

# Geoengineering

## Det teknologisk klimafix



Kunstige træer, der suger CO<sub>2</sub> ud af luften. Gødsning af verdenshavene med jernsulfat, så havet kan optage mere CO<sub>2</sub> fra luften. Spredning af svovlpartikler i atmosfæren, så noget af sollyset tilbageholdes.

Geoengineering kalder man med en samlet betegnelse den slags tekniske indgreb, som har til formål at påvirke Jordens klima for at dæmme op for den globale opvarmning. Indgrebene skal foregå i meget stor målestok, f.eks. ved at påvirke alle verdenshavene eller hele Jordens atmosfære.

De fleste regner geoengineering for tekniske fix, hvis virkninger enten er skadelige eller usandsynlige eller begge dele. Men jo længere tid, der går uden en effektiv international klimaaftale, jo flere begynder at tale om geoengineering som et alternativ, man bliver nødt til at overveje.

Dette hæfte præsenterer nogle af de mest kendte forslag og diskuterer dem kritisk.

## Hvad er geoengineering?

I 1991 havde vulkanen Mount Pinatubo i Filippinerne et udbrud, der sendte så store mængder aske op i atmosfæren, at askens indhold af især  $\text{SO}_2$  skyggede så meget for Solen, at den globale temperatur faldt med cirka en halv grad Celsius i mere end et år.

Nogle ingeniører, politikere og investorer har i en årrække i fuld alvor arbejdet på at efterligne vulkanen og sende  $\text{SO}_2$  op i atmosfæren for at begrænse den globale opvarmning.

Andre arbejder på teknikker til at opsuge  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren og enten binde den i havet eller lagre den i undergrunden.

### Hvorfor geoengineering?

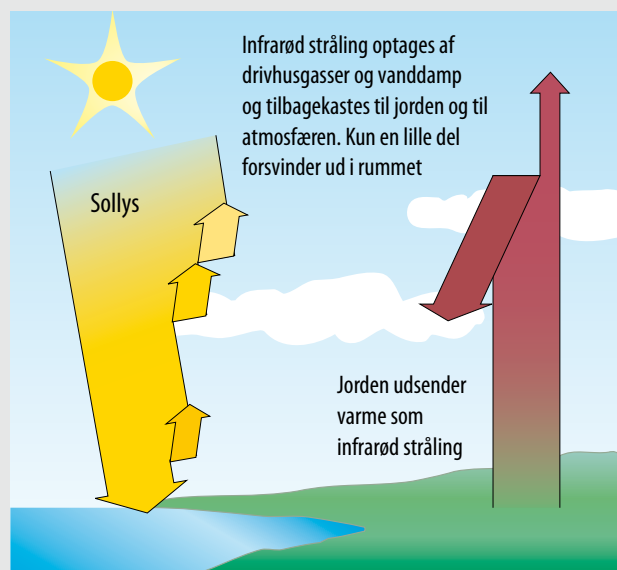
Fælles for alle de ideer, der arbejdes med, er en anerkendelse af, at den globale opvarmning er menneskeskabt, men at vi er så teknologisk overlegne, at vi kan styre den ad teknisk vej ved at påvirke Jordens klimasystem. Troen på, at vi skal lade teknologien løse problemerne for os, bundet sandsynligvis i, at mange – specielt ingeniører – er vant til at bruge tekniske løsninger på problemerne.

De metoder, man hidtil har diskuteret som nødvendige for at begrænse den globale opvarmning – energibesparelser, vedvarende energi, ændrede landbrugsmetoder, skovrejsning og ændrede forbrugsmønstre specielt i de rige lande – opfattes som ubehagelige og besværlige af mange politikere, som ser dem som en trussel imod de rige landes vækst. De ønsker ikke for alvor at ændre tingenes tilstand f.eks. ved at holde op med at afbrænde fossile brændsler. De vil hellere have tekniske løsninger, end de vil gribe ind i deres vælgers dagligdag, virksomhedernes økonomiske grundlag og samfundets indretning i det hele taget.

Samtidig begynder flere og flere at mangle troen på, at verdenssamfundet ved hjælp af de internationale klimaforhandlinger i FN kan begrænse den globale opvarmning. Og slet ikke i det omfang det er nødvendigt for at undgå en verdensomfattende klimakrise. De føler sig nu – i desperation – tvunget til at anbefale en eller flere af disse metoder.



Vulkanen Pinatubo i Filippinerne. Udbruddet i 1991



Energibalancen mellem den kortbølgede indstråling fra Solen og den langbølgede udstråling fra Jorden bestemmer den globale gennemsnitstemperatur.

## Realistisk og etisk forsvarligt?

Man kan diskutere, om geoengineering overhovedet er teknisk realistisk, eller om det kan gennemføres hurtigt nok og til en overkommelig pris. Men der er også mere grundlæggende etiske spørgsmål.

Det er nødvendigt at forholde sig til, om det overhovedet er forsvarligt at give sig i kast med at manipulere med Jordens klimasystem? Klimaet er vævet tæt sammen med både de lokale, regionale og lokale økosystemer, som har afgørende betydning for livet i havene, på landjorden og for hele vores samfund.

Videnskaben har efterhånden en så god forståelse af klimasystemet, at den med stor sandsynlighed kan beskrive, hvilke faktorer der påvirker klimaet. Det gælder også kendte menneskelige aktiviteter som afbrænding af kul, olie og gas. Men herfra og til at forudsige, hvordan vi ad teknisk vej kan styre klimasystemet i en ganske bestemt retning, uden at det samtidig får store, uforudsete og negative bivirkninger, er en helt anden sag. Det rejser etiske, sociale og juridiske spørgsmål, som fortalene for geoengineering ikke har noget svar på.

Det britiske Royal Society har beskæftiget sig med disse spørgsmål og konkluderer, at en mulig accept af geoengineering vil blive ”bestemt lige så meget af sociale, juridiske og politiske spørgsmål som af videnskabelige og tekniske faktorer”. (Royal Society, 2009). De mener derfor, at en åben offentlig debat er nødvendig.

Men er en offentlig debat om globale teknikker, som vil påvirke alle lande på Jorden, mulig?

Geoengineering ligner andre omdiskuterede teknologier som f.eks. atomkraft og gensplejsning i den forstand, at det er teknologier, som ikke kan fortrydes. Højradioaktivt affald fra atomkraftværker er farligt i mindst 200.000 år; gensplejsede organismer kan spredes i naturen, uden at de kan samles ind igen, hvis de har uforudsete, skadelige virkninger.

Hvis man spreder jernsulfat i havene, for at de skal optage mere CO<sub>2</sub>, er der ikke et nyt teknisk fix, som kan rydde op, hvis eller når der viser sig negative bivirkninger.

Er man først begyndt at bruge teknikker til geoengineering, er der ikke nogen fortrydelsesret.

## Geoengineering – definition

Geo betyder Jord og engineering betyder ingeniørkunst. Geoengineering er altså tilsigtet manipulation af hele Jordens miljø i stor skala.

Metoderne til geoengineering kan i store træk opdeles i to hovedgrupper:

- Kontrol af solindstrålingen
- Fjernelse af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.



*Ved atomkraftværket Olkiluoto i Finland begyndte man i 2004 at bygge verdens første slutlager til højradioaktivt affald, Onkalo, der går 500 m under jorden ned i granitfeltet*



*Fukushima - ulykken ved atomkraftværket i Japan blev udløst af en tsunami, der fulgte efter et jordskælv i havet øst for Japans kyst. Ingen havde forudset, at lige den ulykke kunne ske, da værket blev planlagt.*



## Kan vi fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren?

Det har været kendt i mere end 100 år, at udledning af CO<sub>2</sub> har en klimapåvirkning. Når vi udleder CO<sub>2</sub> i atmosfæren, bliver det varmere, og det har store, negative konsekvenser for både mennesker og miljø på hele Jorden – ikke mindst for de fattigste lande.

Så tanken om at vende processen om er nærliggende. Tænk, hvis man kunne suge CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren og lagre den igen i jorden, hvor den kom fra i form af fossile brændsler. Der er en række forskellige forslag, som går ud på at øge CO<sub>2</sub>-optaget fra atmosfæren, så den globale opvarmning på den måde kan holdes i skak. De to vigtigste går på at fremme det naturlige CO<sub>2</sub>-optag på landjorden og i havet.

### Skovrejsning

Træer optager store mængder CO<sub>2</sub>, når de vokser, og samtidig bliver der i tidens løb også bundet CO<sub>2</sub> i skovbunden. Ideen går ud på at genbeplante nogle af de meget store arealer, mennesket i tidens løb har ryddet for skov.

Problemet er bare, at vi stadig fælder meget mere skov, end vi planter. Igennem mange år er store skovarealer blevet ryddet især i lande i Syd (f.eks. Argentina og Brasilien) for at dyrke foderafgrøder til industrilandbrugene i Nord (f.eks. Danmark), og i de senere år har man også ryddet skov for at dyrke agrobrændstofafgrøder til brug i biler – i mange tilfælde bliver de også eksporteret til de rige lande i Nord. Hertil kommer den stigende brug af træpiller i kraftværkerne til erstatning for kul. Noget, der også sker i Danmark.

Det første, vi må gøre, er altså at standse rovdriften på skovene. Dernæst bør vi plante skov, som passer sammen med de eksisterende økosystemer i den region, hvor skovrejsningen skal finde sted.

Plantning af store områder af ens træer – såkaldte monokulturer – til industriel skovdrift, f.eks. med det formål senere at fælde træerne til at lave træpiller, vil kun give en begrænset klimaeffekt og være skadelig for biodiversiteten i området. Specielt, hvis det er træer, som er fremmede for de lokale økosystemer som f.eks. eucalyptustræer, der er blevet plantet som industriplantager i lande som Spanien, Portugal og Brasilien. Her er træerne ligefrem giftige for det lokale dyreliv.



*Selv om der mange steder bliver genplantet skov, er tendensen stadig, at der bliver fældet mere skov, end der bliver plantet*



*Eucalyptus plantage i Indonesien - en monokultur fattig på biologisk liv erstatter oprindelig, artsrig regnskov.*



*Flis og (importerede) træpiller vinder frem i mange landes el- og varmforsyning, også i Danmark.*

## Gødskning af havene

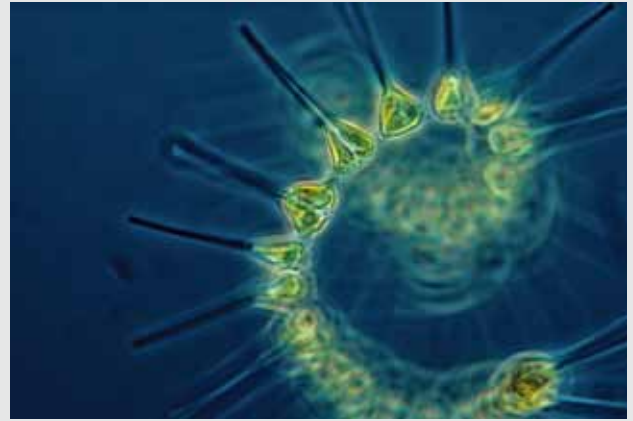
I juli 2012 lod en amerikansk forretningsmand 100 ton jernsulfat dumpe i Stillehavet ud for Canadas vestkyst. I følge initiativtageren har jernsulfaten medført en opblomstring af alger i et område på 10.000 km<sup>2</sup>. Ideen er, at algerne under væksten optager CO<sub>2</sub>. Når algerne dør og synker til bunds, vil det kulstof, de har optaget, føres med ned til bunden, hvor det vil lagres. Det vil medføre, at havvandet igen kan optage mere CO<sub>2</sub> fra luften, hvilket giver vækstbetingelser for endnu flere alger osv. – indtil balancen mellem luftens og havets indhold af CO<sub>2</sub> bliver genoprettet.

Tanken er, man med tiden får lagret så meget kulstof på havbunden, at atmosfærens indhold af CO<sub>2</sub> bliver reduceret betydeligt. Og det kan måske blive en god forretning for dem, der gør det. Hvis operationen lykkes, og hvis teknologien bliver anerkendt internationalt, og hvis der er et fungerende marked for CO<sub>2</sub>-kreditter – ja, så kan selskabet indkassere en fortjeneste.

Men teknologien er slet ikke anerkendt endsige godkendt. Blandt forskere er der stor bekymring for, at sådanne storskalaingreb i havenes økosystemer kommer til at medføre utilsigtede, uheldige eller skadelige virkninger, som man ikke siden kan rette op på. Hertil kommer, at kendte forsøg med dyrkning af alger har vist, at det kun medfører en meget begrænset CO<sub>2</sub>-reduktion i atmosfæren og lagring af CO<sub>2</sub> på havbunden.

Der er også andre betænkelige forhold ved den udvikling, der er i gang på området:

- 1) Forsøgene foretages af private entreprenører, der er parat til at handle på egen hånd og stik imod internationale aftaler og konventioner. De handler ud fra en overbevisning om deres eget projekts fordele og ser en mulighed for en fremtidig gevinst, hvis de er først.
- 2) Det er ikke muligt at håndhæve international ret i internationalt farvand. Det giver plads for dem, der er parat til at handle på egen hånd.
- 3) Handel med de såkaldte CO<sub>2</sub>-kreditter (udledningstilladelser) tiltrækker selskaber, der er mere optaget af at tjene mange penge end af at gøre noget for klimaet.



*Alge.*



*Opblomstring af alger i Øresund.*



*Opblomstring af phytoplankton i Sydatlanten ud for Argentinas kyst.*



## Manipulation med Solens stråling

Da det jo er Solen, som i den sidste ende opvarmer Jorden, kunne man forestille sig, at man kunne dæmme op for den globale opvarmning ved at reflektere en større del af Solens stråler tilbage til rummet. Der er flere forslag til, hvordan man kunne gøre det.

Nogle forslag drejer sig om at gøre jordoverfladen lysere eller sagt på videnskabsprog – skabe en højere albedo. Jo højere albedo, jo mere sollys reflekteres. For eksempel har havis en høj albedo – den reflekterer meget lys, mens en havoverflade uden is er mørk, så der optages mere sollys og reflekteres mindre.

En række mere eller mindre fantasifulde forslag går ud på at øge jordoverfladens albedo f.eks. ved at:

- dække ørkenområder med reflekterende materiale
- dække den arktiske havis med et isolerende materiale, der samtidig reflekterer sollyset, så havisen hindres i at smelte i så stor udstrækning, som det sker i dag
- dyrke landbrugsafgrøder med lysere blade
- male bygningers tage hvide og gøre motorvejenes overflade lysere.

En andet, mere radikalt forslag til at øge atmosfærens albedo er at stimulere dannelsen af lyse skyer over havet. Det skulle ske ved at lade en kæmpe-mæssig flåde af skibe sprøje havvand langt op i atmosfæren. Problemerne ved denne metode er først og fremmest, at der skal bruges voldsomme mængder energi til dels at bygge en kæmpe flåde af skibe og dernæst drive de meget store pumper, der skal sprøje havvandet op i atmosfæren. Alt sammen noget, der bare betyder et endnu større forbrug af fossile brændsler og en endnu større global opvarmning, som man jo netop skulle modvirke. Hertil kommer en lang række utilsigtede problemer som ændring af vejrmonstre, reduktion af nedbøren og skader på ozonlaget.

Samlet set kan man sige, at ingen af disse metoder gør noget ved det grundlæggende problem, nemlig udledningen af drivhusgasser. I stedet bruger man penge, som ellers kunne være brugt til energibesparelser og vedvarende energi. Metoderne hjælper heller ikke på forsuringen af havene på grund af det stigende indhold af CO<sub>2</sub> i atmosfæren.



*Ved at male mørke tage hvide vil albedoen øges - dvs. at mere sollys reflekteres ud i rummet. Klimaeffekten er meget begrænset, og der er behov for tagflader til solceller og solvarmepaneller, hvis vi skal udnytte den vedvarende energi.*



*Flåder af skibe, der skal sprøjte havvand op i atmosfæren er et af de mere fantasifulde forslag i science-fiction-genren. Bl.a. Bill Gates vil poste penge i projektet, selv om der ikke er en international godkendelse af det.*

## Teknologisk science fiktion

Der er ingen mangel på fantasifulde forslag til at dæmpe den globale opvarmning ad teknologisk vej. Her er et par af de mest omtalte:

### Spejle i rummet

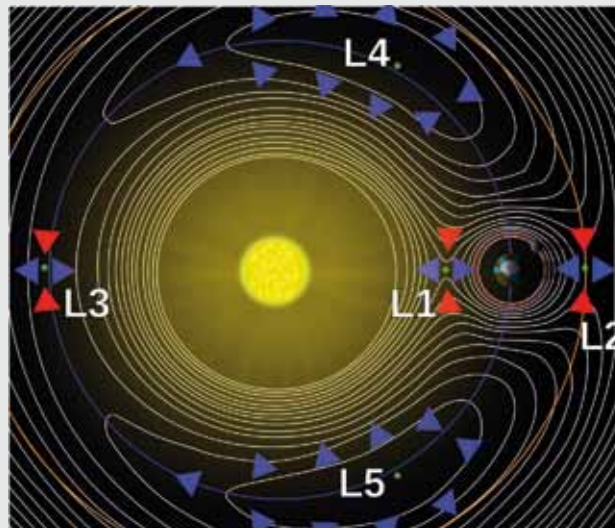
Forslaget går ud på at sende milliarder af spejle 1,5 millioner km ud i rummet til det såkaldte Lagrange punkt, hvor der er balance mellem Solens og Jordens tiltrækningskraft. De mange spejle skal sende ca. en procent af Solens stråler tilbage ud i rummet, så de ikke når Jorden. Problemet er, at det vil kræve en fuld indsigt i og kontrol med bivirkninger, og det vil kræve enorme mængder af energi at sende de mange spejle ud i rummet, så opsendelserne vil i sig selv medvirke til at øge den globale opvarmning. Men først og fremmest vil det ikke gøre noget ved årsagen til den globale opvarmning, nemlig udledningen af drivhusgasser.

### Kunstige træer

En anden idé går ud på at fremstille og opsætte millioner af kunstige træer til at opfange atmosfærens  $\text{CO}_2$ . Sådanne træer siges allerede at være på prototypestadiet, og meningen er, at den opfangede  $\text{CO}_2$  skal komprimeres og sendes dybt ned i undergrunden.

Kemisk opfangning af  $\text{CO}_2$  er ikke nogen ny teknologi. Den bliver allerede anvendt i forbindelse med kulfyrede kraftværker under navnet CCS (Carbon Capture and Storage). Men der er mange problemer med at anvende teknologien i stor skala. Processen er forbundet med et stort energiforbrug, selv på kulkraftværker, hvor koncentrationen i røggassen er stort.

Hvis man skulle trække  $\text{CO}_2$  direkte ud af atmosfæren, ville energiforbruget blive mange gange højere. Hertil kommer, at der også er problemer med en sikker deponering i undergrunden af de enorme mængder af  $\text{CO}_2$ , der bliver tale om.



Tegningen viser de såkaldte Lagrange punkter i forhold til Jorden og Solen. Spejlene skulle placeres i L1.



Kunstige træer, der skal opfange  $\text{CO}_2$ . Tegningen fortæller ikke noget om transporten og lagringen af  $\text{CO}_2$ 'en.

## NOAH mener: Geoengineering er ikke en løsning

På bundlinjen står, at klimaproblemet løses langt lettere og mere sikkert med de midler, vi allerede kender. I de rige lande skal vi først og fremmest reducere vores energibehov, f.eks. gennem energibesparelser som efterisolering af eksisterende

huse og mere effektive elapparater. Teknologier, som allerede eksisterer, men hvis potentialer slet ikke bliver udnyttet nok. Resten af behovet kan dækkes af vedvarende energi, som bliver bedre og billigere for hver dag, der går.

## Her kan du finde flere oplysninger om geoengineering:

### På dansk:

DMI - Danmarks Meteorologiske Institut  
<http://kortlink.dk/dmi/dvph>

### Experimentarium

<http://kortlink.dk/climateinds/dvpm>

### På engelsk:

Met Office, Storbritanniens meteorologiske institut  
<http://kortlink.dk/gov/dvpm>

### Wikipedia

<http://kortlink.dk/wikipedia/dvpr>

### ETC Group

Geopiracy: The Case Against Geoengineering  
<http://kortlink.dk/etcgroup/dvps>

## Geoengineering - Det teknologiske klimafix

Udarbejdet af NOAH Energi og Klima  
Forfatterne kan kontaktes via NOAHs sekretariat

ISBN, trykt udgave: 978-87-91237-63-8

ISBN (klassesæt): 978-87-91237-64-5

ISBN, digital: 978-87-91237-65-2

Vil du gøre noget aktivt sammen med andre? Kontakt NOAH

Miljøbevægelsen NOAH,  
Friends of the Earth Denmark,  
Nørrebrogade 39, 2200 København N  
Tlf.: 35 36 12 12  
Giro: 5 5600 39  
E-mail: [noah@noah.dk](mailto:noah@noah.dk)  
Hjemmesider: [www.noah.dk](http://www.noah.dk) og [www.global-klima.org](http://www.global-klima.org)

Denne publikation er støttet økonomisk af Undervisningsministeriets  
Udlodningsmidler