannten Composit vereint, ließen sie sich zum Bauen verwenden anstelle von Zement und Beton, ►

## Den Folgen des technischen Fortschritts mit fortschrittlicher Technik begegnen: neun Methoden des Geoengineerings



- 1 Die Erde verdunkeln  
Flugzeuge verteilen Schwefelpartikel oder Silberjodid
- 2 CO<sub>2</sub> deponieren  
Kraftwerke fangen ihre Abgase ein
- 3 Algenfarmen bauen  
CO<sub>2</sub> wird in Öl verwandelt
- 4 Bäume pflanzen  
Billig und sicher CO<sub>2</sub> binden
- 5 Wolken erzeugen  
Schiffe zerstäuben Meerwasser
- 6 CO<sub>2</sub>-Filter  
Das Gas wieder aus der Luft holen
- 7 Spiegel ins All schießen  
Sonnenstrahlen in der Erdumlaufbahn ablenken
- 8 Ozeane düngen  
Mit Eisen das Algenwachstum fördern
- 9 Meere umwälzen  
Kaltes Tiefenwasser nach oben pumpen

Fotos: Kjell Alsvik, Gaetan Bailly/dpa, NASA/Lori Losey



### Hüllen für Gletscher

In Graubünden decken Helfer den Diavolezza-Gletscher mit Tüchern ab, um sein Schwinden zu bremsen. Die weißen Vliese reflektieren das Sonnenlicht. Einen kühlenden Effekt hätte es auch, würden möglichst viele Dächer und Flächen in Siedlungen weiß gestrichen

bei deren Produktion ebenfalls viel CO<sub>2</sub> emittiert wird. Wenn die Carbon-Granit-Häuser nach 50 Jahren wieder abgerissen werden, verfüllt man mit dem Schutt einfach leer gebaggerte Braunkohlegruben. Das gespeicherte CO<sub>2</sub> ist damit für immer und ewig aus dem Kreislauf entfernt.

Bisher bezieht Brück sein CO<sub>2</sub> aus Gasflaschen, die mit Industriegasen aus der Stahlindustrie gefüllt sind. Die Algen sind nicht besonders wählerisch, was die Reinheit betrifft. Künftig soll aber auch CO<sub>2</sub> verwendet werden, das direkt aus der Luft extrahiert wird, beispielsweise mit Anlagen des Schweizer Start-ups Clime-works. Sie saugen Luft an und leiten sie durch chemische Filter, die das Kohlendioxid binden.

Uwe Arnold, ein Verfahrenstechniker von der Beratungsfirma AHP Solutions, hat Brücks Algenprojekt durchgerechnet. Die Zahlen sind gigantisch. Wenn man alles CO<sub>2</sub> aus der Luft holen will, das die Menschheit hineinpustet, müsste man nach dem heutigen Stand der Technik 8,6 Millionen Quadratkilometer Erdoberfläche mit Algenfarmen bestücken. Das entspricht etwa der Fläche von Brasilien. Dazu bräuchte man etwa 100 000 Fabriken, die aus den Algen Kohlefasern, Biosprit und Harze gewinnen. Jede kostet 600 Millionen Dollar. Macht summa summarum über 60 Billionen Dollar an Investitionen. Das ist



**»Wer jetzt investiert und Mut zeigt, wird in 15 Jahren ganz vorn dabei sein«**

**Thomas Brück,**  
TU München

viel Geld. Zum Vergleich: 2018 lag das weltweite Bruttoinlandsprodukt (BIP) bei etwa 85 Billionen Dollar.

Brück hat keine Angst vor den Kosten. „Wer jetzt investiert und Mut zeigt“, sagt er, „wird in 15 Jahren ganz vorn dabei sein, wenn die klassischen Weltmächte mit ihrer erdölbasierten Industrie irrelevant werden.“ Deutschland, glaubt Brück, ist gut aufgestellt. „Wir haben mehr Mut als die anderen. Wer sonst ist so radikal aus Kohle- und Atomenergie ausgestiegen?“

Wenn aber neben der CO<sub>2</sub>-Vermeidung auch die Rückgewinnung die Erderwärmung nicht stoppen kann, bietet das Geoengineering noch eine weitere Möglichkeit: Solar Radiation Management (SRM). Bei SRM geht es darum, die Sonne zu dimmen oder ihre Strahlen ins All zurückzuschicken. Dazu kann man Schwefelpartikel mit Spezialflugzeugen in der Atmosphäre verteilen, künstliche Wolken erzeugen oder Millionen kleine Spiegel in eine Erdumlaufbahn bringen. Einfacher ist es, alle Oberflächen von Gebäuden weiß zu streichen oder nur noch helle Pflanzen anzubauen. Das reflektiert die Wärmestrahlung.

Allen Geoengineering-Projekten ist gemein, dass sie bisher nur in Computersimulationen global berechnet wurden. Was tatsächlich passiert, wenn Menschen die Welt mittels Technologie retten wol-

len, Milliarden Bäume pflanzen, Landstriche mit Algenfarmen überziehen, Schwefel in den Himmel pusten oder Gebirgsketten zermalmen, ist unbekannt. Was ist, wenn sich das Klima dadurch so verändert, dass einige Länder profitieren und andere darunter leiden? Was ist, wenn dadurch Unwetter, Überschwemmungen oder Trockenzonen entstehen?

In Deutschland herrscht daher eine grundsätzliche Skepsis. Die Bundesregierung sagt, die Forschung habe grundlegende Risiken des Geoengineerings aufgedeckt, und setzt deshalb lieber „auf die Minderung von Treibhausgasemissionen, den Erhalt und die Verbesserung der natürlichen Senkenleistung sowie auf Anpassungsmaßnahmen“.

### Die Bundeswehr ist alarmiert

Sogar die Bundeswehr ist involviert. Im November 2012 veröffentlichte das Dezernat Zukunftsanalyse des militärischen Planungsamtes eine Analyse der geostrategischen Gefahren durch Geoengineering. „Ein möglicher Einsatz von Streitkräften bei einem Konflikt infolge des Einsatzes von Geoengineering kann nicht ausgeschlossen werden“, heißt es in dem Bericht, der FOCUS vorliegt. „Auch der Schutz der für einen Eingriff in das Klimasystem nötigen zivilen Infrastruktur oder die Bereitstellung militärischer Infrastruktur hierfür wären denkbare Optionen für den Einsatz der Bundeswehr.“ An dieser Einschätzung hat sich bis heute nichts geändert, teilt die Bundeswehr auf Anfrage mit.

Die große Gefahr sind nach Ansicht der Militärs nicht staatliche Akteure. Das Konfliktpotenzial zwischen zivilen Befürwortern und Gegnern des Geoengineerings erscheint bedrohlicher. Auf der einen Seite könnten superreiche Einzelkämpfer mit Milliardeninvestitionen versuchen, die Welt im Alleingang zu retten. Auf der anderen Seite stehen organisierte „Green Warriors“, die sich den Monsterprojekten entgegenstellen, weil sie dahinter eine Verschwörung des militärisch-industriellen Komplexes gegen die Umwelt und überhaupt die Menschheit sehen.

Aber grundsätzlich ist die Bundeswehr optimistisch. „Gegensätze“, sagt Annika Vergin vom Dezernat Zukunftsanalyse, „haben ein hohes Potenzial für Kooperationen.“ Und wenn nicht, sind die Truppen vorbereitet. ■

MICHAEL KNEISSLER

Fotos: Frieder Blicke/laif, Andreas Heddergott/TU Muenchen

# Thermaplast<sup>®</sup>

MED+



**NEU**  
Aus Ihrer Apotheke

## Mehr Bewegung. Weniger Schmerz.

Dank hochflexibler Wärme-Pads.



Therapeutische Tieferwärme



Gezielte Schmerzlinderung



Hochflexibles Wärmepflaster



Für Rücken & Nacken



Spiral-Wärme-Technologie



**JETZT TESTEN!**  
nur 3,95€

\*Bsp. des Herstellers für die Ver-Preisung

Pflaster-Technologie von  
**Thermaplast**