

TechnoScope

by satw 1/21



KLIMA

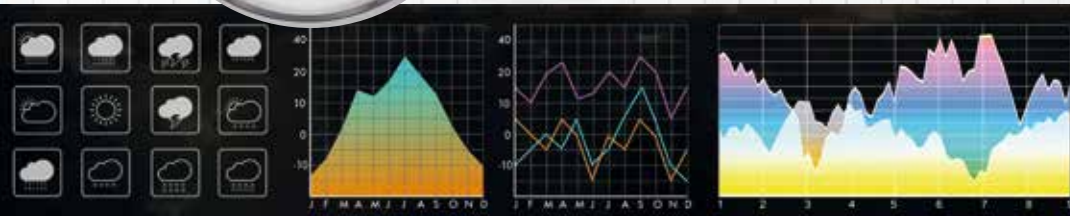
Wie retten wir das Klima?

Wie bauen wir das Klima nach?

Wolken, Atmosphäre, Ozeane, Vulkane, Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Treibhausgase, Landnutzung: Ein so kompliziertes System wie das Weltklima mit all seinen Wechselwirkungen lässt sich nicht im Labor nachstellen. Um zu verstehen, wie sich die Veränderung einzelner Teile auf die Lebensbedingungen auf unserem Planeten auswirken kann, verwenden Forschende deshalb sogenannte **Klimamodelle**. Diese umfangreichen Computerprogramme beruhen auf mathematischen Gleichungen, denen wiederum die Gesetze der Physik zugrunde liegen. Gefüttert mit Daten aus Beobachtungen und Experimenten berechnen die **Simulationsprogramme** mögliche zukünftige Klimaveränderungen. Das Resultat dieser Modelle sind also Szenarien, die Wenn-Dann-Aussagen machen.

Modelle sind vereinfachte Abbildungen der Wirklichkeit. Auch Klimamodelle sind immer nur Annäherungen an eine wahrscheinliche Entwicklung des Klimas und ihre Aussagen werden umso unsicherer, je weiter das beschriebene Szenario in der Zukunft liegt. Dennoch sind sie ein brauchbares Instrument, um das Klimasystem zu verstehen und um die **Risiken und Chancen** verschiedener Veränderungen zu bewerten. Und sie sind das einzige, das wir zurzeit haben: «Hätten wir Beobachtungen aus der Zukunft, würden wir ihnen natürlich viel mehr vertrauen als den Modellen», sagt dazu Tom Knutson, ein bekannter Klimaforscher aus den

USA, «aber unglücklicherweise sind Beobachtungen aus der Zukunft zurzeit nicht verfügbar.»



Forschung in eisigen Höhen

Frostklirrende Luft, ewiger Schnee, strahlende Viertausender. Befinden wir uns im Reich der Eisprinzessin? Möglich. Sicher aber befinden wir uns an der höchstgelegenen Forschungsstation Europas auf 3571 m ü. M. Das Jungfraujoch ist nicht nur Standort für astronomische Beobachtungen, sondern auch für eine Reihe von Projekten und Messungen im Rahmen der Klimaforschung. Insbesondere der Zustand der Atmosphäre und deren Veränderungen bilden einen Schwerpunkt der Forschung auf dem Jungfraujoch. Die Forschungsstation ist Teil mehrerer nationaler und internationaler Netzwerke, wie des Global Atmosphere Watch, in denen weltweit gesammelte Daten ausgewertet werden.



Wie kam es dazu?

Mit der grossen Höhe und der sauberen Bergluft herrschen auf dem Jungfraujoch ideale Bedingungen für die Erforschung bestimmter Fragestellungen aus den Bereichen Umwelt, Glaziologie, Geophysik, Meteorologie, Astronomie, Strahlenforschung oder Medizin. Geforscht wurde auf dem Jungfraujoch deshalb schon lange. Doch seit dem Bau des hochalpinen Forschungsinstituts im Jahre 1931 können Wissenschaftler mit mehr Komfort und Sicherheit ihre Forschung betreiben.

Dazu trägt massgeblich auch die Jungfraubahn bei, seit deren Inbetriebnahme 1912 riskante Expeditionen hinfällig wurden. Die Bahn verdankt ihre Errichtung nicht nur dem aufblühenden alpinen Tourismus; der Bundesrat genehmigte den Bau der Jungfraubahn unter der Bedingung, dass diese die Forschungsstation finanziell unterstützt.



Wie läuft es ab?

Die Hochalpine Forschungsstation Jungfraujoch wird nach dem Gästeprinzip betrieben und steht Forschenden aus der ganzen Welt offen. Physik, Medizin, Glaziologie und viele andere Disziplinen sind hier vertreten. Die Forschenden bleiben nur vorübergehend auf der Station, den Hauptteil ihrer Arbeit, wie die Auswertung der gemessenen Daten, verrichten sie in ihrem jeweiligen Forschungsinstitut. Die auf der Station installierten Messgeräte, die ungefähr 50 Forschungsprojekte bedienen, übermitteln über 100 gemessene Variablen übers Internet an die jeweiligen Arbeitsplätze. Nur die Betriebswarte, zwei sich abwechselnde Paare, besetzen die Station kontinuierlich. Sie betreuen die Gäste, die Infrastruktur und die Messgeräte und versorgen MeteoSchweiz mehrmals täglich mit Wetterbeobachtungen per Auge, wie Wolkentypen, Höhe der Wolken oder Sichtweite.



Was wird gemessen?

Wettermessungen haben die Forschung auf dem Jungfraujoch begründet und werden nun automatisiert weitergeführt. Diese Daten dienen nicht nur der Wetterprognose, sondern sind auch eine Grundlage für die Klimaforschung und zeigen die Folgen des Klimawandels im alpinen Raum auf. Auf dem Jungfraujoch wurde zwischen 1937 und 2005 eine Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur um ca. 1.8 °C und zwischen 1961 und 2005 wurden im Sommer ca. 60% mehr Tage mit einer Temperatur über 0°C verzeichnet.

Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre, insbesondere der CO₂-Konzentration, wird mittels hochpräziser Messungen überwacht. Damit können zum Beispiel Quellen von Luftfremdstoffen identifiziert werden und neue Erkenntnisse zu Luftqualität und Klimawandel gewonnen werden.

Aerosole, feine Schwebepartikel, haben einen direkten Einfluss aufs Klima, indem sie das Sonnenlicht streuen oder absorbieren. Aber auch indirekt könnten sie einen Effekt haben, indem sie Eigenschaften der Wolken verändern. Auf dem Jungfraujoch wird untersucht, wie die Aerosolpartikel verteilt werden, wie sie mit Wolken interagieren und welche Rolle sie bei der Bildung von Eis in Zirruswolken spielen.

Weitere Projekte befassen sich mit der Überwachung der Radioaktivität und der kosmischen Strahlung, den Auswirkungen eines Aufenthalts im Hochgebirge auf den menschlichen Körper oder der Überlebensfähigkeit von Mikroorganismen, die auf Wüstenstaub von der Sahara bis in die Alpen gelangt sind. Und natürlich bildet die Erforschung des Aletschgletschers und des Permafrosts einen weiteren Schwerpunkt.



Impressionen von der Forschungsstation Jungfraujoch finden sich auf unserer Website bit.ly/Technoscope_Klima

DAS AUS FÜR DAS EWIGE EIS?

Als «schauderhaften Ort» beschrieben die alten Römer die Alpen: Geröll, Steinschlag und Lawinen, nebelverhangene Firsten und kolossale Massen von ewigem Schnee und Eis, in denen böse Kobolde und Lindwürmer hausten. Auch der Pfarrer Gabriel Walser, einer der ersten Naturgelehrten der Schweiz, markierte Gletscher auf seiner Karte der Alpen 1768 noch als «abscheuliche Eisberge». Erst viel später galten sie als Inbegriff erhabener Schönheit und unberührter Natur. Ein Sehnsuchtsort, der Besucher aus aller Welt anzog.

Doch Gletscher sind nicht nur als einer der wirksamsten Touristenmagnete der Schweiz wichtig: Ihr Wachsen und Schrumpfen hat auch ihre Landschaften geformt. Sie schliffen Felsen ab, gruben Täler, und wo sie sich zurückzogen, füllten Seen die ehemaligen Gletscherbecken. Riesige Felsbrocken, die sie talwärts transportiert hatten, blieben als «Findlinge» zurück. Und von den Gletscherzungen mitgeschobener Schutt, Geröll und Kies lagerten sich als hügelige Moränen ab.

So richtig wachsen konnten die Schweizer Gletscher zum letzten Mal während der kleinen Eiszeit um 1850. Die gesamte Gletscher-

fläche betrug damals rund 1700 km² – das entspricht in etwa der Grösse des Kantons Zürich. Seither ist die mittlere Temperatur in der Schweiz um fast zwei Grad gestiegen und die Gletscher schmelzen wieder. Seit 1985 hat sich ihr Rückgang so stark beschleunigt, dass die Hälfte der fast 1500 Schweizer Gletscher innerhalb der nächsten 30 Jahre zu verschwinden droht. Damit geht auch eine riesige Wasserreserve buchstäblich den Bach runter: Rund 17 Prozent der Schweizer Trinkwasserreserven sind im Gletschereis gebunden.

Die Wissenschaft hat Gletscher längst als sensible Klimaindikatoren anerkannt. In der Schweiz ist es das Schweizerische Gletschermessnetz (Glamos), das ihre Bewegungen und Veränderungen beobachtet, misst und genau dokumentiert, u.a. mit Fotos oder Luft- und Satellitenaufnahmen, die heute mit modernsten digitalen Methoden automatisiert ausgewertet werden.

Amédée Zryd hat an der EPFL Physik studiert. Gletscher haben den begeisterten Tourenskifahrer aus dem Wallis schon immer fasziniert: Kein Wunder, dass er seine Doktorarbeit darüber verfasst hat, wie sich Gletscher bewegen.



«Wir haben gigantische Massen an Eis verloren.»

So hoch wie der Eiffelturm

Interview mit dem Gletscherforscher Amédée Zryd

Technoscope: Warum interessiert sich die Wissenschaft für Gletscher?

Amédée Zryd: Wer Gletscher beobachtet, sitzt sozusagen in der vordersten Reihe, wenn es darum geht, Klimaveränderungen zu verfolgen. Dazu kommt ein weiterer wichtiger Grund.

Und der wäre?

Alpengletscher haben einen Einfluss auf unser tägliches Leben, auch wenn wir uns dessen oft gar nicht bewusst sind.

Was haben Gletscher in unserem Alltag zu suchen?

Sie sind grosse, natürliche Wasserreserven, die genau dann schmelzen und verfügbar sind, wenn wir sie am dringendsten brauchen: Wenn es heiss ist. Dank ihnen haben wir auch im Sommer genug Wasser für Land-

wirtschaft und für die Stauseen, mit denen die Schweiz einen grossen Teil ihres Stroms erzeugt.

Aber jetzt gehen die Alpengletscher zurück.

Nicht nur in den Alpen, Gletscher schwinden überall auf der Welt: auch im Himalaya, in den Anden oder an den Polen. Dabei geht es weniger um ihre Länge als um das Volumen des Gletschereises, das verloren geht.

Weil das Klima auch in den Alpen milder wird?

Das Klima ändert sich so, dass die Hydrologie ähnlich wird wie heute im Jura, mit viel Wasser in den Flüssen im Frühling und im Herbst und mit trockenen Sommern. Die Wasserreserven in den Stauseen könnten also langfristig abnehmen. Wir werden Kompromisse fin-

Wie wird das Klima gemessen?



den müssen, wie viel davon wir in Zukunft wann für die Bevölkerung, die Landwirtschaft oder die Stromerzeugung einsetzen wollen.

Was passiert in den Alpen, wenn das «ewige Eis» schmilzt?

Das ist eine zentrale Frage der Gletscherforschung. Sicher ist, dass sich die Gefahren verändern. Früher war eines der Risiken im Hochgebirge zum Beispiel das plötzliche Auslaufen von Gletscherseen. Heute sind es steile Berghänge, die ohne den stabilisierenden Einfluss des Eises zu bröckeln beginnen, und die wir überwachen müssen.

Wie lange werden wir in der Schweiz noch Gletscher haben?

Viele der kleineren Gletscher, wie der Glacier de la Plaine Morte im Wallis, werden in den nächsten 30 bis 50 Jahren verschwinden.

Grosse wie der Aletschgletscher oder der Rhonegletscher werden schrumpfen, aber überleben.

Was hat Sie in den vielen Jahren, in denen Sie die Bewegung Gletscher im Wallis nun schon verfolgen, am meisten beeindruckt?

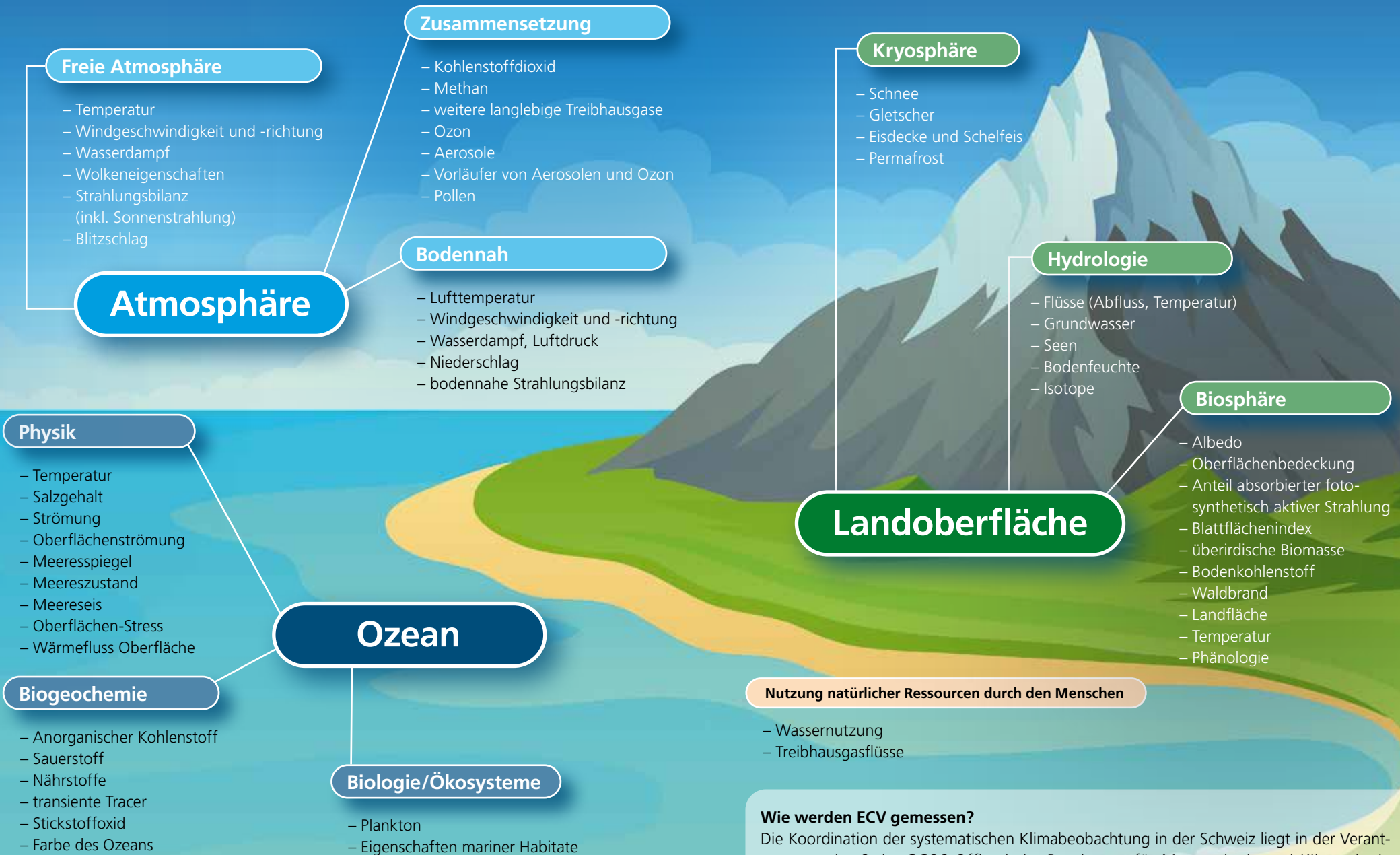
Was mir immer wieder den Atem verschlägt, ist, wenn ich am Fuss einer vertikalen Moräne stehe, die fast so hoch ist wie der Eiffelturm und weiss, dass das Eis noch vor 150 Jahren bis dort hinauf reichte. Dann wird mir so richtig bewusst, was dürre Zahlen in einem Bericht niemals ausdrücken können: Es sind gigantische Massen an Eis, die wir bereits verloren haben.

Der Klimawandel ist kein lokales Phänomen, sondern spielt sich auf dem gesamten Erdball ab. Vergangene Klimabedingungen zu rekonstruieren und künftige abzuschätzen ist deshalb nicht nur eine technische, sondern auch eine koordinative Herausforderung.

Im Jahr 1992 wurde das Global Climate Observing System (GCOS) gegründet, um die systematische Klimabeobachtung global zu koordinieren, wie vom Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) gefordert. Das GCOS stellt sicher, dass die gemessenen Daten und gemachten Beobachtungen, die zur Behandlung klimarelevanter

Fragen benötigt werden, eingeholt und allen potenziellen Nutzern zur Verfügung gestellt werden. Eine zentrale Aufgabe des GCOS ist, eine Reihe von atmosphärischen, ozeanischen und terrestrischen essentiellen Klimavariablen (Essential Climate Variables, ECVs) zu definieren, die entscheidend zur Charakterisierung des Erdklimas beitragen.

Anhand von 50 Klimavariablen (Essential Climate Variables, ECV) wird das Klima gemessen:



Das GCOS hat über 50 ECVs definiert, in der Schweiz werden 33 davon gemessen.
bit.ly/Klimabeobachtung

Wie retten wir das Klima?

Mit technischen Mitteln ins Klima einzugreifen, wird als «Climate Engineering» bezeichnet. Es gibt grundsätzlich zwei Ansätze, um die globale Erwärmung technisch in den Griff zu bekommen. Der eine zielt darauf ab, die Erde zu kühlen, indem die Sonneneinstrahlung vermindert wird. Beim zweiten, dem Carbon Dioxide Removal (CDR), wird versucht, Kohlendioxid aus der Luft zu filtern und dauerhaft zu speichern. Beide Ansätze stecken weitgehend noch in den Kinderschuhen.

Wenn sich im Sommer dunkle Gewitterwolken zusammenballen, werden in ländlichen Gebieten manchmal mit Silberiodid gefüllte Hagelraketen in den Himmel gejagt. Die winzigen Salzkristalle sollen in den Wolken Wassertröpfchen binden und so dafür sorgen, dass sich statt grossen Hagelkörnern nur viele kleine Körner bilden, die auf Äckern und in Obstgärten keinen Schaden anrichten. Hagelraketen sind ein Versuch, das Wetter mithilfe von Technik zu manipulieren. Ihr Nutzen ist fraglich. Ein paar Nummern grösser und noch viel umstrittener sind Ansätze, die aufs Klima der ganzen Erde zielen.



Climaengineering-Ideen

Ein kühlender Schleier

Ohne die Sonne würde die Erde zum Eisklumpen, auf der es kein Leben gäbe. Doch auf einer Erde, die sich momentan zu stark erwärmt, würde auch etwas weniger Sonne genügen. Das sogenannte «Radiation Management» zielt darauf ab, einen Teil der Sonneneinstrahlung zurück ins Weltall zu lenken. So wie es die Schwefelpartikel in der Staubwolke taten, die nach dem Ausbruch des Vulkans Pinatubo 1991 den Himmel verschleierte und die Durchschnittstemperatur weltweit um ein halbes Grad Celsius senkte. Dasselbe könnte durch gezielt in der Stratosphäre ausgebrachte reflektierende metallische Partikel erreicht werden. Auch künstliche Wolken aus Salzwasserdunst oder im Weltall aufgespannte reflektierende Sonnensegel könnten Sonnenstrahlen abfangen.

CO₂-Jäger

Eine der wichtigsten Ursachen des Klimawandels haben weitere Climate-Engineering-Methoden im Visier: die Konzentration des Treibhausgases Kohlendioxid in der Atmosphäre. Ein Ansatz zielt darauf, CO₂ mithilfe von künstlichen Bäumen aus der Luft zu filtern und dann unterirdisch oder in der Tiefsee sicher zu lagern. Ein weiterer sieht vor, die Ozeane mit Eisen zu düngen, um das Wachstum von Algen zu fördern, die über die Photosynthese Kohlendioxid binden können.

Kritiker sehen beide Ansätze skeptisch. Sie warnen davor, in ein so komplexes und noch weitgehend unverstandenes System wie Klima einzugreifen. Denn das könnte völlig unvorhergesehene Auswirkungen haben und beispielsweise die Verteilung der Niederschläge oder das weltweite Windsystem mit fatalen Folgen durcheinanderbringen. Politiker befürchten, dass mächtige Staaten das Klima zu ihren Gunsten verändern könnten und ärmere Länder das Nachsehen hätten. Naturschutzorganisationen warnen davor, dass technische Lösungen die Menschen dazu verführen könnten, den Klimaschutz zu vernachlässigen. Für die Befürworter der Klimasteuerung hingegen gibt es keine Alternative: Denn derzeit sehe es kaum danach aus, als ob sich die Klimaziele ohne die Hilfe der Technik erreichen liessen.

