



Geoengineering er på mange måder mere Science Fiction end seriøse og forsvarlige veje til at imødegå klimaforandringerne.

VEJEN MOD GEOENGINEERING

Af: Palle Bendsen

I dag er det menneskene, der laver øer, søer, nedbryder bjerge, suger sand op af havet, gør hav til land, ændrer fundamentale kredsløb som skubber til klimaet, retter floder ud, smelter ishavet og skynder på gletsjerne. Ni-tiendedele af pattedyrenes biomasse udgøres af mennesker og af de dyr, der er i menneskenes varetægt. Samtidig uddør dyre- og planteliv, der ikke indgår i produktion og økonomi stadigt hurtigere. Menneskenes magt i verden er i dag ganske overvældende. Det afspejles bl.a. i bevidste ingeniørmæssige indgreb i Jordens klima med det erklærede formål at modvirke menneskeskabte klimaforandringer.

Beherskelse af naturen, beherskelse af andre mennesker

Trangen til at beherske naturen kan spores langt tilbage i historisk tid og meget taler for, at den har sit udspring i opkomsten af hierarkier mellem mennesker. Især de såkaldt højtstående civilisationer har længe øvet stor indflydelse på deres omgivende natur, lavet terrasser langt op ad bjergsider, omdirigeret vandløb, ryddet skove og stablet store klippeblokke ovenpå hinanden i imponerende pyramider, eller i mærkelige rundkredse, og meget mere i tusindvis af år. Mange af disse bedrifter har kun kunnet lade sig gøre med anvendelse af muskelkraft hos tusindvis af mennesker under tvang.

Revolution

I 1700-tallets Europa stod sol, måne og stjerner i en passende konstellation til at dampmaskinen kunne gøre sin entre. Sammen med den foregående periodes merkantilisme og kapitalakkumulation satte den scenen for en social og teknologisk omvæltning, baseret i den første tid på kul som energikilde og på mere og mere sofistikerede maskiner. Pålidelige ure, nye transportmidler og kommunikationsmidler kombineret med arbejdere, der blev trukket ind til byernes fabrikker, var dette alt sammen med til at kendetegne den industrielle revolution - sammen med soden fra skorstene og dampmaskiner. Den utilsigtede og uforudsete effekt var stigningen i koncentrationen af kuldioxid i atmosfæren, i biosfæren og i oceanerne - og dermed den globale opvarmning, vi nu oplever konsekvenserne af.

Efter midten af det tyvende århundrede blev magten over naturen mere og mere tydelig i det, der er

kaldt Den Store Acceleration, illustreret i parallelle, voldsomme vækstkurver i socioøkonomiske parametre og i påvirkninger af 'jordsystemer' som f.eks. indholdet af drivhusgassen CO₂ og tab af tropisk skov (se figur 1 og figur 2).

Atom- og brintbomber blev bragt til eksplosion i 'fjerne egne', dvs. fjernt fra de tætbefolkede magtcentre, der stod bag dem. Lokale, spredte og tit oprindelige befolkninger led under de umiddelbare virkninger, mens radioaktivt materiale blev spredt over hele Jorden og gav nedfald overalt. Sprængningen af den første brintbombe er foreslået som starten af en ny geologisk epoke, Antropocæn.

Drivhuseffekten og det store geofysiske eksperiment

Teorien om drivhuseffekten blev først fremsat videnskabeligt af Joseph Fourier i 1824, underbygget af John Tyndall i 1859 og konfirmeret af Nils Gustav Ekholm i 1901 og Svante Arrhenius i 1903.

I 1930'erne skrev amatørmeteorologen Guy Stewart Callendar:

"Eftersom mennesket i dag ændrer sammensætningen af atmosfæren i en hastighed, der er yderst usædvanlig inden for den geologiske tidsskala, er det naturligt at søge efter mulige konsekvenser af en sådan ændring. Ud fra de bedste laboratorieobservationer virker det til, at hovedvirkningen af stigende atmosfærisk kuldioxid [...] vil være en gradvis stigning i middeltemperaturen i Jordens koldere regioner."

I 1957 igangsatte Charles David Keeling, med støtte fra USA's nationale vejrtjeneste, målinger af

Socio-economic trends

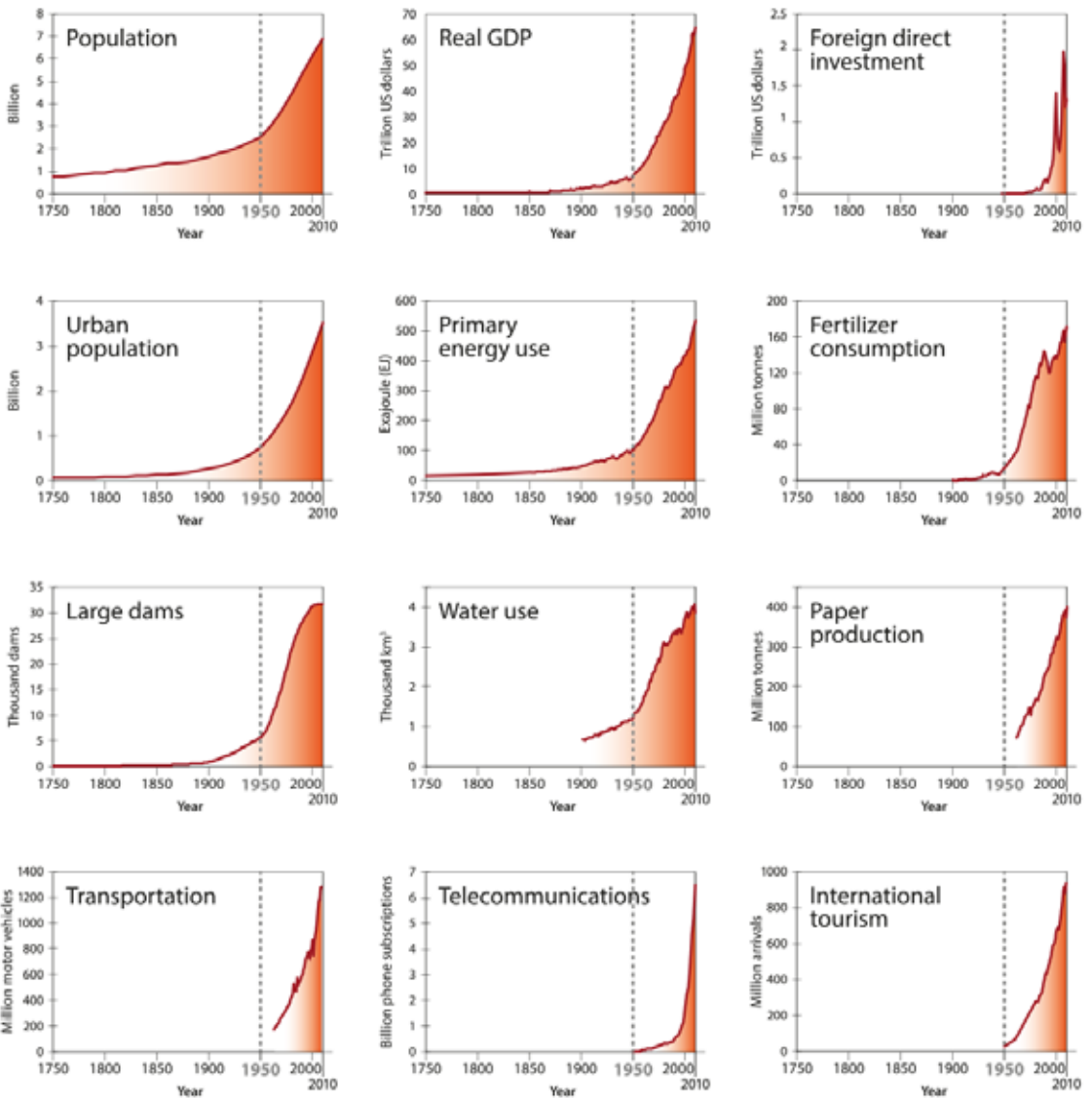


Fig. 1. Socioøkonomiske tendenser 1750-2010.

Earth system trends

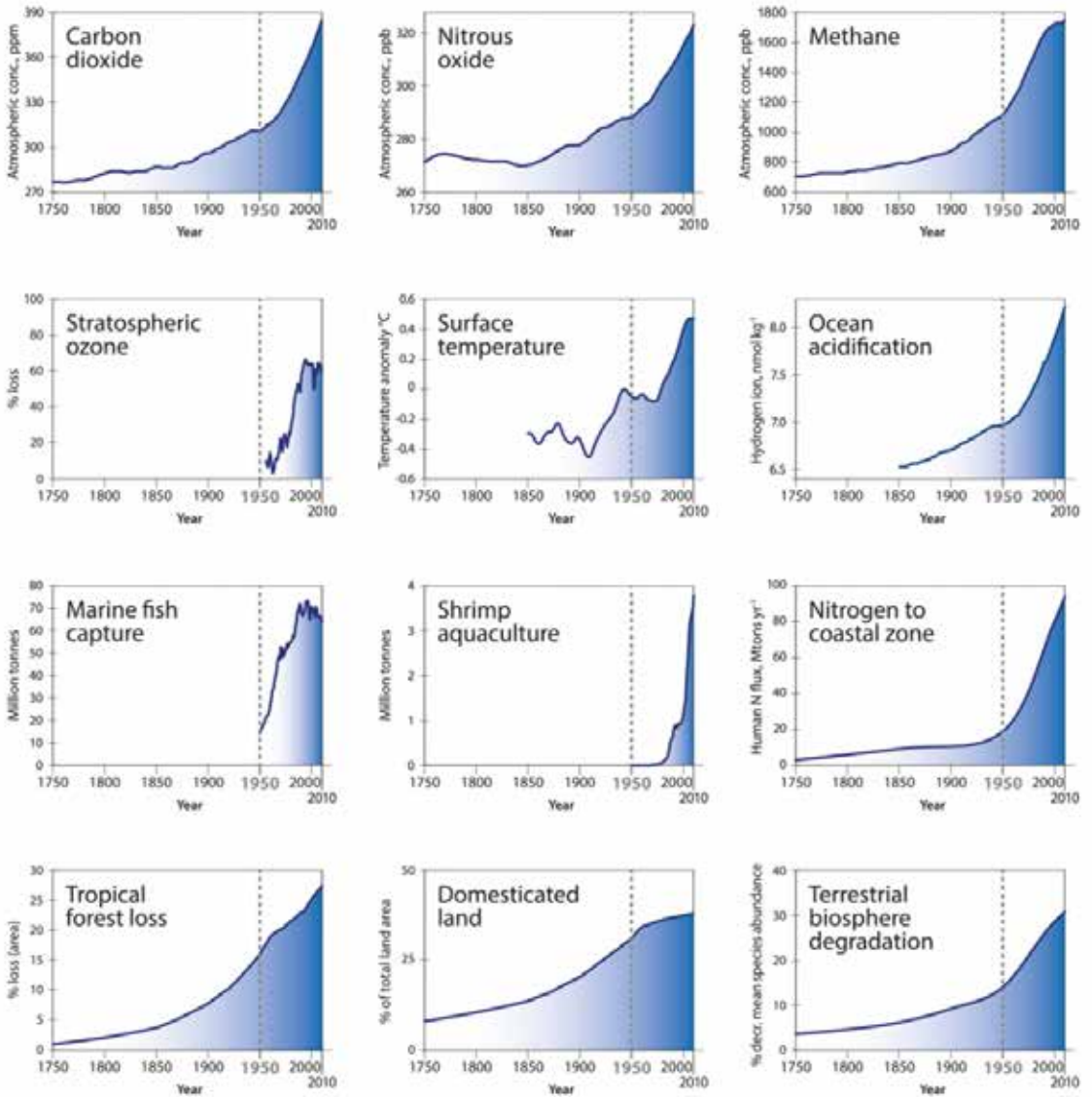
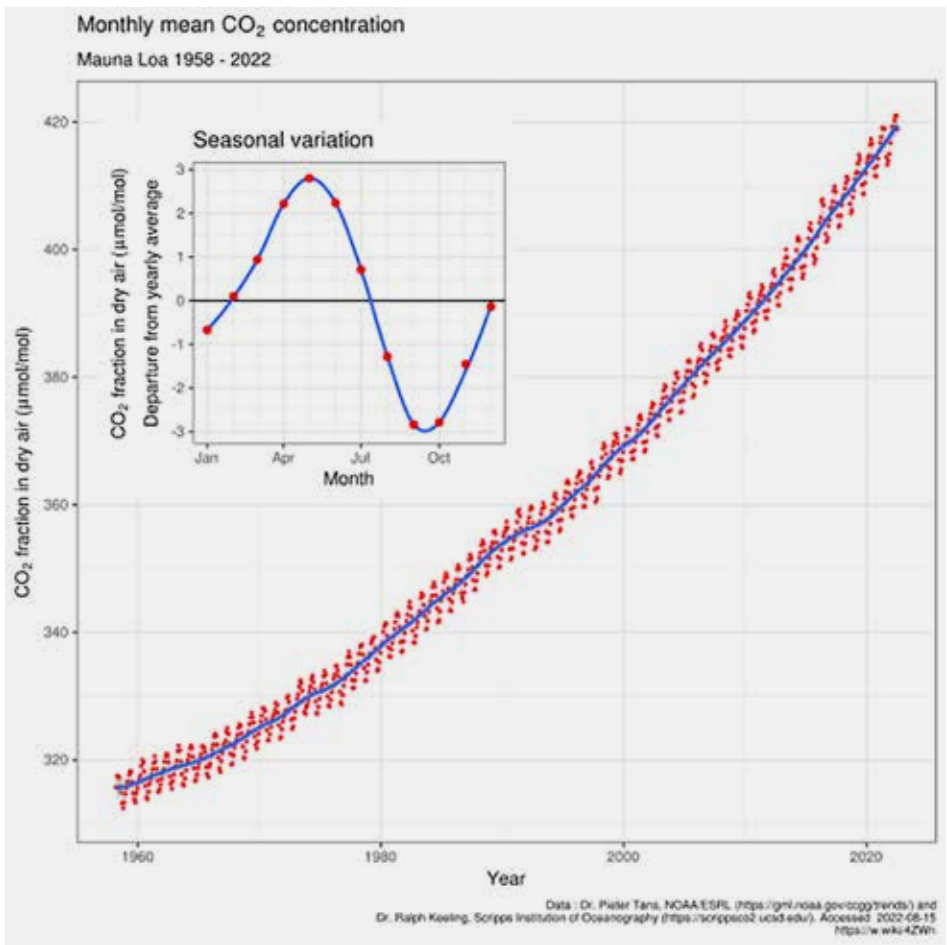


Fig. 2. Tendenser i planetære systemer 1750-2010.

Fig. 3. Kurve over målinger af den månedlige middelkoncentration af CO₂ i atmosfæren 1958-2022, Mauna Loa, Hawaii. [22.10. 2022: 415,61 ppm.] kurven er også kendt som Keeling-kurven. Bemærk sæsonvariationen [indsat] som afspejler den dominerende virkning af plantedækket på den nordlige halvkugle, hvor CO₂ alt i alt optages i planterne fra maj til september og frigives fra september til maj. Afbrænding af fossile brændsler og skov forårsager stigningen år for år.



kuldioxidkoncentrationen i atmosfæren - målinger der er fortsat frem til i dag. Keeling's kurve er vel nok den mest betydningsfulde, videnskabelige illustration af de menneskeskabte klimaforandringer.

Hvad er Geoengineering?

Hvor de foregående citater peger på at 'menneskeheden', uden at vide det, var i gang med et globalt eksperiment, så er geoengineering den bevidste fortsættelse af eksperimentet på en måde, som man nu påstår vil afhjælpe de problemer, som eksperimentet havde skabt.

Geoengineering dukkede op i klimadebatten i løbet af 1990'erne. De foreslåede teknikker har i høj grad skilt vandene. Fortalerne er opfindere, forskere, milliardærer, (konservative) tænketanke, medier og politikere samt store kul-, olie- og gasselskaber,

Geoengineering kalder man med en samlet betegnelse et bredt sæt af metoder og teknologier, der anvendes bevidst til at gribe ind i Jordens klima, med det formål at dæmme op for klimaforandringerne. Indgrebene skal foregå i meget stor målestok, f.eks. ved at påvirke verdenshavene, indstrålingen fra Solen eller hele Jordens atmosfære.

Geoengineering omfatter to hovedgrupper af ideer:

1. Teknologier, som undgår at CO₂ udledes eller fjerner CO₂ fra atmosfæren. (Carbon Dioxide Removal)
2. Manipulation med solindstrålingen. (Solar Radiation Management)

Thus human beings are now carrying out a large scale geophysical experiment of a kind that could not have happened in the past nor be reproduced in the future. Within a few centuries we are returning to the atmosphere and oceans the concentrated organic carbon stored in sedimentary rocks over hundreds of millions of years.

Fig. 5. Den amerikanske præsident Lyndon B. Johnson fik i 1965 forelagt resultaterne fra en videnskabelig komite, der utvetydigt advarede mod den fortsatte afbrænding af fossile brændsler.

Fig.4. I 1957 skrev Roger Revelle og Hans Suess om drivhuseffekten: "... menneskeheden er nu i færd med at gennemføre et geofysisk fuldskala eksperiment ..."

CONCLUSIONS AND FINDINGS

Through his worldwide industrial civilization, Man is unwittingly conducting a vast geophysical experiment. Within a few generations he is burning the fossil fuels that slowly accumulated in the earth over the past 500 million years. The CO₂ produced by this combustion is being injected into the atmosphere; about half of it remains there. The estimated recoverable reserves of fossil fuels are sufficient to produce nearly a 200% increase in the carbon dioxide content of the atmosphere.

SUMMARY

Humanity is conducting an unintended, uncontrolled, globally pervasive experiment whose ultimate consequences could be second only to a global nuclear war. The Earth's atmosphere is being changed at an unprecedented rate by pollutants resulting from human activities, inefficient and wasteful fossil fuel use and the effects of rapid population growth in many regions. These changes represent a major threat to international security and are already having harmful consequences over many parts of the globe.

Far-reaching impacts will be caused by global warming and sea-level rise, which are becoming increasingly evident as a result of continued growth in atmospheric concentrations of carbon dioxide and other greenhouse gases. Other major impacts are occurring from ozone-layer depletion resulting in increased damage from ultra-violet radiation. The best predictions available indicate potentially severe economic and social dislocation for present and future generations, which will worsen international tensions and increase risk of conflicts among and within nations. It is imperative to act now.

Fig. 6. WMO - World Meteorological Organization - tog på samme måde bladet fra munden i en konferencerapport i 1988, samme år som organisationen var med til at stifte FN's klimapanel, IPCC.

mens modstanderne er at finde blandt miljøorganisationer, de fleste klimaforskere - og nogle medier og politikere.

Det kan se ud som om, at politikerne hellere vil have tekniske løsninger end at gribe ind i deres vælgeres dagligdag, i virksomhedernes økonomiske grundlag og i samfundets indretning i det hele taget. I tillæg begynder flere at miste troen på, at de internationale klimaforhandlinger i FN kan nå at begrænse den globale opvarmning og undgå en global klimakatastrofe, og føler sig nu tvunget til at acceptere en eller flere af disse metoder. Geoengineering vil fjerne en stor del af motivationen for at sætte ind med en klimapolitik på eksempelvis energiområdet, der bygger på egentlige besparelser, energieffektivisering og vedvarende energi. Afbrændingen af fossile og biogene brændsler vil fortsætte i længere

tid, hvis man tror på, at man om få år kan opfange og lagre CO₂, holde en vis mængde af solindstrålingen ude eller binde CO₂ ved at gøde verdenshavene med jernsulfat.

Fælles for alle ideerne er en overbevisning om, at vi er så teknologisk dygtige, at vi ad teknisk vej ikke kun kan påvirke, men også styre Jordens klimasystem. Geoengineering ligner teknologier som f.eks. atomkraft og gensplejsning på den måde, at det ofte er teknologier, som ikke kan fortrydes. Atomaffald er farligt i mindst 200.000 år og gensplejsede organismer kan spredes i naturen, uden at de kan samles ind igen, hvis det opdages, at de har uforudsete, skadelige virkninger. Hvis jernsulfat spredes i havene, for at de skal optage mere CO₂, findes der ikke et nyt teknisk fix, som kan rydde op, hvis eller når der viser sig negative bivirkninger.

Metoder til fjernelse af CO₂ fra atmosfæren (CDR)

CO₂-fangst og -lagring - CCS

Carbon Capture and Storage, i daglig tale CCS, vil man normalt ikke betragte som geoengineering, men da det vigtigste teknologi-indhold i BECCS er bioenergi med CCS, der berettiget kan kaldes geoengineering, skal CCS præsenteres.

Ideen i CCS er f.eks. at opfange CO₂ fra røggassen fra kraftværker. Man bruger kemikalier til formålet i en proces, der har vist sig at være både vanskelig og energikrævende. Den opsamlede CO₂ udsættes for et stort tryk, så den skifter form fra gas til flydende form. Den transporteres så via rørledning eller med skib til lagring, hvor den trykkes ned i et egnet, dybtliggende geologisk reservoir. Alle led i processen, både upstream og downstream, er omkostningsfulde og energikrævende. Man skønner, at der skal 25-40 % ekstra kul til at kompensere fangst- og lagringsdelen - dvs. så meget ekstra kul skal brydes og transporteres. CCS anskueliggør på den måde, at man ikke kan producere sig ud af forureningen.

I Danmark satser regeringen på, at CCS bliver klar fra 2027, og kan hjælpe med at opfylde det politiske mål om 70 % reduktion i udledningerne i 2030. Den såkaldte hockeystav, som regeringen lancerede i 2020, var et billede på en plan, der skal reducere udledningen af drivhusgasser svagt i en årrække frem til 2027-2028, hvorefter CCS skulle få udledningerne til at dykke hurtigt frem mod 2030 – forløbet ville således ligne en hockeystav. Københavns kommune, og flere omegnskommuner, har på samme måde sat deres lid til CCS - men har for nylig måttet indse, at det ikke kommer til at virke så tidligt som forventet.

Satsningen på CCS aftog internationalt for ti år siden, fordi resultaterne udeblev trods massiv økonomisk, institutionel og politisk støtte gennem 10-15 år. FN's klimapanel, IPCC, udgav en Special Report om CCS i 2005, mens Det Internationale Energiagentur udgav store rapporter, hvor man forudså, at CCS kunne sikre store reduktioner frem mod 2050. Opbakningen kom desuden fra EU og mange kul-, olie- og gasproducerende lande og selskaber.

Bioenergi med CCS - BECCS

Hvis anlæg, der fyrer med en eller anden form for biomasse, bliver forbundet med CCS, taler man om BioEnergy Carbon Capture and Storage, BECCS. Efter CCS, er BECCS nu det, som mange hælder til, idet man antager, at det kan sikre negative emissioner ved at biomassen bygges op ved hjælp af fotosyntesen og derved lagrer kulstof. Hvis man sikrer fangst og lagring af CO₂ ved afbrænding af biomassen, bli-

ver CO₂-regnestykket i forhold til atmosfæren negativt. Det beror på en meget omdiskuteret antagelse om, at storskala biomasse regnes som CO₂-neutral. Den antagelse er grundlag for, at BECCS kan hjælpe verden ned fra et midlertidigt 'overshoot' i koncentrationen af CO₂ i atmosfæren. Det indebærer til gengæld samtidig den risiko, at man slapper af med den øvrige klimaindsats.

Promoveringen af BECCS ligner mange andre geoengineering-forslag. Forslagsstillerne præsenterer deres ide så positivt som muligt og tager ikke selv højde for indvendinger om utilsigtede miljøkonsekvenser, forringede levevilkår for mennesker i fjerne lande osv. Det påhviler så forskere og miljøorganisationer at fremføre kritikken.

Hvis BECCS skulle batte noget globalt, ville det - ifølge nogle vurderinger - skulle lægge beslag på arealer på størrelse med Indien, eller måske ligefrem Rusland, for at producere den nødvendige biomasse. Det ville blive ledsaget af et tilsvarende gigantisk forbrug af kunstgødning og vand, mens biomasseproduktionen, af økonomiske grunde, ville ske i plantager af monokulturer, som ville skade biodiversiteten i stort omfang. Disse arealer ville selvfølgelig ikke længere kunne bruges til at dyrke spiselige afgrøder.

Det er denne del, der berettiger at kalde BECCS for geoengineering. At fortalere ikke forholder sig til disse forudsætninger, er et træk, der går igen i de fleste geoengineering-ideer.

BECCS ligger som en makronbund under Paris-aftalen og optræder i mange af de scenarier, FN's klimapanel har gennemgået, som anviser en vej til at holde den globale gennemsnitlige temperaturstigning på eller nær ved 1,5° C.

Gødskning af verdenshavene

Et andet forslag går ud på at gøde havet med jernsulfat, som skal medføre en opblomstring af alger, der under væksten optager CO₂. Når de dør og synker til bunds, vil det kulstof, de har optaget, blive lagret. Havvandet kan så igen optage mere CO₂ fra luften, hvilket giver vækstbetingelser for endnu flere alger osv.

Private entreprenører, der er parat til at handle på egen hånd, og stik imod internationale aftaler og konventioner står bag udførte forsøg, ser en mulighed for en fremtidig gevinst, hvis de er først. Handel med CO₂-kreditter (udledningstilladelser) tiltrækker selskaber, der er mere optagede af at tjene penge end af at gøre noget for klimaet.

FN's klimapanel

Klimapanelet advarer i de seneste rapporter mod at sætte sin lid til teknologierne der fjerner CO₂ fra atmosfæren. Afhængighed af sådanne uprøvede teknologier ville udgøre en stor risiko for evnen til at begrænse opvarmningen til 1,5° C. Det vil være mere sikkert at satse på energieffektivitet og adfærdssænderinger (lavere forbrug).

Metoder til at reducere solindstråling

Manipulation med solindstrålingen

Solar Radiation Management, SRM, går ud på at sikre en passende afkøling af Jorden. Dette gøres ved at reflektere en del af sollyset f.eks. ved at sende reflekterende partikler eller milliarder af spejle ud i rummet til det såkaldte Lagrange punkt, hvor der er balance mellem Solens og Jordens tiltrækningskraft. De mange spejle skal sende ca. 1 % af solens stråler tilbage ud i rummet. Det meget højt profilerede astronomiprojekt ville næppe kunne sameksistere med milliarder af spejle på et så afgrænset område i rummet. Det er sigende for en del af de mere science-fiction-agtige forslag, at de kan bane sig vej ind i en seriøs klimadebat, uden at være gennemtænkt, endsi gend finansieret.

Et andet forslag går på at efterligne virkningerne af et vulkanudbrud ved at spraye aerosoler - uorganiske partikler som svovldioxid (SO₂) - i stratosfæren, den øverste del af atmosfæren. Dette skulle gentages med mellemrum for at opretholde effekten, hvilket vil gøre projektet sårbart over for økonomiske, sociale eller politiske kriser - med risiko for pludselig og hurtig opvarmning, hvis det blev indstillet.

FN's klimapanel udelukker både manipulation med solindstrålingen og gødning af oceanerne som farbare veje.

Gode grunde til at geoengineering er en dårlig ide

Geoengineering tager ikke højde for den hast, verden skal gennemføre ophøret af den fossile og biogene brændsels æra med, men kan tværtimod være med til at nedsætte tempoet i klimaindsatsen. Klimapanelets 1,5°C-rapport gør det klart, at der er et uhyre lille råderum for udledning af drivhusgasser, hvis den globale opvarmning skal begrænses til 1,5°C.

Geoengineering bremser ikke udledningen af drivhusgasser. At nedsætte solindstrålingen vil ikke nedsætte forsyningen af havet. Hvis forslagene fejler, er der ingen fortrydelsesmulighed.

Hvem skal bestemme? Hvis der ikke er inter-

nationale traktater eller konventioner, der udtrykkeligt forbyder visse teknologier, vil det stå frit for et enkelt land eller en gruppe af entreprenører og investorer at iværksætte potentielt farlige initiativer.

Alt i alt rejser geoengineering en lang række moralske og etiske spørgsmål oveni de mange tekniske indvendinger, der kan fremføres.

Geoengineering er stort set uprøvet og farligt. Forslagene er præget af teknologisk snæversyn, som udelader vigtige ting, vi i dag ved om klimaforandringerne.

Hvad med klimaet?

Klimaforandringerne er ikke i første række et teknisk problem (tænk vindmøller, elbiler, geoengineering), men en blanding af socio-kulturelle, økonomiske og teknologiske problemstillinger, som kun kan besvares med lige så brede tiltag, der må være tværdisciplinære og internationale i udsyn.

Tiltag må respektere traktater, tage hensyn til både nulevende og kommende generationer og være båret af en vilje til at rette op på klimauretfærdigheden, som ligger i, at det er rige lande, der har hovedansvaret for klimaforandringerne, mens det er fattige lande, der først og fremmest lider under konsekvenserne.

Artiklen er skrevet af:

Palle Bendsen
NOAH

Om NOAH: Vores vision er en retfærdig og bæredygtig verden, hvor beslutningerne bliver taget demokratisk.

