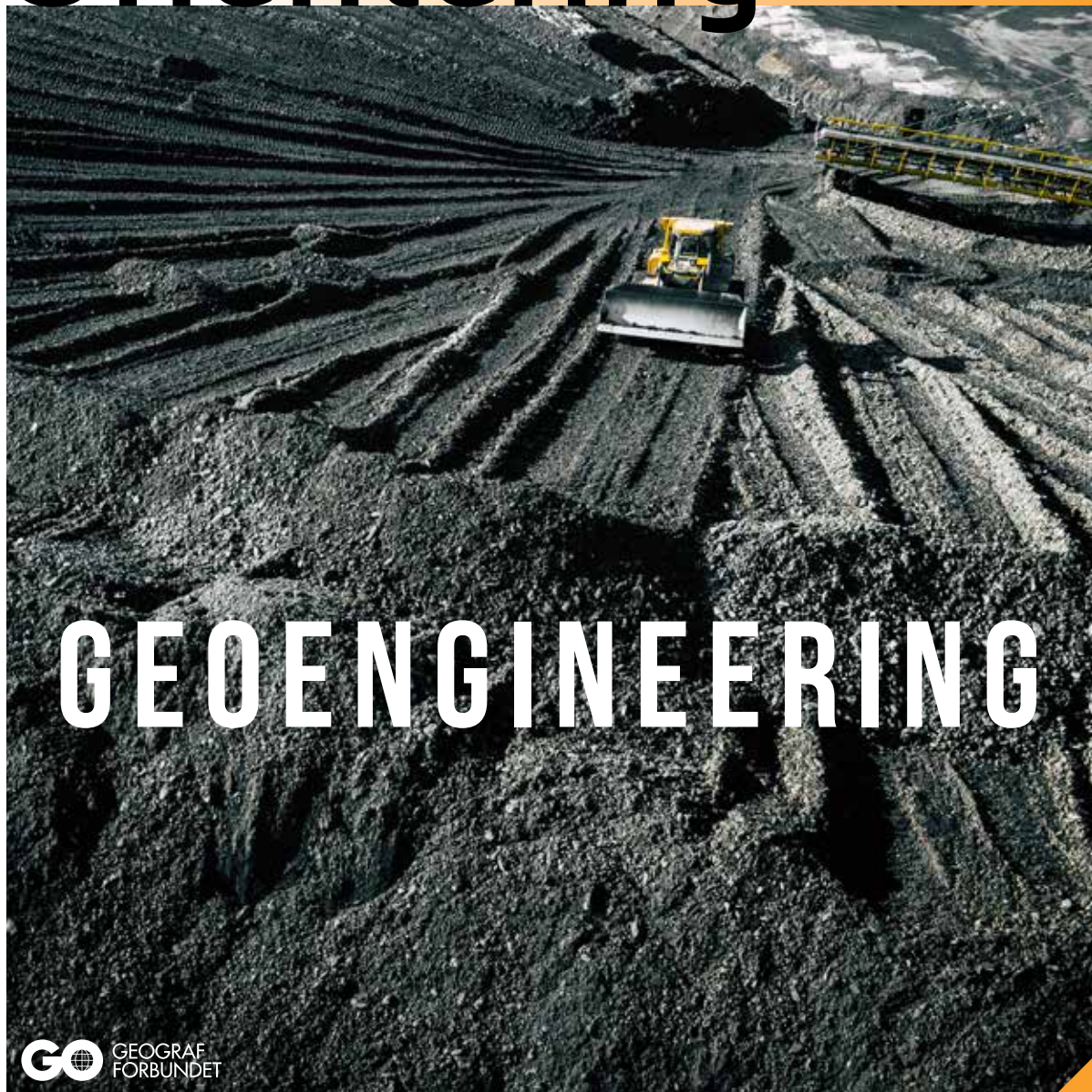


Geografisk Orientering

December 2022

52. årgang // Nr. 5



GO GEOGRAF
FORBUNDET

VEJEN MOD GEOENGINEERING

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.



Side 6

GEOENGINEERING OG ETIK

Hvor stor en risiko ønsker vi at løbe, når ny teknologi tages i anvendelse? Hvilke forpligtelser har vi over for fremtidige generationer? Og hvem bør løfte ansvaret?

Side 14



**Geografisk
Orientering**

Geografiforbundets
medlemsblad

Medlemskontingent for 2022-2023:
Almindeligt medlemskab: 350 kr.
Familie (par): 450 kr.
Studerende: 200 kr.
Institutioner, skoler o. lign.: 525 kr.

Henvendelse om medlemskab/abonnement mv.:
GO Forlag
Anker Heegaards Gade 2, 3.tv., 1572 København
V
Tlf. 6344 1683, go@goforlag.dk
Hjemmeside: www.geografiforbundet.dk

Redaktion:
Ansvarshavende redaktør og annoncetegning:
Andreas Egelund Christensen
Tlf. 2670 8038, E-mail: aec@ign.ku.dk

Anton Grønfeld Wille
Christian Nørrelund (orlov)
Emma Dissing Winzentsen
Hanna Lia Fosberg
Jeannette Hinrup
Katrine Ratjen
Marie Bak Rosendahl
Nikka Toft Tougaard
Ole Pagh-Schlegel (orlov)
Rasmus Skov Olesen
Sanne Lisby Eriksen
Sebastian Toft Hornum (orlov)
Simon Laursen Bager
Teis Hansen

Anmelderredaktør:
Nikka Toft Tougaard
Kirsebærgrenen 189
5220 Odense SØ
Tlf. 29275522, E-mail: Nikka.gts@gmail.com

Annoncepriser:
1/1 side: 7.000kr.
1/2 side: 4.000 kr.
Bagside: 7.000 kr.
Andre formater: 2.800-3.100 kr.
Se endvidere annoncearket på hjemmesiden.

Deadlines for 2022: 20/1; 20/4; 20/6; 20/8; 20/10
GO udkommer medio marts, juni, august, oktober
og december.
© Geografisk Orientering (GO)
Ikke-kommerciel udnyttelse tilladt med
kildangivelse

Kode til registrering på forbundets hjemmeside:
1971GO2008

Layout og omrydning:
Orla Hjort
www.orlahjort.dk – Tlf. 6130 3832
Tryk: Narayana Press. Oplag: 1500
ISSN 0105-4848

Geografiforbundets styrelse:
Formand: Lars Bo Kinnerup:
Tlf. 5784 8005, lbo@geografiforbundet.dk

Næstformand: Lise Rosenberg:
Tlf. 2239 7777, lr@geografiforbundet.dk

Kasserer: Jens Korsbæk, jko@geografiforbundet.dk

Kursusudvalg:
Formand: Lise Rosenberg,
Tlf. 2239 7777, lr@geografiforbundet.dk
Myruran Balasubramaniam, Fcker@hotmail.com
Iben Dalgaard, ida@geografiforbundet.dk

Fagudvalg:
Formand: Henning Lehmann
Tlf. 2537 2861, hl@geografiforbundet.dk
Lars Bo Kinnerup, lbo@geografiforbundet.dk
Mette Starch Truelsen, mst@geografiforbundet.dk
Susanne Rasmussen, sur@geografiforbundet.dk
Kristian Nordholm

Forlagsbestyrelse:
Formand: Jens Korsbæk
Tlf. 3141 1767, jko@geografiforbundet.dk
Lars Bo Kinnerup, lbo@geografiforbundet.dk
Susanne Rasmussen, sur@geografiforbundet.dk
Myruran Balasubramaniam, Fcker@hotmail.com

Regional kontaktperson: Lise Rosenberg
Tlf. 2239 7777, lr@geografiforbundet.dk

Redaktionens forord

GEOENGINEERING

Science-fiction eller virkelighed? Nødvendig, eller unødvendig risiko? Menerne er delte, når emnet falder på geoengineering, som er en samlet betegnelse for et sæt metoder og teknologier til at gribe ind i Jordens klima for at dæmme op for klimaforandringer. Dette nummer af Geografisk Orientering gør os klogere på, hvad begrebet geoengineering dækker over, og præsenterer nogle af synspunkterne for og imod. Artiklerne er skrevet ud fra forfatterens perspektiv og repræsenterer således forfatterens egen holdning og ståsted.

Palle Bendsen fra miljøorganisationen NOAH, sætter rammen for temaet med en række historiske nedslag, der anskuer geoengineering som metode og teknologi i relation til den politiske klimadebat gennem tiden. Anne-Sofie Hobolt-Pedersen, der til daglig sidder i Etisk Råd, gennemgår herefter en række spørgsmål, der er vigtige at forholde sig til, når vi sammen skal afgøre, hvorvidt geoengineering er etisk forsvarligt eller endda etisk nødvendigt at forholde sig til, bl.a. i forhold til hensynet til sårbare befolkninger, sikkerhed og ansvar.

Med denne indføring til geoengineering præsenteres efterfølgende en række eksempler på forskellige metoder og teknologier, der fjerner drivhusgasser som CO₂ fra atmosfæren og lagrer det et andet sted.

Det første eksempel kommer fra Niels Schovsbo og Bodil Lauridsen fra GEUS, der fortæller om lagring af CO₂ i den danske undergrund. Rasmus Hansen fra virksomheden Klimate, beskriver hernæst en allerede veletableret forretning, hvor det er muligt at suge CO₂ ud af luften, som kan sælges i form af CO₂-kvoter. Veronika Slakaityte fra DIIS beskriver en teoretisk mulighed for vha. geoengineering at forvandle flydende naturgasterminaler til CO₂-lagre, og kobler på den måde klimakrisen til energikrisen. Fra teori til praksis følger en artikel, hvor Signe Wolff Ravneberg fortæller om sine oplevelser som forskningsassistent hvor hun, udstyret med gletsjermel på et forskningsskib, forsøger at øge alge-opblomstring i havene til lagring af CO₂. Dernæst beskriver Anton Wille et projekt, der med mere naturbaserede metoder har en ambition om at ændre klimaet lokalt; nemlig ved at gøre Sahel grøn med et kæmpe-mæssigt trærejsningsprojekt.

En anden tilgang til at dæmme op for klimaforandringer vha. geoengineering er at forsøge at reducere mængden af sollys, som Jorden absorberer. Hvad det kan indebære, gør Jeremy Baskin os klogere på med sin forskning fra University of Melbourne, Australia.

Temaet afsluttes i mødet med Geoingeniøren og Bonderøven – to karakterer med hver deres antagelser om mennesket og vores liv som jordboer, konstrueret af Morten Ziethen fra Aalborg universitet og Daniel Lux, stifter og ejer IT-virksomheden Seluxit.

Hvis du selv vil prøve kræfter med geoengineering kan du også finde sjove gør-det-selv eksperimenter i bladet!

God jul og god læselyst fra hele redaktionen.

Forside: Menneskelige aktiviteter påvirker naturen og sætter spor i landskabet, her i form af udvinding af kul. Foto: colourbox.dk
Næste nummer: Temperaturen på geografisk forskning

Geoengineering

TEMA

- 6 // Vejen mod geoengineering
- 14 // Geoengineering og etik
- 20 // CO₂ Geo-Engineering:
Geologisk lagring af CO₂ i
Danmark
- 26 // Kunsten at rense luften
for CO₂
- 30 // En satsning? Geoengineering
og naturgasinfrastrukturen
- 34 // Fra Grønland til grønne
oceaner
- 38 // The Great Green Wall – Et
ambitiøst skovrejsnings-
projekt i Sahel
- 44 // Solar geoengineering: et des-
perat forslag i desperate tider
- 46 // Geoingeniøren og
Bonderøven

GEO MIX

- 48 // På jagt efter strandsten
- 55 // Dagens geograf
- 62 // Månedens link

GEOGRAFFORBUNDET

- 56 // Fagudvalgets klumme
- 60 // Studieture
- 62 // Hvor er geografien



s. 20

CO₂ Geo-Engineering: Geologisk lagring af CO₂ i Danmark

Ved at trække CO₂ ud af luften og permanent lagre det i undergrunden, kan vi mindske den menneskeskabte opvarmning og måske på længere sigt begynde at afkøle Jorden.



s. 34

Fra Grønland til grønne oceaner

Et nyt forskningsprojekt vil undersøge, hvorvidt man kan bruge glacialt stenmel til at øge CO₂-sekvestringen i havet og dermed afhjælpe den globale opvarmning.



s. 46

Geoingeniøren og Bonderøven

Hvordan skal vi fremover indrette os som jordboere, og hvilke antagelser om mennesket og naturen gemmer der sig bag svarene? De to poler kunne benævnes Geoingeniøren og Bonderøven.

Redaktionen

Ansvarshavende redaktør



Andreas Egelund Christensen

Ph.d. i geografi, International koordinator ved Københavns Universitet og generalsekretær for Det Kongelige Danske Geografiske Selskab



Anton Grønfeld Wille

Geografistuderende, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet



Christian Nørrelund

Cand.scient. i geografi



Emma Dissing Winzentsen

Geografistuderende, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet



Hanna Lia Fosberg

Cand.scient. i geografi



Jeannette Sophie Hinrup

Cand.scient. i geografi



Katrine Ratjen

Cand.scient. i geografi, Konsulent, Region Hovedstaden, kollektiv trafik



Marie Kirstine Bak Rosendahl

Geografistuderende, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet



Nikka Toft Tougaard

Cand.scient. i geografi



Ole Pagh-Schlegel

Cand.scient. i geografi, specialkonsulent i Bolig- og Planstyrelsen



Rasmus Skov Olesen

Ph.d.-studerende ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet



Sanne Lisby Eriksen

BSc i geografi og MSc i Environmental Science, fuldmægtig i Landbrugsstyrelsen



Sebastian Toft Hornum

Ph.d.-studerende UNEP DTU



Simon Laursen Bager

Ph.d. i geografi, Bæredygtighedsdirektør, Klimat.co



Teis Hansen

Ph.d. i geografi, professor ved Institut for fødevarer og ressourceøkonomi, Københavns Universitet

SÅ LANGT, SÅ GODT

I begyndelsen af oktober vedtog et bredt flertal i Folketinget en aftale om en ny læreruddannelse, og når dette læses er arbejdet med at udarbejde nye fagbeskrivelser og mål i gang. Hvordan fagene, herunder geografi, kommer til at se ud er således endnu uvist. Der er dog nogle ting vi allerede ved.

I nogle år har der været spekulationer om, at læreruddannelse skulle varetages af universiteterne i stedet for at ligge på professionshøjskolerne. Med den vedtagne aftale skal uddannelse af lærere fortsat varetages af professionshøjskolerne og det er fortsat en fireårig professionsbacheloruddannelse. En yderligere akademisering er nok ikke formålstjenlig, og det netværk som professionshøjskolerne har med skoler og kommunale administrationer, som de uddanner nye lærere i samarbejde med, er omfattende og ikke nemt at erstatte.

Netop den del af læreruddannelsen, i første omgang praktikken, som professionshøjskolerne samarbejder med skolerne om, har det været et ønske at styrke, så de kommende lærere står bedre rustet til at møde virkeligheden. Det skal bl.a. ske ved dels at udvide antallet af timer (ECTS-point) til praktikken, dels ved at udvide fagene med krav om at indarbejde praksistilknytning i forløbene. Det er en meget god ide, at koble fag og undervisning sammen, hvilket ikke har været tilfældet i den nuværende læreruddannelse, hvor praktikken har haft sine egne kompetencemål, i princippet afkoblet fra undervisning i fag.

Praksistilknytningen i fagene kommer til at stille større krav til skolerne om at være med til at give de studerende muligheder for at afprøve ideer med eleverne, og dermed griber det også ind i den meget pressede hverdag, som opleves på mange skoler. Professionshøjskolerne bliver derfor mere afhængige af skolerne for at kunne 'levere varen'.

Et af de særdeles positive træk ved den nye uddannelse er, at de meget detaljerede målbeskrivelser i fagene nu skal afløses af færre og mere overord-

nede målbeskrivelser. Dette overlader initiativ til at den enkelte underviser, sammen med sine studerende, kan tilrettelægge og afprøve nye tiltag og anderledes indholdsområder end de traditionelle mm. Dertil kommer, at fagene fremover betragtes som hele fag og ikke moduler i en fastlagt rækkefølge. Det åbner f.eks. for bedre muligheder for at samarbejde mellem fagene.

Og når vi nu er ved fagene, så genoptages dansk som andetsprog og specialpædagogik i fagrækken. Det er der sikkert et behov for, men set med geografiske øjne er det ikke så godt, da det kan betyde færre studerende i geografi. Det havde været bedre med de to fag som overbygninger (diplomuddannelse), så de hvilede på en bredere undervisningsfaglighed – geografi på dansk er også dansk som andet sprog, når man ikke har det som modersmål, og specialpædagogik er der lige så meget brug for i geografi som i andre fag.

Alt i alt er der efter min mening ikke grund til at klage (særligt højt) – det er et godt udgangspunkt.

God jul med god læselyst,

Med venlig hilsen

Lars Bo Kinnerup
Formand





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 drivhuseffekten CO_2 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

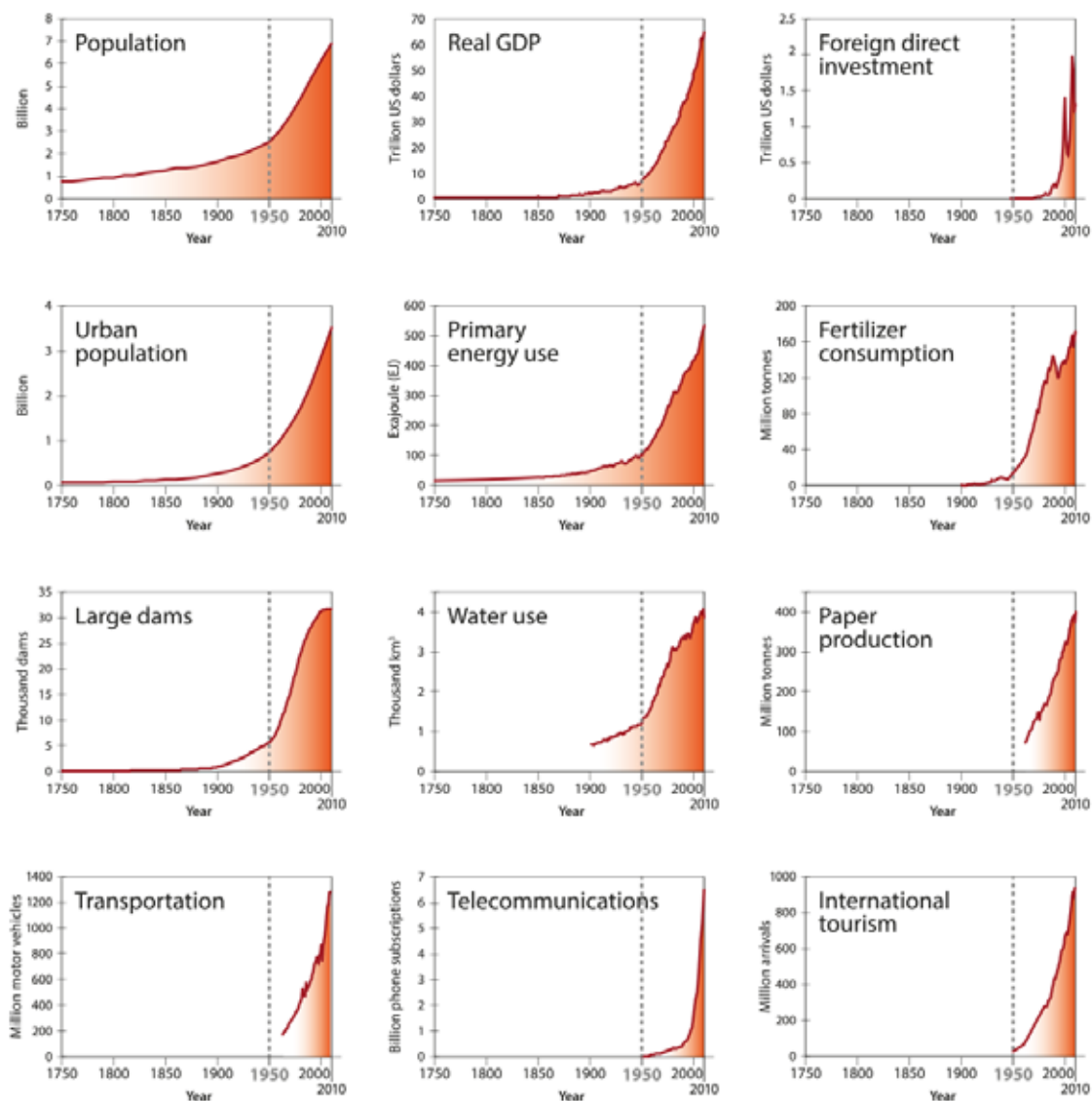


Fig. 1. Socioøkonomiske tendenser 1750-2010.

Earth system trends

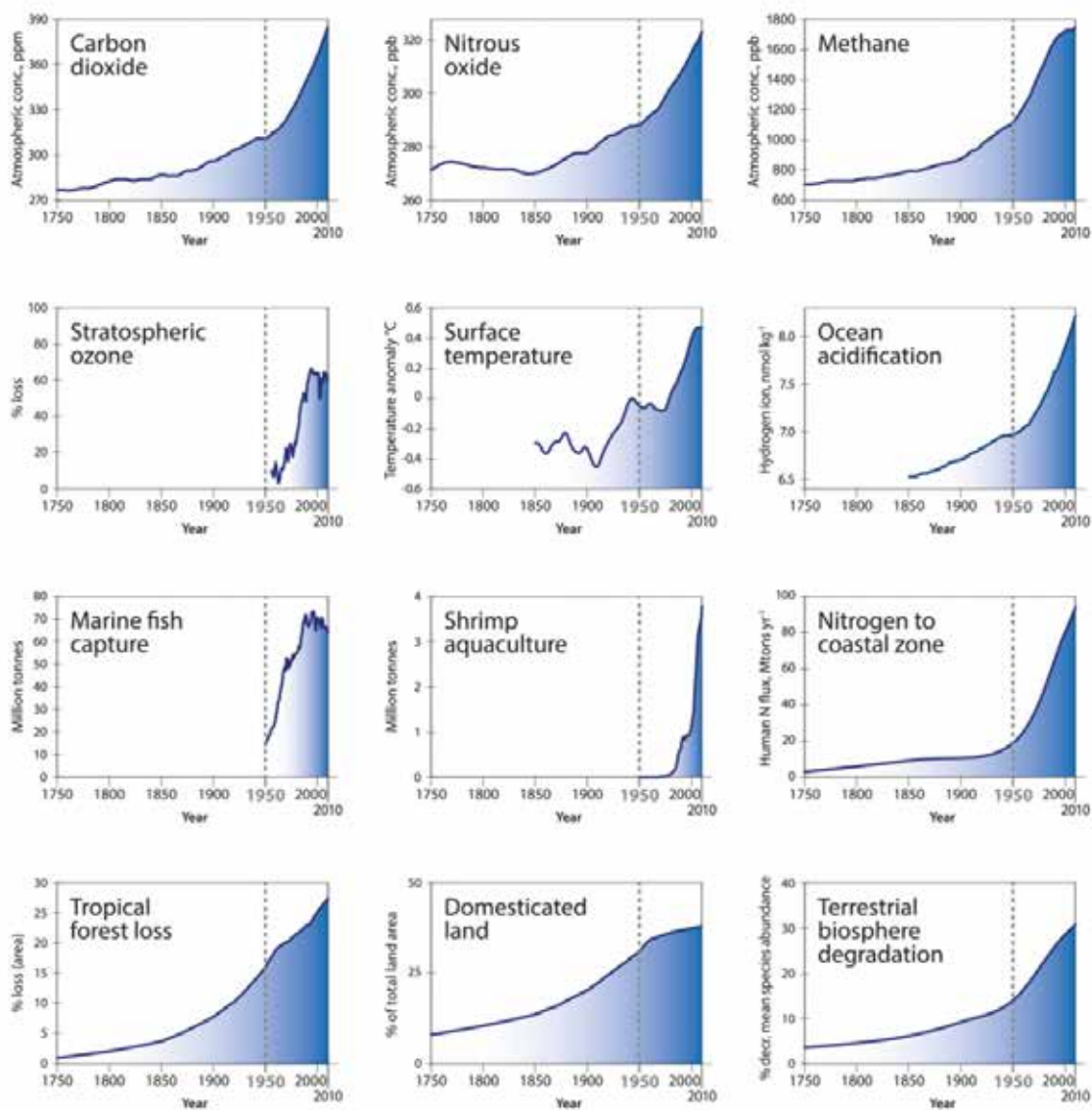
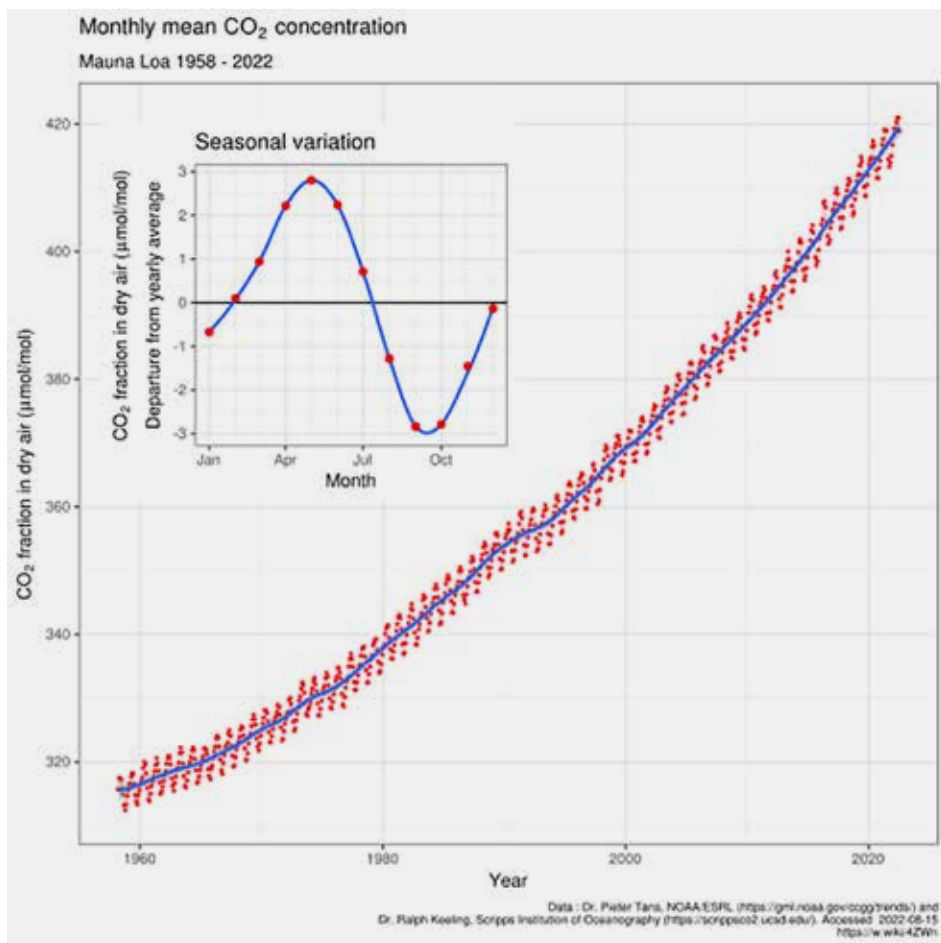


Fig. 2. Tendenser i planetære systemer 1750-2010.

Fig. 3. Kurve over målinger af den månedlige mid-koncentration af CO_2 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 CO_2 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 CO_2 udledes eller fjerner CO_2 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. 4. I 1957 skrev Roger Revelle og Hans Suess om drivhuseffekten: "... menneskeheden er nu i færd med at gennemføre et geofysisk fuldskala eksperiment ..."

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.

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 CO_2 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 CO_2 , holde en vis mængde af solindstrålingen ude eller binde CO_2 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 CO_2 , 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 fortalene 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 adfærdsændringer (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, endside 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 forsuringen 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.



Af: Anne-Sofie Hobolt-Pedersen

GEOENGINEERING OG ETIK

Geoengineering kan anses som et potentielt effektivt middel til at holde den hastige klimaforandring tilbage og på den måde vinde tid til at udvikle og implementere en bæredygtig samfundsomstilling. Samtidig rejser det også en række etiske spørgsmål, for hvor stor en risiko ønsker vi at løbe, når ny teknologi tages i anvendelse? Hvilke forpligtelser har vi over for fremtidige generationer? Og hvem bør løfte ansvaret?

For at kunne afgøre om geoengineering er etisk forsvarligt eller endda etisk nødvendigt, er det vigtigt at forholde sig til spørgsmål som disse.



Geoengineering kan både repræsentere håb og bekymringer i en alvorlig klimasituation.
Foto: colourbox.dk



Menneskelige aktiviteter påvirker naturen og sætter spor i landskabet, her i form af udvinding af kul. Foto: colourbox.dk/ Curioso.Photography

Mennesker, natur og klima

Geoengineering, forstået som et bevidst, storstilet teknologisk tiltag for at modvirke menneskeskabte klimaændringer, kan anses som et af de nyeste tiltag i rækken af menneskelige forsøg på at ændre naturen. Sådanne forsøg har mennesker til alle tider gjort sig i, for i og med at vi lever af naturen, påvirker vi den også. Jordens ressourcer udnyttes i høj grad både til fremstilling af de ting vi omgiver os med, og til produktion af de fødevarer vi er biologisk afhængige af. I takt med den teknologiske udvikling er de menneskelige ændringer af naturen taget til. F.eks. er udledning af drivhusgasser steget kraftigt siden industrialiseringen, og aktiviteter som afbrænding af skov og opdyrkning af land eller anlæggelser af miner og dæmninger har sat sine tydelige spor i landskabet. Denne udtalte tendens til naturpåvirkning giver anledning til, at man nu taler om at

kategorisere den nuværende geologiske tidsalder som "Antropocæn" – eller med andre ord: Menneskets tidsalder.

Både ved forbrug af tilgængelige naturressourcer og i form af drivhusgasudledning sætter hvert menneske i løbet af et liv sit eget større eller mindre aftryk på naturen. Historisk er en del af denne naturpåvirkning, som f.eks. udledning af drivhusgasser, nok mest foregået ubevidst som en indirekte effekt af menneskelige aktiviteter. I dag er der dog en udbredt bevidsthed om de konsekvenser, manges levevis medfører, og der er især stor opmærksomhed omkring menneskers indflydelse på klimaet.

Klimaet har altid spillet en afgørende rolle for menneskers liv og til trods for talrige redskaber til at imødegå klimamæssige udfordringer og omskiftelige vejrforhold, som f.eks. kunstvanding og drivhuse, har klima altid været et vilkår, som mennesket har



Klima har hidtil været et vilkår, som mennesker har måttet indrette sig efter bl.a. ved at dyrke visse afgrøder i drivhuse.
Foto: colourbox.dk

måttet tilpasse sig. Der udvikles f.eks. forskellige tiltag til beskyttelse af den dyrkede jord mod bl.a. ørkendannelse og oversvømmelse, ligesom bygninger i udsatte områder sikres for at kunne modstå klimafænomener. Alligevel overrasker ekstreme vejrforhold stadig og kan forårsage omfattende ødelæggelser.

Som følge af de menneskeskabte forandringer af klimaet, kan voldsomme vejrphenomener i fremtiden forekomme endnu hyppigere, og det er derfor et internationalt mål at iværksætte tiltag til reduktion af drivhusgasudledningen. Geoengineering er et eksempel på ét blandt flere mulige tiltag, som kan vise sig at have en betydelig effekt i den sammenhæng. Det er dog et spørgsmål, om dets anvendelse vil være etisk forsvarlig eller forbindes med så mange udfordringer, at andre metoder bør prioriteres.

Nytte og risici

Nogle af de typiske eksempler på geoengineering er teknologiske tiltag til at begrænse den mængde sollys jorden absorberer, eller til at fjerne mængden af drivhusgasser som CO_2 , fra atmosfæren, f.eks. ved at lagre dem andre steder. Et vigtigt spørgsmål, som disse eksempler rejser er, hvor sikre vi kan være på, at et givent teknologisk tiltag har de ønskede, og kun de ønskede, konsekvenser på både kort og lang sigt? Hvad angår netop geoengineering kan det være særlig vanskeligt at forudsige og kontrollere alle konsekvenser, bl.a. fordi anvendelsen sjældent kan afgrænses til et enkelt geografisk område, og tiltag til forskellige former for geoengineering ét sted i verden kan risikere også at få effekter andre steder.

Selvom mennesker mere eller mindre bevidst allerede har ændret klimaet, kan det altså alligevel rejse bekymring at gøre det igen i forsøg på at mod-



virke tidligere handlinger. Udover at det kan blive vanskeligt at begrænse effekterne af geoengineering rumligt, vil det muligvis også kunne være problematisk at begrænse dem tidsmæssigt. Geoengineering kan nemlig i nogle tilfælde føre til en tilstand, hvor det at stoppe teknologien igen kan forværre situationen. F.eks. kan effekterne af en fortsat udledning af drivhusgasser potentielt reduceres, hvis jorden samtidig afkøles vha. geoengineering; men det vil til gengæld også kunne medføre en forholdsmæssig kraftig temperaturstigning, såfremt teknologien afbrydes igen.

Andre bekymringer vedrører risikoen for, at geoengineering kan gå hen at blive en sovepude, som kan forsinke den bæredygtige omstilling. For hvis konsekvenserne af drivhusgasudledningen kan udlignes teknologisk, vil incitamentet til at nedsætte eller transformere det nuværende energiforbrug måske mindskes for at undgå mulige økonomiske og sociale omkostninger. Herved kan det at opretholde den teknologiske løsningsmodel blive endnu mere nødvendigt. Alternativt kan der dog også rejses spørgsmål om, hvorvidt en bæredygtig omstilling af samfundet overhovedet kan foregå hurtigt nok til

at opveje den stigende drivhusgasudledning, hvis geoengineering ikke tages i brug som et redskab.

Hensyn til verdens mest sårbare befolkninger

Paradoksalt nok er det ikke nødvendigvis de mennesker, som nye teknologier kommer mest til gode, der står overfor de største udfordringer relateret til risici. De klimaforandringer, som den atmosfæriske ophobning af drivhusgas bevirker, påvirker potentielt alle, men særligt en del af verdens mest sårbare befolkning på steder der er meget udsatte for naturkatastrofer. Derfor kan det, hvad angår geoengineering, være relevant at gøre sig overvejelser om hvordan konsekvenserne kan komme til udtryk globalt, og om det vil være muligt at fordele de potentielt positive og negative effekter retfærdigt?

Tilsvarende overvejelser kan med fordel gøres om vores forpligtelser over for fremtidige generationer. Vil de kunne drage fordel af en eventuel anvendelse af geoengineering i vor tid, eller vil en sådan praksis være at gamble med deres livsvilkår og måske kunne risikere at tvinge dem til at skulle fortsætte bestemte teknologiske tiltag, som de muligvis aldrig selv ville have sat i gang?

Sikkerhed og ansvar

Set i lyset af de aktuelle klima- og miljøudfordringer, kan det være relevant at overveje, om klimasituationens alvor bør opveje mulige usikkerheder over for nye teknologiske løsninger som geoengineering. Udover uforudsigeligheden om konsekvenserne af den tiltænkte anvendelse af geoengineering, kan der også rejses bekymringer relateret til det potentielle misbrug, som vil kunne opstå, hvis teknologierne havner i hænderne på mennesker, der kun ønsker at anvende dem for egen vindings skyld eller måske endda for at skade andre. Allerede nu anvendes der bl.a. i nogle mellemøstlige lande forskellige om-diskuterede teknologier til at samle vanddråber i skyer, i håb om at sikre nedbør på egne landområder hvilket har rejst kritik andre steder.

De mulige bekymringer relateret til geoengineering, rejser også et spørgsmål om autonomi og ansvar. Potentielt kan geoengineering få uønskede konsekvenser for mange mennesker, også for de som er modstandere af teknologierne. Dette kan give anledning til mistillid. I mange tilfælde vægtes selvbestemmelse og retten til at sige fra særdeles højt, og det kan være relevant at overveje, hvornår enkelte individers ret bør opveje samfundets interesse for en fælles klimaløsning. Kan bekymringerne opveje håbet?

Et heraf afledt spørgsmål kan være, hvem der bør træffe beslutningen om, hvorvidt geoengineering skal anvendes, og hvem der måtte have ansvaret for eventuelle negative konsekvenser. Da svaret kan afhænge af en etisk værdiafvejning, kan det være en fordel at sikre, at alle synspunkter afdækkes, og at

en offentlig debat, som bygger på solid og saglig information, faciliteres. I en sådan debat kan det være vigtigt også at have fokus på den modsatte situation og alternativerne, i tilfælde af at geoengineering må opgives.

Samlet set rejser geoengineering således en række svære etiske problemstillinger og samtidig et overordnet internationalt spørgsmål om, hvordan jorden og vores samfund bør formes i fremtiden.

Artiklen er skrevet af:

Anne-Sofie Hobolt-Pedersen
Cand. Scient., ph.d.
Projektleder hos
Det Ethiske Raad,
Nationalt Center for Etik



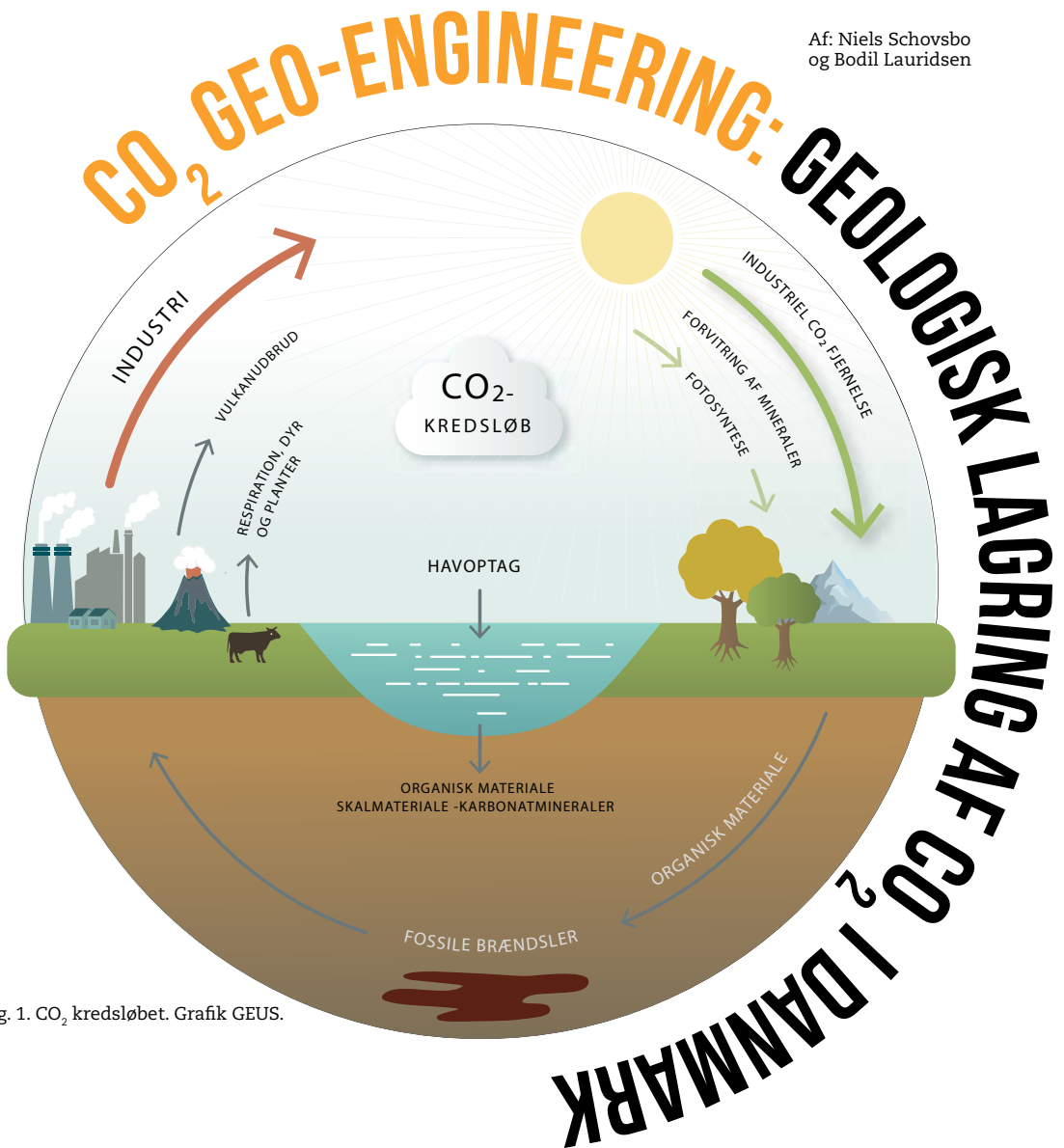


Fig. 1. CO₂ kredsløbet. Grafik GEUS.

CO₂ er en drivhusgas. Ved at trække CO₂ ud af luften og permanent lagre det i undergrunden, kan vi mindske den menneskeskabte opvarmning og måske på længere sigt begynde at afkøle Jorden. Lagring af CO₂ kan ske som væske i dybe jordlag, som kulstøv på jordoverfladen eller som mineraler. I Danmark er vi langt med alle tre lagringsformer. I artiklen gennemgår vi Jordens CO₂ kredsløb, hvordan CO₂ Geo-Engineering virker, hvor langt teknologien er fremme i Danmark samt noget af den forskning, der ligger bag. Gør-det-selv eksperimenter illustrerer principperne bag CO₂ lagring.

Introduktion

Industrialiseringen har været en kæmpe landvin-
ding for menneskene på Jorden og givet os utrolig
mange muligheder. Men selvsamme succeshistorie
har også ført til eskalerende udledninger af drivhus-
gasser, især CO_2 , der har bragt vores klode på kanten
af en klimakrise. Det har vi gjort ved at accelere-
re frigivelsen af "naturligt" bundet CO_2 enten ved
afbrænding af biomasse, fossile brændsler, såsom
olie og gas, eller ved at bruge karbonatminerale til
cement. Geo-Engineering af CO_2 påvirker det natu-
rlige CO_2 kredsløb så der sker en øget fældning af CO_2
fra atmosfæren. CO_2 Geo-Engineering er derfor en
teknologi, der arbejder på at finde løsninger, der kan
bremse den eskalerende klimakrise ved at vende CO_2
strømmen fra udledning til atmosfæren til deponer-
ing i undergrunden.

Paradoksalt nok er det faktisk på grund af tidligere
tidters eftersøgning efter olie og gas, at vi i Danmark
har et indgående kendskab til vores undergrund og
derfor uvurderlig viden til at forstå hvilke mulighe-
der, der er for CO_2 Geo-Engineering. I Danmark er
vi langt med at virkeliggøre lagring i undergrunden
som én af løsningerne. Dette sker som et samarbejde
mellem geologer, kemikere og ingeniører.

CO_2 kredsløbet

CO_2 er et af de vigtigste molekyler på Jorden. Det er
en del af fotosyntesen, hvor CO_2 og vand sammen
med solenergi omdannes til organisk kulstof der er
den centrale byggesten for livet på Jorden. Desuden
er CO_2 en af de drivhusgasser, der er med til at styre
klimaet ved at opretholde Jordens energibalance.
Dette skyldes, at CO_2 tillader indstrålingen af solens
energi men samtidig holder på Jordens varmeudstrå-
ling.

CO_2 koncentrationen i atmosfæren styres af hvor
meget der tilføres – naturligt eller menneskabt –
samt hvor meget CO_2 , der fjernes, og er en vigtig del
af kulstofkredsløbet (Fig. 1). Hvis man ser på den
samlede mængde kulstof, der er på Jorden, er langt
den største del dog bundet i undergrunden enten
som organisk kulstof, kul, olie, gas, eller mineralsk
kulstof i karbonatminerale (f.eks. calcit, CaCO_3),
hvorimod CO_2 mængden i atmosfæren udgør en for-
svindende lille del af den samlede mængde kulstof.
Andre dele af kulstofbudgettet er de aktive puljer,
der indgår f.eks. biomasse, der kan forekomme som
træer, dyr eller opløst i oceanerne.

Over millioner af år har der, overordnet set, været
balance mellem disse puljer, men geologisk set (altså
over endnu flere millioner år) kendes der perioder
med store forskydninger i CO_2 koncentrationerne. I

Karbontiden (fra 354 til 290 millioner år siden) blev
store mængder af trækul begravet og det førte til
lavere mængde CO_2 i atmosfæren således at der peri-
odisk var istider. I Kridttiden (fra 146 til 66 millioner
år siden) var den vulkanske aktivitet stor, hvilket
førte til signifikante mængder CO_2 i atmosfæren og
et deraf følgende varmere klima.

CO_2 kredsløbet i figur 1 illustrerer derfor både
vores CO_2 "problem" og "Geo-Engineering løsning-
en". Udjævningen af de naturlige svingninger i CO_2
sker normalt over mange tusinder af år, men i CO_2
Geo- Engineering ønsker vi at påvirke CO_2 kredsløbet
meget hurtigere. Vi kan gøre brug af de naturlige pro-
cesser, der øger optaget af CO_2 fra atmosfæren. Det
gør man på tre forskellige måder:

1. Ved at øge begravelsen af organisk bundet kulstof
enten i form af kulstof fra vegetation eller ved
at øge begravelsen af kulstof fra marine dyr. På
den måde tilføres kulstoffet til undergrunden og
bevares bundet i sin organiske form. Man gør på
den måde brug af fotosyntesen, der jo binder CO_2
samt vand og danner organisk kulstof, til at fjerne
 CO_2 fra atmosfæren.
2. Ved at øge den mineralske optagelse af CO_2 fra
atmosfæren. Her gør man brug af den naturlige
forvitring af mineraler ved jordoverfladen f.eks.
mellem kalifeldspat (KAlSi_3O_8) og opløst CO_2 i
vand (HCO_3^-).
3. Ved at øge mængden af biologisk aktivt kulstof.
Her kan man plante flere skove, dyrke alger i store
bassiner etc.

Hvordan kan CO_2 lagres permanent

Den naturlige måde at nedbringe CO_2 i atmosfæren
er at øge mængden af langtidslagret kulstof i form
af kul, organisk materiale i sedimenter samt CO_2
bundet i karbonatminerale (Fig. 2). Disse naturlige
former kendes godt, og kan alle føre til en perma-
nent lagring af CO_2 .

I CO_2 Geo-Engineering benyttes den naturlige
lagringsmåde af CO_2 som kul i form af "biokoks", der
minder om trækul, der kan dannes ved opvarmning
af biomasse uden tilførsel af ilt. Denne metode kal-
des pyrolyse. Her dannes biokoksen som et restpro-
dukt efter at biomassen har afgasset metangas og
andre forbindelser. Biokoks er en meget stabil form
og kan f.eks. lagres direkte i landbrugsjord, hvor det
vil være stabilt i årtusinder. En sådan lagring af CO_2
forekommer også naturligt i jorden og kendes bl.a.
fra geologiske lag, afsat i perioder med meget krafti-
ge skovbrande, hvor man kan se et stort indhold af
trækul.



Fig. 2. Former for kulstof. Fra venstre kulstof som trækul, som mineralsk (Calcit) samt som komprimeret CO_2 illustreret ved en trykcylinder. Foto: Jacob Lind Bendtsen

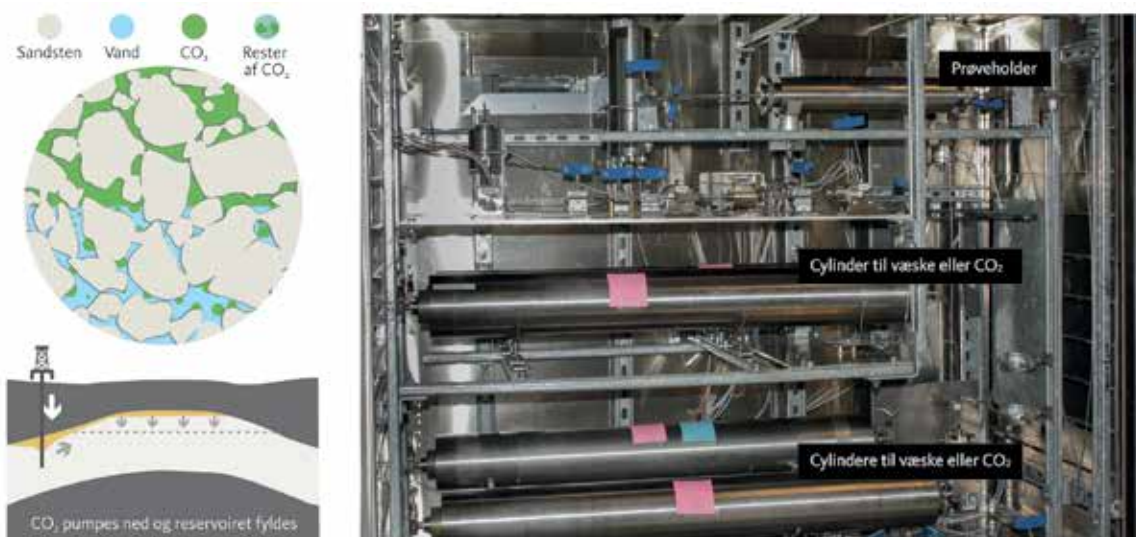
I CO_2 Geo-Engineering bruges lagring af CO_2 på mineralsk form i specielle geologiske miljøer, hvor der findes bjergarter, der er meget reaktionsvillige overfor CO_2 som f.eks. lavastenen på Island, der indeholder mineraler der let kan reagere med CO_2 . I CO_2 Geo-Engineering kan man benytte sig af dette ved at pumpe opsamlet CO_2 fra industrianlæg - eller CO_2 fanget direkte fra atmosfæren - ned i undergrunden. Da Island samtidig har en meget varm undergrund pga. vulkansk aktivitet, øges de kemiske reaktioner mellem CO_2 , vand og mineraler kraftigt. Som følge heraf dannes der karbonatmineraler i lavastenen. Geologisk set kender vi CO_2 fiksering i form af karbonatmineraler både ud fra udfældninger i stenmateriale samt som skalmateriale fra f.eks. koraller (figur 2). Vi ved, at sådanne mineraler er stabile over millioner af år, hvilket også vil føre til en permanent lagring af CO_2 .

I CO_2 Geo-Engineering bruges også en ny form for CO_2 lagring, som ikke forekommer naturligt, nemlig lagring i væskeform. Her fanger man CO_2 fra røggasser i industrianlæg, hvorefter CO_2 komprimeres til en farveløs væske med tyngde som spiseolie, som opfører sig som en gas. Den komprimerede CO_2 lagres i undergrunden. Denne måde at lagre på er godt kendt fra naturligt dannede olie- og gasforekomster. I stedet for at pumpe olie og gas ud af reservoiret pumpes CO_2 ned i et egnet velstuderet reservoir, der ligger mellem 800 til 3000 m under undergrunden. Reservoiret udgøres af jordlag der er meget porøse, samt har et godt, sammenhængende poresystem. Dette gør, at væske og gas kan trænge

igennem. I modsætning til reservoirbjergarterne findes sejlbergarterne, der fungerer som et låg over de områder, som man ønsker at opbevare CO_2 i (figur 3). Sådanne segl består mest af lermineraler og har meget små porerum, der ikke let tillader at væske og gas trænger igennem. Sådanne bjergarter findes i størstedelen af den danske undergrund hvor de typisk danner meget tykke lag på op til flere 100 m i tykkelse, hvilket også er nødvendigt for at sikre permanent lagring af CO_2 i undergrunden.

Forskning i lagring af komprimeret CO_2

Fordelene ved at lagre CO_2 i undergrunden er, at den komprimeres ca. 300 gange mere på grund af det øgede tryk i dybden, end hvis CO_2 gas lagres på jordoverfladen. Dette bevirker, at vores undergrund kan lagre utroligt store mængder CO_2 på et lille område. Lagring af CO_2 i undergrunden er en kendt teknologi som udføres mange steder i verden. Alligevel foregår der stadig forskning på området, da det er meget vigtigt at få en forståelse af undergrunden på det aktuelle sted, der ønskes brugt som lager. De enkelte reservoirbjergarter kan opføre sig forskelligt, der kan være variationer i sejlbergarterne, og måske er der en lækagemulighed, som man ikke har beskrevet. Forskerne benytter i starten meget simple modeller til at undersøge hvordan CO_2 -lagringen sker i undergrunden som de der er vist på figur 4. Her viser modellen at CO_2 vil samle sig øverst i reservoiret, da den er lettere end reservoirvæsken. Da komprimeret CO_2 ikke findes naturligt, arbejder forskerne med at forstå, hvad præcis der vil ske når CO_2 lagres i den



danske undergrund. Vi regner med, at bjergarternes egenskaber i dybden gør, at CO₂ vil fastholdes i undergrunden. Det er dog kun en teori, da den langvarige stabilitet af CO₂-lagring kun kendes godt for de naturlige CO₂ lagringsformer.

I laboratoriet genskaber forskerne derfor, hvad der vil kunne ske i undergrunden. Det gør de ved at opstille forsøg med prøver fra undergrunden, der under højt tryk og temperatur på f.eks. 60 oC og 200 bars tryk, gennemstrømmes af komprimeret CO₂. Prøverne der undersøges afspejler de forskellige

reservoirtyper som vi har i Danmark, nemlig skrivekridt, sandsten med stort indhold af grønne mineraler (Glaukonit - $K(Fe, Al, Mg)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$) samt rent kvartssand (SiO₂) (Fig. 3). Ved sådanne forsøg lader man CO₂ gennemstrømme bjergarterne i ugevis for at studere, hvordan de forskellige materialer rent faktisk vil reagere. Ud fra forsøgene i laboratoriet er det observeret, at CO₂ langsomt opløser sig i den salte væske i porerummene og man regner med, at den på en skala af tusinde år vil reagere med mineralerne og danne stabil lagring.

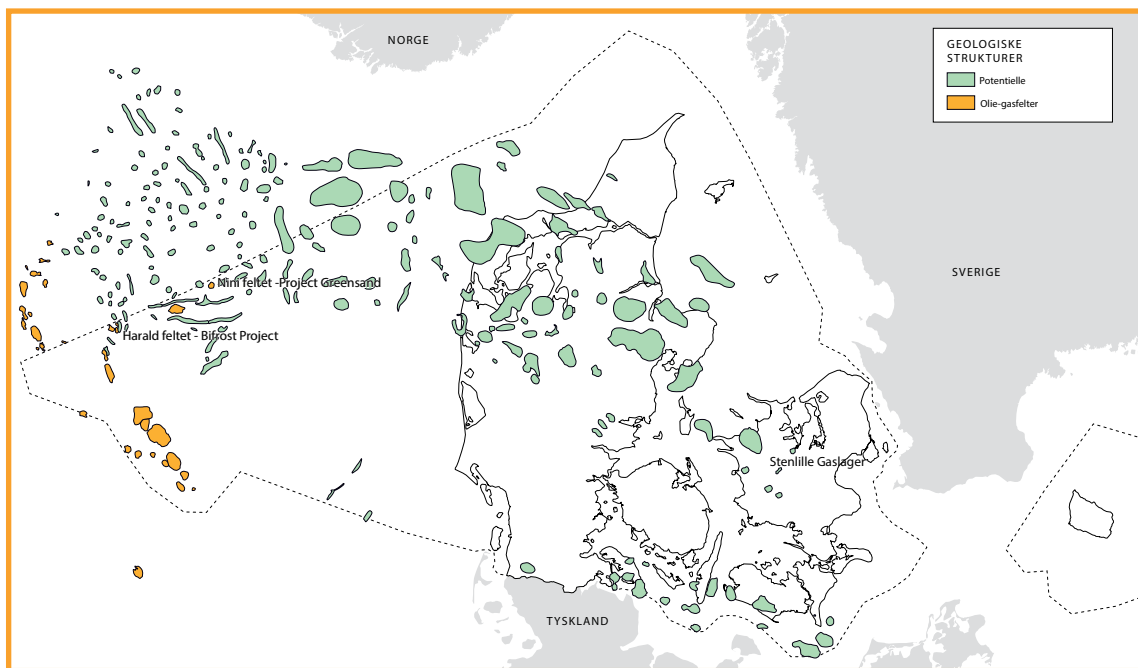


Fig. 5. Danske CO₂ lagringsstrukturer. Grafik efter: <https://www.geoviden.dk/co2lagring>.

CO₂ lagring - Hvor i Danmark

Der er endnu ikke lagret CO₂ i undergrunden i Danmark, selvom den er meget velegnet til lagring. I løbet af bare de sidste par år er der dog påbegyndt flere projekter om konkret modning af områder, hvor undergrunden kendes specielt godt. Det drejer sig blandt andet om udtjente olie- og gasfelter (Greensand (Project Greensand | CO₂ Lagring) og Bifrost (Bifrost | EUDP) projekterne) samt gaslagringsområder såsom Stenlille på Sjælland (Fig. 5). Fælles for disse er, at de kan indeholde lagring af flere millioner ton CO₂ per år allerede fra om få år, hvilket vil være en forudsætning for, at Danmark kan nå sine klimamål i 2030 og fremefter.

Den danske undergrund er dog så velegnet at vi kan lagre endnu større mængder end det, der realistisk kan fanges og transporteres i Danmark. Faktisk regnes der med, at man i Danmark har lagringsmuligheder der svarer til mange gange den danske CO₂ udledning. Det vil gøre det muligt at tilbyde andre lande at lagre deres CO₂ i den danske undergrund.

CO₂ balance og fremtidens klima

Der er således flere muligheder for at opnå en bedre CO₂ balance. Hvis vi udvinder mindre kul, olie og gas fra undergrunden, vil vi naturligt mindske CO₂ i atmosfæren. Tilsvarende kan vi øge mængden af naturligt bundet CO₂, hvis vi øger biomassen på Jordens overflade, binder mere CO₂ i karbonatmi-

neraler eller pumper CO₂ tilbage i undergrunden. Mulighederne for, ved hjælp af Geo-Engineering, at mindske CO₂ indholdet i atmosfæren er attraktive. Vi når ikke klimamålene ved blot at udlede mindre CO₂. Kun ved også at inkludere en forrykning af kulstofkredsløbets balance ved at udtrække mere CO₂ fra atmosfæren, har vi en chance.

Geo-Engineering kan dog ikke tilbyde en CO₂-fri fremtid. Etableringen af undergrundslagre med stor CO₂ opbevaringskapacitet er første skridt mod en effektiv reduktion af CO₂ udledningen. Stor kapacitet på lagring giver også stor mulighed for fangst og vi kan dermed få sat gang i hele værdikæden for CO₂ fangst, transport og lagring. 0-emission er målet, men målet bør ikke stoppe der. Vi skal prioritere en negativ emission og her kan CO₂ Geo-Engineering spille en vigtig rolle.

Lav selv eksperimenter med Geo-Engineering

Fæld CO_2 fra atmosfæren og gem det som kalcit

Lav en blanding af kalkvand ved at blande vand og calciumhydroxid-pulver ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ kan købes f.eks. på apoteket) sammen i et glas. Blæs luft gennem et sugerør ned i vandet og se at der dannes bundfald af CaCO_3 (kalcit). CO_2 fra udåndingsluften er nu fanget – trukket ud af atmosfæren og bundet i mineralet.

Spørgsmål: Hvad sker der nede i glasset? Hvor kan det ellers ske henne?

CO_2 lagret som kalcit foretages som Geo-Engineering bl.a. i lavasten af basalt på Island.

Brænd træ og gem CO_2 som biokoks

Lav et bål. Når ilden har godt fat i træet, så dæk bålet med en plade/gryde/ jord. Når det er afkølet, vil træet være afgasset og lavet om til biokul, som ikke nedbrydes igen.

Spørgsmål: Hvad sker der med træet når bålet dækkes til? Hvorfor bliver jorden bedre/hvad kan biokoks bruges til?

I CO_2 Geo-Engineering sammenhænge kan CO_2 lagres om biokoks dannet ved ufuldstændig forbrænding af f.eks. biomasse. Dette kan blandes i landbrugsjord og forbedre dets kvalitet (bonitet).

Opløs CO_2 under tryk og gem det i vand

Følg anvisningen på en maskine til at lave dansk vand, f.eks. en SodaStream maskine, der fylder CO_2 på en flaske med postevand. Når CO_2 er opløst i vandet vil den blive på denne form indtil trykket fjernes (kapslen fjernes). Det er en af mekanismerne til at lagre CO_2 i undergrunden i stor dybde, at holde proppen på med sejl lag.

Spørgsmål: Hvad sker der? Kan man også lagre komprimeret CO_2 på anden måde?

Komprimeret CO_2 lages fleres steder rundt i verden i undergrunden og i Danmark er der store planer om at udvikle op til flere CO_2 lagre.

Mest for sjov

"Sten-væske-Kul" leg (alla den velkendte stensaks-papir leg). Her hvilken lagringsmåde slår hvilken? F.eks. kunne man spille: Komprimeret CO_2 slår sten; Sten slår kul; Kul slår komprimeret CO_2 .

Artiklen er skrevet af:

Niels Schovsbo
Seniorforsker, De Nationale
Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland
(GEUS)



Bodil Lauridsen
Seniorforsker, De Nationale
Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland



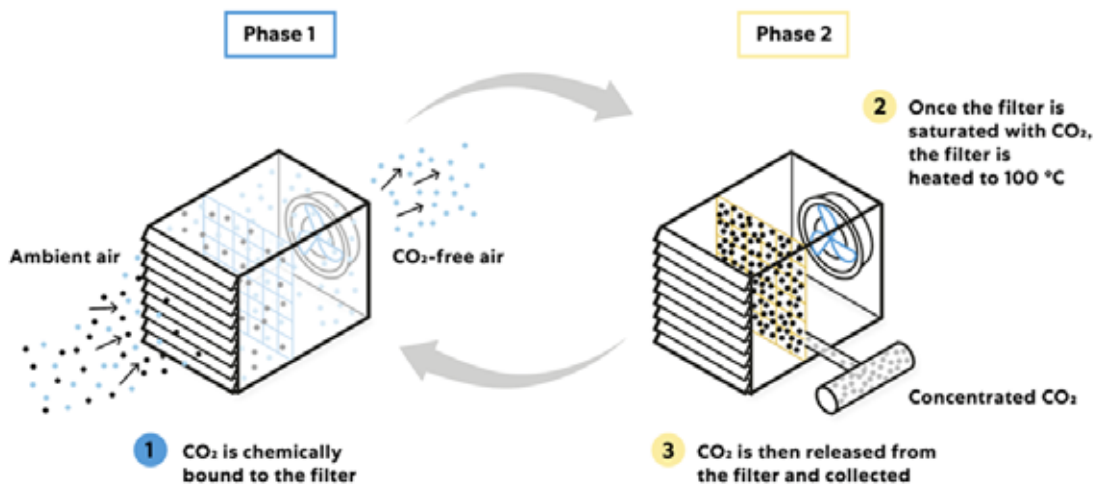
Af: Rasmus Hansen

KUNSTEN AT RENSE LUFTEN FOR CO₂

Med Parisaftalen satte verdenssamfundet et optimistisk - men bydende nødvendigt - mål om at begrænse den globale opvarmning til højst 2°C og helst 1,5°C. For at nå dette mål er det først og fremmest nødvendigt at reducere vores udledning af drivhusgasser, men det er ikke tilstrækkeligt til at begrænse opvarmningen. Det er nemlig også nødvendigt at indfange en del af den CO₂, der allerede er i atmosfæren, hvilket på længere sigt (forhåbentlig) kan få det atmosfæriske indhold af CO₂ ned på niveauet fra før den industrielle revolution, hvor den menneskeskabte udledning af drivhusgasser tog fart. Derfor er det ifølge FN's klimapanel nødvendigt at indfange 100-1000 gigatons CO₂ gennem det 21. århundrede, afhængigt af hvor meget vi mennesker på samme tid kan bremse vores udledninger (IPCC, 2018). Til sammenligning er den årlige globale udledning af CO₂ estimeret til 31,5 gigatons (IEA, 2021). Samlet set estimerer IPCC, at verden skal indfange knap

20 % af den nuværende udledning - hvert år. Det er altså enorme mængder af CO₂, der skal indfanges. Historisk set har den mest naturlige metode, skovplantning, været den primære løsning til at indfange CO₂ fra atmosfæren. Skovrejsning alene har dog ikke kapacitet til at lagre tilstrækkelige mængder af CO₂, og der er derfor behov for alternative metoder og teknologiske fremskridt (Fuss, 2018).

I omtrent et årti har den schweiziske virksomhed, Climeworks, arbejdet på at forbedre og udbrede metoden Direct Air Capture (DAC), der indfanger CO₂. Metoden fungerer ved, at store ventilatorer bringer atmosfærisk luft ind i en boks, hvor CO₂-molekylerne frasorteres i et filter. Herefter opvarmes boksen til 100 grader, hvorved kulstoffet frigives fra filteret. Herfra kan den indfangede CO₂ blandes med vand for at blive pumpet ned i undergrunden, hvor den mineraliseres som carbonat-mineraler og dermed lagres permanent (Climeworks, 2022).



Figur 1, Direct Air Capture, (Climeworks, 2022)

Løsningen er et spørgsmål om mængder

Selvom teknologien er lovende, har Climeworks endnu ikke indfanget tilstrækkelige mængder CO_2 til at reducere den globale opvarmning, men Direct Air Capture er en teknologi i rivende udvikling. På få år har Climeworks skaleret deres teknologi til at kunne indsamle over 40.000 tons CO_2 årligt, når deres nyeste anlæg, Mammoth, er færdigbygget, hvilket svarer til den årlige udledning fra ca. 8.700 biler (EPA, 2022). Målene for fremtiden er dog endnu mere ambitiøse. Climeworks sigter efter at kunne fjerne et megaton (1 million tons) CO_2 årligt i 2030, mens det langsigtede mål er at have kapacitet til at kunne fjerne 1 gigaton (en milliard tons) årligt i 2050 (Climeworks, 2022). Udover Climeworks, arbejder en række andre firmaer, som canadiske Carbon Engineering og amerikanske Heirloom, på lignende teknologier til at fange og lagre CO_2 direkte fra luften. Da DAC, modsat f.eks. skovrejsning, kræver meget lidt plads,

er teknologien meget lovende, hvis virksomhederne kan opskalere kapaciteten til millioner eller endda milliarder tons CO_2 årligt.

Der er to hovedudfordringer ved at opskalere så massivt: energibehov og finansiering. DAC-anlægene kræver enorme mængder energi, specielt til opvarmning af boksene, og energien skal selvfølgelig helst være grøn for ikke at modarbejde hele formålet. De langsigtede projektioner for energibehovet er, at lagring af et ton CO_2 vil kræve energi svarende til omkring 2.000 kWh (Beuttler, Charles and Wurzbacher, 2019). Derfor er de seneste anlæg blevet strategisk placeret på Island, hvor adgangen til geotermisk energi skaber et solidt fundament. Samtidig er mulighederne for at mineralisere den indfangede CO_2 optimal på Island, da den her kan indsprøjtes i de basalte bjergarter i undergrunden. Nogle firmaer arbejder også på alternative måder, der ikke er lige så energikrævende som den proces Climeworks

anvender, til at fange og frigive CO₂, men de fleste metoder er stadig på udviklingsstadiet.

Finansiering er også en stor udfordring for DAC generelt, da metoden er dyrere end de fleste andre metoder til fangst og lagring af CO₂. Efterhånden som teknologien skales og optimeres regner virksomhederne dog med, at DAC bliver mere og mere konkurrencedygtigt. Selvom prisen på nuværende tidspunkt er høj pr. CO₂-enhed, så er der allerede efterspørgsel fra virksomheder der gerne vil være CO₂-neutrale. Det kan den danske virksomhed, Climate.co, hvor jeg pt. er praktikant, bekræfte. Climate.co sælger forskellige typer af metoder til klimakompensation, hvilket f.eks. kan bestå af CO₂ bundet i skov, biokul, DAC og flere andre teknologier. Selvom prisen for at lagre 1 ton CO₂ ved DAC er 700-900 €, sammenlignet med 15-30 € for 1 ton CO₂ lagret i skovprojekter, så er det alligevel en vare der allerede udgør en lille del af markedet, men som bliver efterspurgt i større og større grad.

Selvom udfordringerne ved DAC er tydelige - især energibehovet - synes det uomgængeligt, at vi kommer til at anvende DAC i en eller anden form til at indfange og lagre en del af den overskydende CO₂ i atmosfæren, hvis vi skal have en chance for at bringe koncentrationen ned på et niveau, hvor vi kan begrænse den globale opvarmning til 1.5°C eller 2°C. Teknologien er i rivende udvikling, og hvem ved, måske bliver det en dag lige så naturligt at se et DAC-anlæg stå og suge CO₂ ud af atmosfæren, som det i dag er, at se en vindmølle snurre for at producere grøn strøm?

Kilder:

Beuttler C, Charles L and Wurzbacher J, 2019. The Role of Direct Air Capture in Mitigation of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions. *Front. Clim.* 1:10. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2019.00010/full>

Climeworks, 2022. [Climeworks.com](https://www.climeworks.com)

EPA (United States Environmental Protection Agency), 2022. Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>

Fuss S et al., 2018. Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environ. Res. Lett.* 13 063002 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9f>

IEA (2021), Global Energy Review 2021, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SPM_version_report_LR.pdf

Fakta:

Climeworks eksisterende anlæg i tal:

- 2017, Arctic Fox, Schweiz: 50 tons CO₂ lagret årligt
- 2021, Orca, Island: 4.000 tons CO₂ lagret årligt
- 2024 (estimeret), Mammoth, Island: 36.000 tons CO₂ lagret årligt

(Climeworks, 2022)

Artiklen er skrevet af:

Rasmus Hansen
BSc i Geografi ved Aalborg
Universitet, Studerer MSc
i Climate Change ved Kø-
benhavns Universitet og er i
praktik ved Climate.co.



Kan du løse opgaven?

$$\text{Globe} + \text{Globe} + \text{Globe} = 15$$

$$\text{Fish} + \text{Flask} + \text{Fish} = 20$$

$$\text{Flask} \times \text{Flask} = 64$$

$$\text{Globe} + \text{Fish} - \text{Flask} = ?$$

_____ fag - et system!

Scan koden, og bliv klogere på Verdens naturfag

Skab sammenhæng i naturfagene, så dine elever opnår en større forståelse for, hvad der binder biologi, geografi og fysik/kemi sammen. Verdens naturfag til 7.-9. klasse sætter fokus på de fællesfaglige fokusområder og den fælles prøve. Systemet binder de tre naturfag sammen med grundbøger, der alle er bygget identisk op, og som berører mange af de samme emner fra hver sit perspektiv. Gennem afvekslende elevaktiviteter, spændende tekster og flotte illustrationer, bliver det lettere for eleverne at opdage fagenes fællesnævner og forskelligheder.



Scan mig, og se
en kort film om
Verdens naturfag

Læs mere på gyldendal-uddannelse.dk/verdensnaturfag

EN SATSNING? GEOENGINEERING OG NATURGASINFRASTRUKTUREN

Af: Veronika Slakaityte

Den nuværende energikrise og forsøget på at gennemføre en grøn omstilling skaber både muligheder og afvejninger. I den sammenhæng kan geoengineering potentielt levere løsninger ved at ændre på vores naturgasterminaler. I denne artikel undersøges sammenspillet mellem energikrisen, klimakrisen og fremtiden for naturgasinfrastrukturen.







Drømmen om et teknologisk fix

Europa står over for en dobbelt krise med klimaforandringer på den ene side og en svækket energiforsyning på den anden side. Derfor fokuseres der på at sikre energisikkerhed i overensstemmelse med den grønne dagsorden. Ny gasinfrastruktur bliver i stigende grad implementeret over hele unionen. Flere og flere lande investerer i infrastruktur til flydende naturgas, som giver adgang til gas fra fjerne lande som USA og Qatar. Samtidig presser målene om CO₂-neutralitet i stigende grad på for udfasningen af fossile brændstoffer og fremskynder udrulningen af vedvarende energi i stor skala. Alligevel er det ikke længere nok til at holde den globale opvarmningstemperatur under 1,5°C grader. Her kommer geoengineering ind som et potentielt teknologisk fix, der kan give samfundet mulighed for at skubbe til den grønne omstilling. Med en gasenergiinfrastruktur, der nærmer sig sit udløb på grund af sektorens høje udslip af drivhusgasser, er der særligt fokus på at skræddersy infrastrukturen, så den passer til fremtiden. Ét af målene er at forvandle flydende naturgasterminaler til CO₂-lagre. Selvom drømmen på nuværende tidspunkt kun dukker op på et teoretisk plan, vidner det om hvordan verden i stigende grad

bliver modelleret efter geoengineering.

Naturgas som et redskab til at fremme klimaneutralitet

Krigen i Ukraine har udløst et presserende behov for energi, hvilket kolliderer med EU's mål om klimaneutralitet. Nogle lande har øget forbruget af kul og forlænget den operationelle levetid af eksisterende atomkraftværker. Mens post-sovjet-lande gennem længere tid har forsøgt at diversificere deres energikilder, så har mange andre lande i EU ikke på samme måde oplevet energi som et taktisk våben. For disse lande har krigen brudt med forestillingen om, at man kunne fremme en demokratisk omstilling ved at skabe energi-bånd med Rusland (f.eks. Nord Stream-projekterne). Klimakrisen, og krigen i Ukraine, har både korte og langvarige konsekvenser. For det første udbygges alternative ikke-vedvarende energikilder og for det andet er den grønne omstilling accelereret gennem mere ambitiøse mål med kortere deadlines.

Naturgas oplever en særlig opmærksomhed, da gassen fungerer som et overgangsbrændstof i den europæiske energiomstilling. Det betyder, at naturgas bliver brugt som et midlertidigt alternativ

til kul og olie. Men selvom gassen fungerer som en midlertidig energikilde på vej mod en klimaneutral fremtid, så er den infrastruktur, der på nuværende tidspunkt bliver investeret i, ikke af midlertidig karakter. Det skaber en udfordring mellem de nuværende midlertidige behov og den langsigtede infrastruktur. For hvilken rolle har denne omkostningstunge infrastruktur i en klimaneutral fremtid?

Naturgasinfrastrukturen: Nutiden og fremtiden

Mens investeringer i naturgasinfrastruktur for tiden stiger kraftigt på grund af krigen i Ukraine og den følgende energikrise, så har nogle lande investeret i flydende naturgasinfrastruktur for flere år siden. Disse lande har samtidig arbejdet på strategier til, hvordan denne infrastruktur kan bruges i fremtiden. Eksempelvis har Litauen lejet et skib, der fungerer som opbevaring og regasificeringsenhed til flydende naturgas. Skibet hedder i øvrigt Independence. Projektet startede i 2011, og på daværende tidspunkt blev det introduceret som et forsøg på at diversificere gastilførslen og svække afhængigheden til Rusland. Projektet kolliderede med en økonomisk krise, og de store investeringer blev derfor forsvaret med argumentet om energisikkerhed frem for økonomisk gevinst.

Mulighederne for en fremtidig udnyttelse af disse investeringer har været et omdiskuteret emne og er endnu mere relevant i dag, nu hvor antallet af flydende naturgasterminaler vokser i EU. En ansat i naturgassektoren udtalte under et interview, som jeg udførte i Litauen i slutningen af 2021, at: 'Naturgassektoren er vigtig, fordi det er en balancerende energikilde, men for at komme med den afgørende beslutning om at købe terminalen bliver vi nødt til at kigge mod fremtiden og overveje andre måder at udnytte den slags infrastruktur'. En forsker som arbejdede med naturgasinfrastruktur tilføjede: 'Det handler ikke kun om de operationer, som vi kan forbedre i dag, men i højere grad om hvilke fremtidige produkter og mekanismer vi kan bruge til at reducere mængden af CO₂ i atmosfæren. Vi kigger på flere strategier samtidig, og vi har ikke særlig meget tid til at finde de løsninger, som vi absolut har brug for.'

Pointen med de potentielle muligheder blev uddybet yderligere i et gruppeinterview, som jeg foretog med både forskere og ingeniører. Her pegede de på to fremtidige scenarier, som man på nuværende tidspunkt overvejer. Begge scenarier

har været igennem såkaldt 'real-life-testing', og er fortsat udelukkende teoretiske muligheder. Det ene scenarie handler om at omdanne terminalen til et opbevaringslager for hydrogen, hvilket vil kræve en total ændring i terminalens funktion pga. andre nedkølingstemperaturer for hydrogen. Det andet scenarie peger på at omdanne den flydende naturgasterminal til et CO₂-lager, som vil kunne transportere CO₂. I gruppeinterviewet blev det anerkendt, at den nuværende teknologi til at opfange CO₂ er meget energikrævende og ineffektiv, hvilket gør den omkostningstung. Men samtidig blev nødvendigheden af at indfange CO₂ fra atmosfæren også understreget. Derfor anser man det i højere grad som et spørgsmål om at vente på, at fremtidig teknologi vil gøre det billigere, frem for et spørgsmål om, at det ikke kan lade sig gøre. Det blev også nævnt, at muligheden for at omdanne terminalen til opbevaringslager for hydrogen var mere appellerende på kort sigt, eftersom CO₂-teknologien fortsat befinder sig på et tidligt stadie.

På trods af de mange udfordringer forbundet med geoengineering, indfangning af CO₂ fra atmosfæren og opmagasinering af CO₂ i de flydende naturgasterminaler, så understregede de interviewede personer også vigtigheden af at finde fremtidige løsninger, som en slags moralsk forpligtigelse til at modvirke de skadelige effekter, som teknologien inden for gasindustrien har påført klimaet. På den måde kan geoengineering ikke kun opfattes som en metode til at reducere drivhusgasser i atmosfæren, men også som et redskab til at vaske hænder i gassektoren.

Artiklen er skrevet af:

Veronika Slakaityte
Forskningsassistent ved
Dansk Institut for Internationale Studier (DIIS).





Forskningsskibet Actív
i solnedgangen.
Foto: Fabien Cature

FRA GRØNLAND TIL GRØNNE OCEANER

Af:
Signe Wolff Ravneberg

Et nyt forskningsprojekt vil undersøge, hvorvidt man kan bruge glacialt stenmel til at øge CO₂-sekvestreringen i havet og dermed afhjælpe den globale opvarmning. Det første forsøg blev udført i juni 2022 ombord på skonnerten Actív, under ledelse af forskere fra Københavns Universitet.

Selv hvis vi stoppede CO₂-udledningen i dette øjeblik, ville der gå tusindvis af år før CO₂-niveauet i atmosfæren vendte tilbage til præindustrielle niveauer, og i mellemtiden ville klimakrisen ufortrødent rase videre. Forskerne er efterhånden enige om, at vi for at redde klimaet derfor ikke kan nøjes med at omstille til grøn energi – vi bliver nødt til aktivt at hive CO₂ ud af atmosfæren igen. Det store spørgsmål er bare: Hvordan?

Havets regnskove

I havet findes nogle mikroskopiske planteorganismer, som allerede helt naturligt hiver store mængder CO₂ ud af atmosfæren. De hedder phytoplank-

ton, og selvom de kun udgør 1 % af Jordens samlede biomasse, står de for hele 50 % af Jordens fotosyntetiske aktivitet (Falkowski, 2012). Phytoplankton er en del af den marine kulstofcyklus, som holder CO₂-koncentrationen i atmosfæren 200 millionte dele (ppm) lavere, end hvis den ikke var der (Falkowski, 2002) – en væsentlig forskel, eftersom den totale atmosfæriske koncentration er på 418 millionte dele. Phytoplankton producerer 50-80 % af ilten i atmosfæren (NOAA, 2021) og holder forsurenningen af havene i skak ved at optage den CO₂, som ellers ville blive opløst deri. Derudover udgør de bunden af den pelagiske fødekæde, hvilket betyder, at de direkte- og indirekte producerer føde til praktisk talt alle



Inkubationsforsøget med stenmel. Vandprøverne sættes løst fast i plexiglaskasserne, så de kan bevæge sig med vandet. Foto: Fabien Cauture



Daglig måling af PAR – mængden af sollys, der kan udnyttes af phytoplankton. Første måling foretages over overfladen, og derefter sænkes den ned i vandet og måler på hver tiende meter. Foto: Fabien Cauture

havets organismer (Falkowski, 2012).

På grund af disse mange egenskaber har phytoplankton flere gange været i søgelyset når det kommer til geoengineering i det marine miljø, eller nærmere bestemt: havgødning. I store områder af havet er phytoplankton nemlig stærkt begrænset af det lave næringsstofindhold. Disse såkaldte havørkener dækker hele 60 % af havoverfladen (Taucher et al., 2018) og har fået flere forskere til at tænke: Hvad ville der ske, hvis vi gav dem noget at leve af?

Phytoplankton og havgødning

Mange forbinder formentlig havgødning med de kontroversielle jerngødningseksperimenter der blev udført i 1990'erne og 00'erne, som opstod på baggrund af oceanografen John Martins jernhypotese. Under eksperimenterne, hvor man tilsatte jernsulfat i havet, skete der ganske rigtigt en stor opblomstring af phytoplankton, men dels var der stor modstand

mod at tilsætte havet et kunstigt produkt, og dels undervurderede Martin måske vigtigheden af en række andre spormetaller og næringsstoffer, som er essentielle for phytoplankton.

For siden jerngødningseksperimenterne har forskning vist, at kun forsøg med naturlige kilder af jern, som altså også indeholder andre spormetaller, resulterer i en egentlig forøgelse af kulstof-sekvestrering til dybhavet. Med naturlige jernkilder kan man opnå en effektivitet der er op til 100 gange højere end ved kunstige jernkilder (Zhou et al, 2021). Netop dette er essentielt, for vil man have CO₂ ud af atmosfæren, går det ikke, at det hele bare bliver respireret af andre organismer i havoverfladen med det samme. Dette er argumenter, der har været medvirkende til at et danskledet studie, der nu, for første gang, er påbegyndt en serie af forsøg med en helt naturlig og ubehandlet ressource: glacialt stenmel.



Vandprøve fra 100 meters dybde filtreres for zooplankton, inden det bruges til inkubationsforsøg. Før det er små vandprøver blevet taget fra og frosset ned, så de kan analyseres i laboratoriet senere. Foto: Jonas Bergsøe



Forskning på den gammeldags måde: Vi sejler for vinden, og når instrumenterne skal fires op og ned med kranbjælken foregår det ved håndkraft. Niskin-flaskerne er tunge, særligt når de skal trækkes op fra 100 meters dybde. Foto: Jonas Bergsøe

Glacialt stenmel

Glacialt stenmel er et produkt af gletsjeraktivitet, som findes i praktisk talt udtømmelige mængder i de grønlandske fjorde. Når gletsjeren bevæger sig over grundfjeldet, eroderes dele af fjeldmaterialet til et helt fint pulver, som indeholder en bred palet af blandt andet silikat, fosfor, jern og aluminium – næringsstoffer, der alle er essentielle for phytoplankton.

I forskningsprojektet, som ledes af professor Minik Rosing ved Københavns Universitet, undersøges det, hvorvidt glacialt stenmel kan bruges til at stimulere phytoplankton i havets næringsfattige områder. Hypotesen er, at stenmel, med sine mange naturlige kvaliteter, vil forårsage hele tre ting i havet: 1) en højere pH-værdi, som vil forøge det biogeokemiske CO_2 -optag, 2) et højere næringsindhold, som vil forøge det biologiske CO_2 -optag, og 3) en højere albedo, som vil modvirke opvarmningen af havet.

Det første forsøg blev udført i juni 2022, på et togt

syd for de Kanariske øer, hvor undertegnede var med ombord som styrmand og videnskabelig assistent. Lastet med kål, kartofler, måleinstrumenter og glacialt stenmel, stævnedes vi ud fra Santa Cruz de Tenerife med Jørgen Bendtsen, oceanograf og forsker ved Københavns Universitet, som forsøgsansvarlig. Hver morgen optog vi seks vandprøver fra mellem 5-110 meters dybde og målte på relevante biogeokemiske parametre i vandsøjlen. Vandprøverne fra henholdsvis 10 meters dybde, og den dybde, hvor chlorophyll-indholdet var højest, blev brugt til et inkubationsforsøg ombord på dækket. Her blev prøverne tilsat små mængder stenmel, og derefter gjort løst fast i to formørkede plexiglas-kasser, som var under konstant havvandsnedkøling. Prøverne blev testet for fluorescens ombord, og er i skrivende stund ved at blive analyseret i laboratoriet. Da forskningsresultaterne endnu ikke er publicerede, kan jeg ikke sige mere her, end at opfølgende forsøg allerede er ved at blive planlagt.



Skibets salon
er fyldt med
kartofler, kål og
appelsiner.
Foto: Fabien
Cature

Fra vand på jorden, til jord i vandet

Havgødning er et kontroversielt emne. Det er uoverskueligt, og måske endda umuligt, at forudsige de samlede effekter: Hvordan vil det påvirke den marine biodiversitet? Hvordan vil det sprede sig? Og hvis det virker, risikerer det så at blive til en kommerciel slagmark? Nogen vil mene at det er forkert på den måde at forstyrre økosystemerne. Andre vil måske argumentere for, at vi allerede har forstyrret økosy-

stemerne, og spørgsmålet nu handler om, hvad vi kan gøre for at genoprette dem.

Når det kommer til det glacielle stenmel, er det måske værd at huske på, at det i forvejen er kontinentale sedimenter, som understøtter livet i havet, og at stenmel derfor ikke er et fremmed element. Erosion fører konstant mineralske næringsstoffer fra kontinenterne ud i havene med vind og vand. Hver gang det blæser over Sahara bliver jernholdigt sand ført ud i Atlanten, hvor det skaber en naturlig opblomstring af phytoplankton. Stenmelet er, i modsætning til jernforsøgene, et naturligt produkt som allerede findes i det marine miljø, og i modsætning til sandet fra Sahara er det langt finere og dermed langt mere reaktivt.

For tusinder af år siden begyndte vi på geoengineering, da vi begyndte at hælde vand på jorden. Måske tiden nu er kommet til at hælde lidt jord i vandet?

Kilder:

Falkowski, P.G. | The Ocean's Invisible Forest. Marine phytoplankton play a critical role in regulating the Earth's climate. Could they also be used to combat global warming? | Scientific American | 2002

Falkowski, P.G. | The power of plankton | Nature | Volume 483 | 2012

NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S Department of commerce | How much oxygen comes from the Ocean? | Online | 2021

Taucher, J., Aristegui, J., Bach, L.T., Guan, W., Montero, M.F., Nauendorf, A., Achterberg, E.P., Riebesell, U. | Response of Subtropical Phytoplankton Communities to Ocean Acidification Under Oligotrophic Conditions and During Nutrient Fertilization | Frontiers in Marine Science | Volume 5 | 2018

Zhou, L., Liu, F., Liu, Q., Fortin, C., Tan, Y., Huang, L., Campbell, P.G.C. | Aluminum increases net carbon fixation by marine diatoms and decreases their decomposition: Evidence for the iron-aluminum hypothesis | Limnology and Oceanography | Volume 66 | 2021

Artiklen er skrevet af:

Signe Wolff Ravneberg
Geografistuderende ved Københavns Universitet
Styrmand og videnskabelig
assistent på forskningstogtet
Studentermedhjælper hos
Nordisk Ministerråd





Af: Anton Grønfeld Wille

THE GREAT GREEN WALL

– Et ambitiøst skovrejsningsprojekt i Sahel

Når man tænker på geoengineering, forestiller mange sig nok moderne opfindelser og innovationer, der skal redde verden fra de igangværende klimaforandringer. Måske tænker man på løsninger, der kan afbryde og mitigere konsekvenserne, som det ændrede globale klima vil have på vores planet og levevilkår. I Sahel-regionen i Afrika findes sådan et projekt. Det er dog ikke med nye, højtflyvende teknologiske løsninger, men med en naturbaseret løsningsmodel, som skal ændre klimaet lokalt ved hjælp af træer og anden vegetation. Derfor kan dette projekt betragtes som ét, der eksisterer i et krydsfelt mellem geoengineering og almindelige skovrejsning.





Fig. 1. Kort over Great Green Wall Initiative i Sahel-landene. (Figur_ UNCCD.int)

Projektet hedder "The Great Green wall" (GGW) og er, overordnet set, et storslået skovrejsningsprojekt på tværs af Afrika. Ønsket er at skabe en stor grøn mur af træer og anden vegetation, som skal standse den ørkenspredning der vandrer sydpå fra Sahara ind over regionen. Dette sker i takt med, at tørke bliver hyppigere, temperaturer stiger, og nedbørsmønstre ændrer sig som konsekvens af klimaforandringerne (Mbow, 2017).

Hvad er The Great Green Wall?

Projektet blev startet i 2007 af den Afrikanske Union som et pan-afrikansk initiativ, der vil skabe et mere end 7000 kilometer langt og 15 kilometer bredt bælte af træer fra Senegal i vest til Etiopien i øst. Målet er at restaurere 100 millioner hektar degraderet land og samtidig skabe 15 millioner grønne job i regionen før år 2030. Oprindeligt dækkede initiativet 11 lande i Sahel, men samarbejdet har senere udvidet sig til at inkludere 21 lande på begge sider af Sahara. Ideen med at bygge en sammenhængende grøn mur har dog også ændret sig og er i dag mere lig en grøn mosaik end en mur. Projektet har desuden fået en bredere profil end blot et trærejsningsprojekt og indeholder nu også social-økonomiske projekter med fokus på bæredygtig forvaltning (UNCCD, 2020).

Træbeplantningen skal gøre regionen økologisk

modstandsdygtigt mod ørkenspredning og påbegyn-
de en 'forgroening' af Sahel. De plantede træer skal fungere som en naturlig barriere mod ørkenspredning ved at reducere vindhastigheder og stabilisere jorden mod erosion. Derudover bringer træerne skygge og nedbringer på den måde temperaturer og mindsker fordampningen af vandet i jorden i tørkesæsonen. Modsat, skal træerne holde på jordens næringsholdige top lag under kraftige regnbyger i regnsæsonen, hvilket på længere sigt skal opbygge og forbedre jordbundens produktivitet og frugtbarhed. Dette skal sikre og forbedre Sahels klima og lokalbefolkningens livsgrundlag, så deres resiliens mod klimaforandringer styrkes (O'Connor, 2014). The Great Green Wall og Europa:

Projektet fik særlig europæisk opmærksomhed i 2021 ved COP26 i Glasgow, da den franske Præsident Macron sammen med den daværende Prins Charles var vært for et møde med fokus på GGW (The Great Green Wall). En af de mest omtalte konsekvenser ved dette møde var Amazon-direktøren Jeff Bezos' løfte om at donere 1 milliard dollars til projektet. Flankeret af Mauretaniens præsident Ghazaloui og Nigerias Præsident Buhari, samt en række andre afrikanske ledere, erklærede han sig som allieret til initiativet (UNCCD, 2021).

På samme møde solgte Europa-Kommissions-



formanden, Ursula von der Leyen, projektet til den europæiske befolkning ved at fortælle, at projektet ved sin færdiggørelse vil optage 250 millioner tons kulstof i jorden. Det er den samme mængde, som al EU's skov og land optog i 2018 (Leyen, 2021).

Projektet er da også en stor satsning for EU, som har lovet over 700 millioner euro årligt til projektet frem mod 2025. GGW-initiativet er det største forgrønningsprojekt i det Subsahariske Afrika nogensinde med en finansiering på indtil videre 870 millioner dollars (Gravesen og Funder, 2022).

Initiativet er også et slags "Catch All" projekt, der lover svaret på mange af Sahel-regionens problematikker som for eksempel ønsket om at standse ørkendannelsen og højne fødevare- og jobsikkerhed til regionen og dens indbyggere. Fra et europæisk og internationalt perspektiv indeholder projektet muligheden for at indfange CO₂ fra atmosfæren i kamp mod klimaforandringerne, og er ligeledes et forsøg på levere sikkerhed og stabilitet til en region, der har påvirket EU's ydre grænser med konflikt og migration (Gravesen og Funder, 2022).

Hvad er status på projektet?

Det er usikkert, hvordan det går med implementering af projektet. I øjeblikket er det hvert lands ansvar at rapportere status på deres projekter – hvordan de gør dette, og hvad der bliver målt på, kan variere fra land til land. Særligt er der stor usikkerhed om, hvor meget der bliver plantet, og hvor meget af denne beplantning der stadig eksis-

terer få år efter. Ifølge GGW's egen hjemmeside er projektet 15 % gennemført, mens Dansk Institut for Internationale Studier (DIIS) vurderer det til blot 4 % gennemført (Gravesen og Funder, 2022). Uanset hvad – værende 15 år inde i projektet – så nærmer slutåret 2030 sig med hastige skridt.

Ørkenspredning eller ej?

Selvom projektet har bred international støtte, har det også fået kritik for sine antagelser om situationen i Sahel. Forskning på området peger nemlig i forskellige retninger i forhold til ørkenspredningen i regionen. O'Connor (2014) argumenterer blandt andet for at en intensivering af landbrug og menneskeskabte steppebrænde er en vigtigt bidrager til ørkendannelse i regionen.

Derudover argumenterer Fensholt (2017) for, at størstedelen af den remote sensing-baserede forskning viser en forgrønning i Sahel. Modstridende peger en stor del af den mere kvalitative, case-baserede forskning på ørkenspredning som den dominerende trend i Sahel regionen (Fensholt et al., 2017). En forklaring på de to modsatrettede konklusioner kan være, at den observerede forgrønning ikke nødvendigvis er et tegn på jordforbedring. Der fortælles blandt andet, at de store træer i flere områder er helt forsvundet, og at buske og mindre vegetation har vundet frem. Dette peger på, at en målt forgrønning ikke nødvendigvis siger noget om økosystemers sundhed.



Kilder:

Gravesen, M.L., Funder, M., n.d. An overview and lessons learnt - THE GREAT GREEN WALL. DIIS working paper 2022, 47.

UNCCD, 2020: The Great Green Wall implementation status and way ahead to 2030, advanced version, 2022, UNCCD.

Fensholt, R., Mbow, C., Brandt, M., Rasmussen, K., 2017. Desertification and Re-Greening of the Sahel. Oxford University Press.

O'Connor, D., Ford, J., 2014. Increasing the Effectiveness of the "Great Green Wall" as an Adaptation to the Effects of Climate Change and Desertification in the Sahel. Sustainability 6, 7142-7154.

Leyen, U. V. D., 2021. Statement by President von der Leyen on the Great Green Wall at COP26. 1. November, Glasgow.

UNCCD. 2021. Great Green Wall event at COP26, 1 November 2021 - A statement by UNCCD Executive Secretary Ibrahim Thiaw.

Mbow, C., 2017. The Great Green Wall in the Sahel, in: Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. Oxford University Press.

Tomalka et al., 2021. Climate Risk Profile: Sahel. A joint publication by the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), UNHCR, UNISS and UNHCR., Potsdam.

Et ambitiøst, visionært projekt

Afslutningsvist er det vigtigt at nævne, at uanset hvad den primære årsag er, så er Sahels befolkning en af de mest udsatte i verden i forhold til klimaforandringer. Ørkenspredning forventes kun at blive værre, og de 232 millioner indbyggere, der bor inden for GGW-implementeringens område, har brug for alle de tiltag, der kan modvirke klimaforandringernes konsekvenser på deres levebrød (O'Connor, 2014; Tomalka et al., 2021; Gravesen og Funder, 2022).

Selvom the Great Green Wall kan have svært ved komme i mål med sine oprindelige ambitioner inden for tidsrammen, er det et visionært storslået-klimaprojekt, som samtænker samarbejde på tværs af nationer og sociale tiltag, og det fortjener derfor vores fortsatte opmærksomhed.

Artiklen er skrevet af:

Anton Grønfeld Wille,
Geografistuderende ved
Københavns Universitet.
Sekretær ved Det kongelige
Danske Geografiske Selskab.



Medlem af Geografforbundet

Få Geografisk Orientering 5 x om året

Elektronisk adgang til tidligere numre af Geografisk Orientering

10% rabat på GO Forlags publikationer

Gratis adgang til Geografforbundets billedarkiv

Kurser, ekskursioner og studieture i ind- og udland

Invitation til den årlige geografweekend



Geografforbundet er landsforeningen for alle med interesse i geografi.

Geografisk Orientering er medlemsbladet med spændende aktuelle artikler samt nyt fra Geografforbundet. Er du ikke medlem, og sidder du alligevel med bladet i hånden, så tegn et medlemskab via vores hjemmeside: www.geografforbundet.dk

Almindelige medlemmer: 300 kr.; Familie (par): 400 kr.; Studerende: 175 kr.; Skoler, institutioner og virksomheder: 525 kr.

Af: Jeremy Baskin

SOLAR GEOENGINEERING:

Et desperat forslag i desperate tider

Man behøver ikke at være pessimist for at tænke, at prognoserne for klimaforandringerne ser dårlige ud. Tiltag til hurtigt at få dekarboniseret vores økonomi er undervældende, og dette på trods af en enorm folkelig og global mobilisering, samt et væld af inspirerende opfindelser og innovationer. Desperate tider skaber desperate forslag, herunder solar geoengineering. Idéen om solar geoengineering er, kort beskrevet, at injicere sulfatpartikler i stratosfæren. Disse sulfatpartikler vil da hurtigt gå i cirkulation og omslutte det meste af kloden. Inden for et par uger vil de oxidere og danne en svovlsyre-aerosol, der i begrænset omfang vil reducere det indkommende sollys. Tanken er, at selv når koncentrationerne af drivhusgasser fortsætter med at vokse, vil den globale opvarmning blive reduceret eller vendt ved, at det indkommende sollys reflekteres før det kommer ind i det atmosfæriske system. Klimaeffekten (opvarmningen) vil således blive løsrevet fra den nærliggende årsag (stigende koncentration af drivhusgasser).

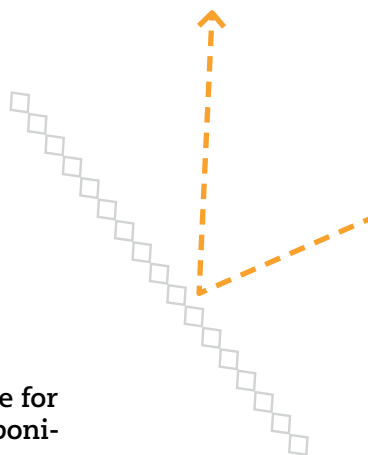
Nogle kan se fordele ved solar geoengineering. Der er dem der hævder, at eftersom vi ser ud til at være ude af stand til at ændre vores individuelle og kollektive adfærd i klimaets navn, så kan vi i stedet forsøge at ændre selve klimaet for at imødekomme vores nuværende adfærd. Lad os kalde disse mennesker for 'frelserne'. Frelserne påstår, at vi kan konstruere et koldere klima og derved holde os under Paris-aftalens 2-graders grænse. Vi befinder os i en klimanødsituation, hvor der skal gøres noget – hvad som helst – for at kunne redde planeten. I sin mest sofistikerede version præsenterer frelserne solar geoengineering som en øvelse i risikoreduktion. Det er en måde at købe mere tid på, et midlertidigt indgreb, der kan afvikles så snart vi har formået at udfase fossile brændsler, og vi har reduceret drivhusgaskoncentrationen.

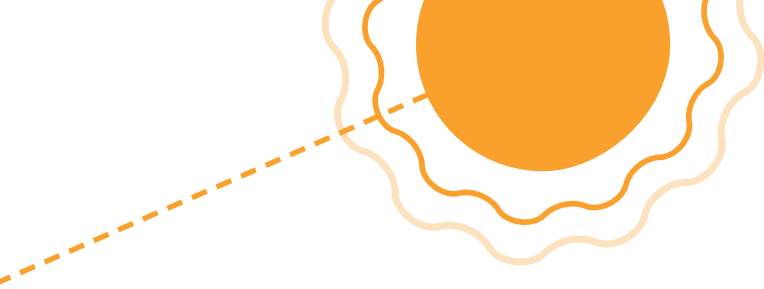
Der er også dem, som er tiltrukket af tanken om solar geoengineering, fordi det tilbyder en løsning på kapitalismens klimaforandringsproblemer. De personer kalder vi for 'markedsførere'. Det er efter-

hånden indlysende, at hvis man skal tage klimaforandringerne alvorligt, så indebærer det subversive implikationer af de nuværende forpligtelser til endeløs økonomisk vækst, ressourceudvinding og den generelle brug-og-smid-væk-kultur. Tanken om, at vi kan afkoble disse forpligtelser fra deres miljøpåvirkning, har vist sig at være svært håndgribelig. Kendis-millionæren, Richard Branson, sagde det ligeud ved klimakonferencen i København 2009: "hvis vi kunne finde på et geoteknisk svar på [klimaforandringerne], så ... kunne vi fortsætte med at flyve vores fly og køre vores biler".

Fortalere for solar geoengineering er en urolig alliance af markedsførere og frelserne, hvor det de har tilfælles, er deres tro på teknologien og dens kapacitet til at redde. Derudover besidder de også en tro på, at de både har evnen og retten til at styre klimasystemet. Dette kunne man kalde for teknologisk hybris.

På trods af påstande fra såkaldte 'chemtrails-konspirationsteoretikere', så eksisterer solar geoen-





gineering endnu ikke som en operationel teknologi. Det er dog mere end blot en idé. Der bliver i dag brugt millioner af dollars på forskning og udvikling inden for feltet, og et team fra Harvard University har meddelt, at de er i gang med at udføre eksperimenter. Samtidig kan fænomenet heller ikke blot reduceres til ren teknologi, der er under udvikling. Det som foreslås, er en planetarisk intervention, en handling som er intet mindre end klima- og verdensskabende.

For de der besidder magt, hviler en del af appellen ved solar geoengineering på to påstande: 1. At det er meget billigere end afbødning, og 2. At solar geoengineering ville 'virke' og faktisk nedkøle planten. For dem af os, der er fjendtlige over for geoengineering, er begge disse påstande desværre plausible. De direkte monetære omkostninger ved at injicere stratosfæren med en milliard eller endnu flere tons sulfat om året, vil næsten helt sikkert være billigere end de billioner af dollars, som er nødvendig for en afbødning og overgang til en fremtid uden fossile brændstoffer. Dette samtidig med, at den fysiske og kemiske viden vi har, samt erfaringer med vulkanske udbrud, implicerer at global afkøling faktisk vil følge.

Men disse brede påstande har behov for masser af kvalifikation. En forventet følge er en signifikant skade af ozonlaget. Derudover, hvis der ses bort fra nedkølingen (som desuden ikke forventes at være ensartet globalt set) og den reducerede solkraft fra solenergi, så kunne andre fysiske, klimatiske effekter inkludere reduktion af nedbør, tørker og monsun-forstyrrelser. Omfanget af disse sandsynlige effekter, for ikke at nævne tilknyttede sociale og landbrugsmæssige effekter, er baseret på modellering, og er forbundet med en vis usikkerhed. Dertil har solar geoengineering ikke en effekt på koncentrationen af drivhusgasser eller på forsuringen af oceanerne. Solar geoengineering skaber et nyt klima. Det genopliver ikke det klima som eksisterede for nogle årtier siden.

Vigtigt er også, at når først solar geoengineering er påbegyndt, så er det ikke let at afslutte

igen. Det bliver nødt til at fortsætte år efter år. En hurtig afslutning, uanset om den er planlagt eller ikke-planlagt, ville sandsynligvis skabe en uforudsigelig acceleration af global opvarmning. Lidt som at give slip på en strakt elastik. Fortalere for solar geoengineering indrømmer, at det er et projekt, der kræver vedligeholdelse over mange årtier, mens modstandere siger, at det vil kræve en flere århundrede lang forpligtelse, inklusiv en forudsigelig og rationel styring. Det er svært at forestille sig, at solar geoengineering skulle blive styret multilateralt eller blot med en grad af demokratisk legitimitet. Der er med solar geoengineering risiko for, at det påtvinges ensidigt af blot ét land, hvorfor man også må spørge – til hvis fordel vil det fremstillede klima blive skabt? Amerika først? Solar geoengineering synes at være en opskrift på konflikt og mellemstatslig vold.

Måske burde vi begynde at tænke på klimaforandringer som noget, der ikke er et problem (hvor en løsning impliceres), men mere som en manifestation af den økologiske tilstand vi finder os selv i. At komme igennem denne tilstand kommer til at indebære tusindvis af forandringer, store og små, fra hvad vi producerer til hvad vi værdisætter, hvad vi spiser, hvordan vi forsyner samfundet med energi, hvordan vi bor og til hvordan vi engagerer os i den mere-end-bare-menneskelige verden. Innovation, eksperimentering og konstruering vil selvfølgelig blive en nødvendighed, men teknologiske quick-fix-løsninger som geoengineering kaster os blot længere ned i det hul, som vi selv har gravet. Vi har brug for ydmyge teknologier, ikke for overmod. Solar geoengineering er ikke vejen frem.

Artiklen er skrevet af:

Dr Jeremy Baskin

Senior Fellow in Geoengineering,
UniM, Forsker i Solar Geoengineering

Oversættelse af

Marie Kirstine Bak Rosendahl

GEOINGENIØREN OG BONDERØVEN

I dag er der ikke længere nogen, der betvivler klimaforandringerne, højest om de er menneskeskabte. Som følge heraf er spørgsmålet om klima også blevet et fast tema i den offentlige debat i alle demokratiske lande inden for de seneste år. At det er tilfældet, skyldes uden tvivl, at vi mennesker gerne vil have, at jorden bliver ved med at være et sted, som både vi selv og vores efterkommere kan leve på.

Lige så vigtigt klimaspørgsmålet er blevet, lige så famlende synes både politikere og befolkning imidlertid at være, når det kommer til spørgsmålet om, hvordan mennesket skal fortsætte sin karriere som jordbo. Man er dog enige om, at det ikke kan fortsætte som hidtil.

I det lys er det interessant at se på, hvilke svar der begynder at blive givet på, hvordan vi fremover skal indrette os som jordboere, ligesom det er interessant at overveje, hvilke antagelser om mennesket og naturen der gemmer sig bag svarene. Det vil være vores påstand, at der overordnet set kan identificeres to dominerende svar, som samtidig udgør, hvad man kunne kalde polerne i menneskenes svarspektrum. Vi vil kalde de to poler Geoingeniøren og Bonderøven. Vi gennemgår dem efter tur. Afslutningsvis antyder vi et alternativ til begge svar.

Geoingeniøren

Geoingeniøren er billedet på den tilgang til de aktuelle klimaudfordringer der på den ene side argumenterer for, at det er kombinationen af den moderne teknik og naturvidenskab, der har gjort det muligt for mennesket at mestre og udnytte naturen i det omfang, som har ført til de nuværende problemer. På den anden side argumenteres der også for, at det er teknikken og naturvidenskaben som har ressourcerne til at rydde op og dermed hjælpe os ud af problemerne igen. I den moderate variant forestiller man sig, at dette kan ske via green tech løsninger, hvor menneskene bliver ved med at bearbejde naturen som hidtil, men meget mindre belastende via cirkulære produktionskæder, Power-to-X osv.,

sådan at man ikke længere overskrider jordens naturlige grænser. I den mere radikale variant anser man det ikke for realistisk ikke at overskride jordens grænser, hvorfor man i stedet mener, at løsningen må være en slags earth-enhancement, som udvider jordens grænser, f.eks. ved CO₂ fangst etc., således at naturens 'naturlige' processer fortsætter som de plejer trods menneskets forstyrrende og destabiliserende aktiviteter.

Den forståelse af naturen og mennesket, der gemmer sig bag begge tilgange, er naturligvis en forståelse, hvor naturen anses for noget, mennesket både kan pille ved og bruge efter forgodtbefindende – her kan man tænke på alt fra genmodificerede fødevarer til udvindingen af fossile brændstoffer. Dog har klimaforandringerne ført til indsigt i, at menneskets pillerier kan have (utilsigtede) konsekvenser. Dette har dog ikke ændret ved opfattelsen af, at naturen er noget, mennesket kan og må pille ved – vi skal bare blive skarpere på konsekvenserne og beskytte os mod de uønskede af slagsen. Man kan mene om den tilgang, hvad man vil, men der er ingen tvivl om, at den på en og samme tid har muliggjort det moderne liv med alle dets bekvemmeligheder, som vi kender det i dag (herunder også velfærdsydelse finansieret af bl.a. menneskets bearbejdelse af naturen), samtidig med, at produktionen af disse bekvemmeligheder har resulteret i den nuværende antropocæne situation på jorden.

Bonderøven

Over for tanken om, at green tech skal muliggøre, at vi kan fortsætte vores nuværende livsform blot

med lavere klima- og bioaftryk, og over for tanken om, at geoingeniørerne skal booste jordens naturlige processer, lyder det modsatte svar, at vi slet og ret skal til at leve et mere simpelt liv i større pagt med naturen. Nogen forestiller sig så, at sådan et liv kunne minde om Bonderøvens (Frank Erichsens) liv på Kastaniegaarden, mens andre forestiller sig, at vi skal leve endnu mere primitivt og derfor indretter sig i en simpel hytte i det nordlige Sverige. Ligesom geoingeniøren ser bonderøven følgelig den moderne livsform, drevet frem af kombinationen af teknik, videnskab og kapitalisme/arbejdsdeling, som årsagen til alle vores aktuelle genvordigheder. Men hendes svar er radikalt anderledes, eftersom hun ikke ser den (formodede) hjælpsomme teknik, videnskab og kapitalisme som vejen frem, men derimod som noget, vi er nødt til at give afkald på.

Det syn på naturen og mennesket, der gemmer sig bag bonderøvens tilgang, er følgelig en forståelse af mennesket, som dybest set tilhørende naturen og værende en del af naturen. Herunder har det moderne menneskes hæven sig op over, og brug af naturen, udgjort den store synd bag vores civilisation, som vi nu er nødt til at råde bod på, hvis det hele skal blive godt igen. Derfor vil man i de mere moderate versioner 'bare' tilbage til bonderøvens 1800-tal på Kastaniegaarden, mens man i de mere radikale varianter mener, vi skal helt tilbage til en animistisk livsførelse baseret på palæokost osv. Som sådan er begge versioner enige om, at fremtiden først bliver levelig ved, at vi vender tilbage til fortiden.

Et alternativ

I vores optik har både geoingeniøren og bonderøven væsentlige pointer – samtidig med, at vi ikke anser nogen af dem for tilstrækkelige svar. At forestille sig en jord på geoingeniørens steroider må således antages at være en uholdbar løsning, for hvis menneskene bliver ved med at opføre sig, som de plejer, må vi forvente, at menneskene også ender med at overskride de grænser, som i første omgang udvides af geoingeniøren. Bonderøvens tilbage-til-fortiden er urealistisk i lyset af den nuværende befolkningsmængde på jorden, som aldrig ville kunne brødfødes udelukkende ved brug af førmoderne dyrknings- og produktionsmetoder – ligesom det virker usandsynligt, at jordens befolkning skulle være parat til at gå så meget ned i materiel levestandard. Derfor argumenterer vi også for, at der 'på den lange bane' kun er en vej frem, nemlig en vej, hvor vi på den ene side lykkes med, som geoingeniørerne ønsker, at holde fast ved alle de civilisatoriske gevinster, som det moderne har ført med sig – lige fra teknik og

naturvidenskab, til retsstat, demokrati og offentlige velfærdsydelser. På den anden side, som bonderøvene, begynder vi at forstå naturen på en grundlæggende ny måde, som gør, at vi ikke længere i samme omfang som hidtil ser og begærer det som noget, vi bare må bruge og udnytte efter forgodtbefindende. For hvordan ville vi indrette os, hvis grisen ikke bare var noget, vi kunne spise, men et med-væsen, hvis oplevelse af at være i verden vi forholdt os til og tog hensyn til? Og hvordan ville f.eks. den lokale afdeling af Park og Vej tilgå planlægningen af en omfartsvej, hvis man også skulle tage hensyn til hasselmusens og enebærbuskens måde at være i verden på? Uden at have den endelige løsning på spørgsmålet om menneskets fortsatte karriere som jordbo, er det altså vores pointe, at menneskevæsenet på den ene side må tage på sig at være noget særligt i forhold til det øvrige værende. Vi er trods alt det værende, der kan forholde os til, at der overhovedet er noget, og hvordan dette noget kommer ind i væren. På den anden side er det også bare vigtigt at insistere på, at denne særlighed hverken giver os ret til, eller gør det ønskeligt, at være jordboere uden at tage relevant hensyn til vores medvæsener. Hvordan et sådant hensyn så konkret skal udmøntes, er det vores alles opgave at finde ud af – og nok det største spørgsmål, vi mennesker er konfronteret med i dag.

Artiklen er skrevet af:

Morten Ziethen

Lektor i anvendt filosofi på Aalborg Universitet og skriver lige nu sammen med en kollega på en bog om dannelse i det antropocæne.



Daniel Lux

Datalog, stifter og ejer IT-virksomheden Seluxit samt forfatter til bogen CO₂ on my mind.





Vi holder Stenkursus ved
Ugelbølle Strand/Hoved
med Per Smed

PÅ JAGT

EFTER STRANDSTEN/LEDEBLOKKE

Af Peter Astrup Tranberg Madsen

Jeg afholdt i juli 2021 et stenkursus ved Ugelbølle Strand. Hensigten var at opstille nogle simple principper for, hvordan man karakteriserer de strandsten, der findes i massevis ved vores strande og som alt overvejende er bragt hertil fra det øvrige Skandinavien under sidste istid.



"Ormerørsssten" sandsten – også kaldet Scolithus



Udhugget blok af Neks-sandsten med aftegning af skurestriber - forårsaget af isens pres mod undergrunden: Neks sandstenen

Stenene kan inddeles i bestemte kategorier, afhængig af på hvilken måde de i sin tid er dannet. Fordeling og omfang af sådanne kategorier er igen afhængig af hvilke strande, der er tale om dvs. hvor i landet vi befinder os. I det aktuelle tilfælde var det ved én af vore mest karakteristiske strande ved Kalø Vig. Her er det smukke landskab udformet af isen i forbindelse med sidste istid, som vi kalder Weichsel, og som blev indledt for 115.000 år siden. Den dannede under sit sidste fremstød fra sydøst for ca. 18.000 år siden en 3-400 meter høj gletsjer, der som en bulldozer var med til at op presse de karakteristiske Molsbuer, hvorpå Rønde by er beliggende. Gletsjeren efterlod efter afsmeltning Kalø Vig som en såkaldt inderlavning. Derfor er de sten, vi finder på stranden et resultat af dette sidste fremstød, men stranden rummer også materialer fra tidligere fremstød under samme istid, der sluttede for 11.700 år siden.

Inden for de sidste 2,6 mio. år har der været adskillige istider, der i gennemsnit har varet henved 100.000 år, så det har mere været reglen, at vi har befundet os i en istid end i en mellemistid, der som en varmeperiode normalt kun varer 15-20.000 år, men som vi altså heldigvis nu befinder os i.

På det omtalte stenkursus havde jeg sendt bud efter en af vore bedst kendte istidsgeologer Per Smed fra Birkerød. Han har i 1980'erne på Geograf-forlaget udgivet "Landskabskort over Danmark", heraf et kortblad over Midtjylland, der stort set dækker Region Midt. Ligeledes har han over flere år udgivet håndbogen "Sten i det danske landskab". Per Smed er 88 år gammel, men er stadig i stand til at stille op ved én af vore strande og fortælle om sten og landskabsdannelse, idet han stort set kender

hver egn i landet. Vi havde ham i tre dage indlogeret i et sommerhus ved Følle, og derfra planlagde vi et arrangement, hvis formål var at give deltagere et indblik i landskabets dannelse og stenenes ophav - dvs. bestemmelse af hvor de fundne strandsten oprindeligt stammer fra. Det være sig et bjergparti med særlige unikke karakteristika, som ikke forekommer andre steder. I så fald defineres sten derfra som en **ledeblok**.

De inviterede var venner og bekendte, der stort set alle var uden forhåndskendskab til geologi, hvorfor vi måtte fokusere på helt basale ting – hvad man umiddelbart kan iagttage og føle sig frem til. Mon jeg kan bibringe vore læsere, skoleelever og andet godtfolk den samme fornemmelse?

Per er uddannet geolog. Jeg har selv lidt den samme baggrund, men for mit vedkommende med geografi som hovedfag og geologi som støttfag,

Fakta

Sidste istid hed "Weichsel" og startede for ca. 115.000 år siden og varede indtil for 11.700 år siden. Der har under denne istid i Danmark været tale om mindst fire forskellige isfremstød: Gammel-baltisk is, Norske is, Nord-østisen og Ung-baltisk is (iflg. tidl. def.).

Det seneste fremstød kom fra sydøst og benævnes det Ung-baltiske fremstød. Det kom til Østjylland og sydlige Djursland for 19-18.000 år siden og kaldes Ungbalt I. Odsherredbuerne blev presset op i forbindelse med Ungbalt II – for 18-17.000 år siden - også kaldet Bælthavs-fremstødet.

Ungbalt III: Øresundsgletsjeren afsluttede de ungbaltiske fremstød for 16-15.000 år siden.



Rapakivi granit med store feldspatkrystaller omgivet af mørk ring



Skånsk (søjle)basalt – hjembragt fra tur til Skåne

så jeg agerede assistent for Per, ligesom jeg var initiativtager og planlægger af selve strandkurset. Per holdt først et oplæg om de forskellige kategorier af sten. Dernæst skulle deltagerne bevæge sig ned på stranden og indsamle sten i en spand, hvis indhold efterfølgende blev fordelt ud over 4 ringe (en hula-hop-ring og 3 sulekartringe) for de definerede kategorier, så lad os begynde med definition og afgrænsning af disse 4-5 kategorier:

1) **De sedimentære bjergarter** er i sin tid aflejret i vandløb, søer, eller på havets bund og siden vha. af kemi kittet sammen til faste sten. Vi kan kende sådanne sten ved, at der ofte er tale om en tydelig lagdeling, fx i sandsten, og at man kan identificere de enkelte sands- eller lerkorn med lup. Som eksempel på ledeblok så vi "ormerørssten", også kaldet Scolithus-sandsten (fx fra Sydsverige), samt røde

sandsten som man finder på Bornholm: jfr. Neksø sandsten, der danner Frihedsstøtten i København.

2) En anden vigtig hovedgruppe er **De magmatiske bjergarter**, der stammer fra magmakamre. De kan igen inddeles i to grupper:

2A) **De plutoniske** (også kaldet dybbjergarter). De kendes på, at de enkelte krystaller kan ses med det blotte øje og ligger tilfældigt imellem hinanden. De er nemlig dannet ved størkning i et magmakammer dybt nede i jordskorpen, og da en sådan størkning er foregået langsomt kan mineralerne finde sammen i de rette forhold og fx danne kvarts, feldspat og glimmerkrystaller, som de forekommer i granit. Stenmassen er så ved senere erosion over mio. af år blevet frilagt og ført hertil af isen. Som eksempel så vi Ålands-rapakivi (af finsk kaldet rådden sten) med store runde krystaller af feldspat omgivet af



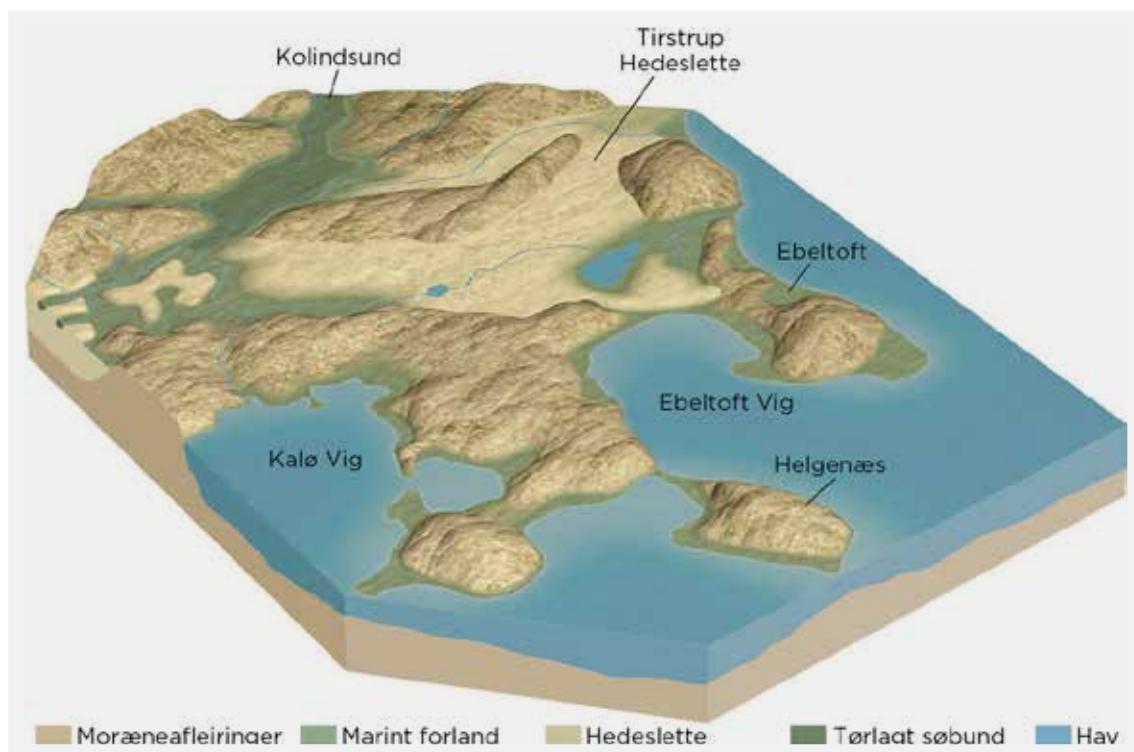
Rombeporfyrr – med strøkorn af parallellogramform (romber)



Rød Østersøkvartsporfyrr



Brun Østersøkvartsporfyrr



Landskabsrelief for Sydlige Djursland

Kilde: A. Schou, Tegning: Stefan Sølberg, GEUS 2019.

Ålands-kvartsporfyr

en mørk "corona-rand". En anden karakteristisk granit-ledeblok er Larvikit (fra Larvik).

2B) De vulkanske bjergarter (Vulkanitter eller som de også omtales: dagbjergarter). De dannes i forbindelse med vulkanudbrud, hvor lavaen vælter frem på jordoverfladen og størkner så hurtigt, at mineralerne ikke når at finde sammen og danne bestemte krystaller. Derfor er sådanne bjergarter som oftest finkornet. Vi fandt fx Skånsk basalt – en sort finkornet bjergart.

En underafdeling af Vulkanitter er **Porfyrer**, der har en finkornet grundmasse, men med spredte strørkorn af forud dannede krystaller som oftest feldspat, der er udkrystalliseret ved et lavere smeltepunkt og inden lavaen er nået frem til overfladen. Jeg plejer at sige, at de udgør en mellemting mellem vulkanitter og plutonitter, men det duer ikke iflg. Per Smed.

Vi så mange porfyrer, der fra tidernes morgen har været benyttet som **ledeblokke**. Bedst kendt er nok Rombeporfyr, der stammer fra Osloområdet og derfor er bragt hertil af en meget tidlig isstrøm: **Den Norske** for 30-28.000 år siden – det sammen med Larvikit.





Kinnediabas



Påskallavikporfyr

De mest karakteristiske porfyrer vi så var Rød - og Brun Østersø-kvartsporfyr, der begge indeholder kvartskorn og nogle mørke mineraler. Vi fandt også Ålands-kvartsporfyr med lidt større strøkorn af feldspat og kvarts. Alle disse porfyrer er bragt hertil af **Den ung-baltiske isstrøm**, der via Østersøen for ca. 18.000 år siden kom hertil fra sydøst og pressede Molsbuerne op under dannelse af Kalø Vig og Ebeltoft Vig – og altså også Ugelbølle Hoved.

I den forbindelse taler man om en **Glacial serie** bestående af:

- a. **Inderlavning:** Vigen, fx Kalø Vig
- b. **Ende/randmoræne:** bakker i form af Molsbuerne og endelig
- c. **Smeltevandssletten**, som danner afløbskeglen i form af Tirstrup Hedeslette.

Den flade græsmark, hvor vi gik fra bilerne frem til stranden, kaldes "marint forland" og er siden Istiden hævet 3-4 meter som følge af isens aflastende tryk – også kaldet **Hævet havbund fra Stenalderen**.

En tredje gruppe af ledeblokke blev ført hertil med **Nord-Østisen** for 24-21.000 år siden. Det drejer sig om Dalar-porfyrer, som vi så enkelte eksempler på bl.a. Bredvad-porfyr, der er rødlig med næsten usynlige strøkorn af feldspat og ingen kvartskorn. Fra denne isstrøm fandt vi også Skånsk basalt, jfr. beskrivelsen ovenfor. Ofte finder man med denne isstrøm også Kinnedia-bas fra Mellemsverige. Den ligner rådden blomkål, men vi fandt ingen eksemplarer. Jeg har nok samlet dem op ved tidligere strandture, sammen med Påskallavikporfyr (med blåviolette krystaller).

Rombeporfyr og Larvikit fra det tidlige Norske fremstød blev vist heller ikke påvist ved dagens fund.

At vi finder ledeblokke fra forskellige isfremstød skyldes, at klinten med indhold af sten fra de oprindelige moræner, i dag ligger blandet imellem hinanden på stranden, efter at sand og ler af bølgerne er vasket ud af klinten. Konklusionen var, at vi så flest ledeblokke fra Den ung-baltiske fremstød – især den karakteristiske Røde Østersøkvartsporfyr.

3) **De metamorfe bjergarter** så vi til gengæld masser af eksempler på. Det drejer sig om bjergarter, der er omdannet fra fx granitter eller sedimentter. Det sker under stort tryk og høje temperaturer dybt nede i jordskorpen fx i forbindelse med bjergkædefoldninger, hvor der er stærke kræfter på spil. Efter nederodering af bjergene er de siden kommet frem i dagens lys og bragt hertil med isen. De kendes på, at de ofte har en sribet struktur som følge af metamorfosen. Mange forveksles dem med sedimentter, der også er med striber, men som regel afsat i parallelle lag. Når man går tur ved stranden er det

som oftest disse metamorfe sten man

finder, fx i form af gnejs. Mange synes, at de er de allerflotteste med deres farverige strukturer, fx med indlejrede store feldspatkorn i form af Øjegnejs. Det er feldspat, der er valset ud som ten i forbindelse med metamorfosen – nej siger Per Smed. De er valset ud af metamorfosen. (Kan I forstå hvor præcis man skal være i sin formulering!) Kiselkrystaller tåler ikke trykket så godt og bliver valset ud som en hvidlig "sukkerkornet" masse af metamorfosen - det sammen med bånd af mørke mineraler som Augit og Hornblende.

De metamorfe bjergarter er også bragt hertil af isen, men kan sjældent benyttes som lede-

blokke. Per mente dog, at én af de gnejssten vi fandt, kunne stamme fra Bornholm (Bornholmsk Gnejs).

Vi så også eksempler på bjergarter med indlejrede bånd af fx basalt. De er dannet som følge af senere sprækkedannelser i de ovennævnte typer af bjergarter med efterfølgende basaltudfyldninger: diabasgange, jfr. vandreblokken ved Strandparkens rundkørsel.

(**Vandreblokke** er større sten, der er bragt hertil af isen, og som kan veje flere tons).

Hvis vi lige vender tilbage til de sedimentære bjergarter er disse altså dannet på grundlag af nedbrydningsprodukter fra granitter og gnejser mv. i form af grus, sand og ler. Derved indgår de nævnte kategorier af bjergarter i et kredsløb kaldet "**Bjergarternes geologiske kredsløb**". Her spiller "De tektoniske plader" en vigtig rolle, men det er lidt mere nørdet!



Stribet gnejs kan let forveksles med sedimentter



Gnejs med diabasgange (Vandreblok i Strandparkens rundkørsel, Rønde: Rundskuestenen).



Øjegnejs (vandreblok) ved Kulturhuset i Rønde: Øjestenen

4) En sidste gruppe (**Brokkasse**) er sten dannet i vores egen undergrund. Det kan være **kalksten og flint**, som vi så masser af eksempler på. Det kan undertiden resultere i flintafstøbninger, fx af søpindsvin eller som vættelys fra blæksprutter. Denne kategori, som i virkeligheden er en form for sedimenter, da de er aflejret i havet, kan altså ikke bruges som ledeblok-kategori.

Noget af stoffet ovenfor kan måske virke lidt tungt. Men der findes megen skønhed i stenenes hårde verden. Historien, de kan fortælle, er spændende at have med næste gang du går tur på stranden. Det er tilladt at tage interessante strandsten med hjem, hvor de kan anbringes i vindueskarmen eller udendørs til erindring om din strandtur. GOD STENJAGT!

Referencer:

Per Smed. Landskabskort over Danmark, Geografforlaget, 2012.

Per Smed. Sten i det danske landskab, 4. udgave. Højers forlag, 2016.

Artikel og fotos af:

Peter Astrup
Tranberg Madsen





Navn: Simon Bager

Alder: 35 år

Uddannelse: M.Sc. Environmental Policy, Lund Universitet, Cand.scient. geografi, Københavns Universitet; Ph.d. geografi, UCLouvain, Belgien

Stilling: Medstifter og bæredygtighedsdirektør i Climate.co

Hobbyer og andre sjove informationer: Jeg elsker at løbe, læse og rejse, og har en drøm om at se alle verdens lande. Men med to små børn og et job der tager resten af tiden, bliver alle tre hobbyer mest på drømmestadiet i disse år.



[Hvorfor begyndte du at læse geografi?]

Jeg har altid interesseret mig for samspillet mellem samfundet og den verden vi lever i. Som lille var jeg typen, der både læste avisen og mærkelige kapitler i verdenshistorien, og samtidig drømte mig ud i verden, når jeg "rejste" med Anders And til Inkariget eller på TV så klip fra verdens brændpunkter. Da jeg skulle vælge uddannelse, ville jeg gerne lære mere om "verden" - hvordan det så skulle forstås. Jeg havde egentlig ikke tænkt specielt meget over geografi, men på vej i flyveren hjem fra en rejse under mit sabbatår sad jeg ved siden af en ph.d.-studerende i geografi, og dét han arbejdede med lød vildt spændende. Så jeg besluttede mig for at søge ind på geografi, selvom jeg egentlig havde troet jeg skulle være journalist eller arbejde i FN. Sidenhen lærte jeg, at man som geograf godt kan få job som begge dele, hvilket vidner om fagets bredde.

[Hvad er geografi for dig?]

Geografi er først og fremmest tværdisciplinært. Som geograf trækker man på erkendelser fra både natur- og samfundsvidenskaberne for at forklare samspillet mellem de to, men tilføjer en vigtig rumlig dimension. Fundamentalt handler geografi om at forstå planeten og os mennesker, der påvirker og påvirkes af den - og dens givne ressourcer - herunder naturen og klimaet.

[Hvem/hvad har været din største inspirationskilde ud i geografien?]

Jeg har altid været fascineret af Alexander von Humboldt og hans rejsebeskrivelser, der med deres fokus på både samfund, geologi og natur på mange måder indkapsler essensen af geografi, så måske det

indirekte har spillet en rolle. Ift. min egen uddannelse var det introduktionen til begrebet "global land change", der analyserer hvordan globaliseringskræfterne, påvirker vores anvendelse af planetens arealer der fascinerede. Jeg skrev ph.d. inden for emnet, og undersøgte, hvad multinationale virksomheder gør for at begrænse tropisk afskovning. Det korte svar: for lidt.

[Hvad ser du som det 'hotteste' geografi-emne i øjeblikket?]

Det overordnede hotte emne er naturligt nok klimaforandringerne, der også er en af de mest presserende udfordringer for menneskeheden. Inden for de forskellige grene af geografien ved jeg ikke nok om hvad der rører sig, men at vi har en lov på vej i EU om at begrænse global afskovning, siger i hvert fald noget om, at netop det emne har flyttet sig fra forskningen og ud i "virkeligheden".

[Hvordan bruger du/har du brugt geografiuddannelsen i dit arbejde?]

Jeg er medstifter af et firma, der hedder Climate, hvor vi arbejder med at etablere og sælge kreditter fra projekter, der lagrer kulstof (CO₂) og på den måde medvirker til at reducere klimaforandringerne. Det kunne f.eks. være skovrejsning, biokul eller direkte kulstoffangst. Jeg bruger min geografiuddannelse bredt til at forstå og analysere sammenhænge mellem f.eks. politik og klima, men også helt konkret til at forbedre de projekter vi arbejder med. F.eks. har jeg lige været i Timor-Leste, hvor vi samarbejder med et skovprojekt og bruger satellitbilleder til at overvåge og verificere de kreditter, som projektet genererer.

Fagudvalgets klumme

"UD MED GEOGRAFIEN OG DE FEM SANSER"

Ovenstående slogan vil jeg mene ville egne sig fortrinligt til faget, vel vidende at begreber som "stedsans" og "topophilia" - det følelsesmæssige forhold til steder - er lige så vigtige elementer i en "ud-med-geografi" undervisning. I Geografiforbundet har vi altid ment, at geografi er et vigtigt fag og stærkt medvirkende til elevernes dannelse. Vigtigt er det derfor at sprogliggøre geografien og være bevidste om sansernes betydning, når eleverne skal lære landskabet og naturen at kende f.eks. gennem landskabets dannelse og landskabers erindring, ligesom geografi skal danne grobund for et natursyn. Det begynder med de yngste elever, men fortsætter hele vejen op til de ældste klasser.

Elever i Vestskoven på naturdag.
Foto: Martin Lehmann

Når sanserne "taler"

Det er vigtigt at nævne sansernes betydning for sprogudviklingen og for vores bestræbelser for at sprogliggøre undervisningens genstand, geografien. Jeg ser en klar sammenhæng mellem erhvervelse af sanseoplevelser og sproglig udvikling. For at få sprogliggjort tingene, elementerne, som eleverne møder, finder eller oplever ude i landskabet, skal de forinden være sanset. Som f.eks. når børn leger frit i og med naturen, har de deres "steder", huler, deres særlige træer eller buske/krat samt kæppe og andet "værktøj", der hører legen til. Fælles for alle disse elementer gælder det, at børnene har givet dem navne - fordi de har betydning for legen - og fordi de kender dem godt og har haft mange sanseindtryk og aftryk af dem. At navnene alene eksisterer i bør-

nenes univers, gør kun legen mere spændende.

Det ejendommelige ved sproget og navnetilegnelsen er, at i det øjeblik en ting, et træ, et sted, et dyr osv. får navn, bliver det til og får eksistens i den menneskelige hjerne.

Krop og sansning.

Når vi er ude med geografien for at lave feltarbejde, gør eleverne i høj grad brug af sanserne i deres informationssøgning. Når vi taler om de fem udadvendte sanser, handler det om: syn, hørelse, berøring, smag og lugt. Vi bruger de fem sanser til at hente informationer ind, for derefter at bearbejde disse til erfaring og viden. M. Hansen kalder at sanse (at hente ind) og (perception) at bearbejde, hvilket stort set kun sker, når vi aktivt beskæftiger os med





verden (M. Hansen, 2003, p. 19). Hver af de fem sanser bruger en række sansereceptorer (sanseceller) og arbejdsmåder. Således bruger f.eks. følesansen informationer om tryk, varme, kulde sammen med en aktiv berøring og palpering af genstande, så det kan blive til en oplevelse af genstandens form, overflade, kanter samt temperatur og fugtighed. Til registrering af balance på underlaget og regulering af tyngdekraften bruger vi en række indre sanser: f.eks. lodlinjesans, drejningssans, og sanser i muskler, sener og ledforbindelser.

Det er bemærkelsesværdigt at se den store forskel, der er mellem de enkeltes kropsdeles arbejde med at indhente informationer, når vi er aktive. Det er en vigtig viden at have med sig, når vi lærere planlægger feltarbejde i undervisningen, hvorfor jeg

også har valgt at tage illustrationen af det sensoriske menneske med her i klummen.

Fra sansning til viden.

Eleverne, især de unge, ser og hører, det de ved noget om, når de færdes i naturen. Man kan rolig sige, at der er en verden til forskel på at vandre gennem en skov eller over en eng og kende alle træer, planter og dyr og fra overhovedet ingen navne at kende. På forunderlig vis åbner der sig en langt større detaljerigdom, når man ved navnestoffets hjælp kan isolere enkeltheder i landskabet fra en ellers ensartet masse. Det er ved sprogets hjælp, at tingene fremtræder, og bliver synlige, og fastholdes til observation, for derefter at kunne gemmes/konserveres i abstrakt form i hjernen. Man kan sige om

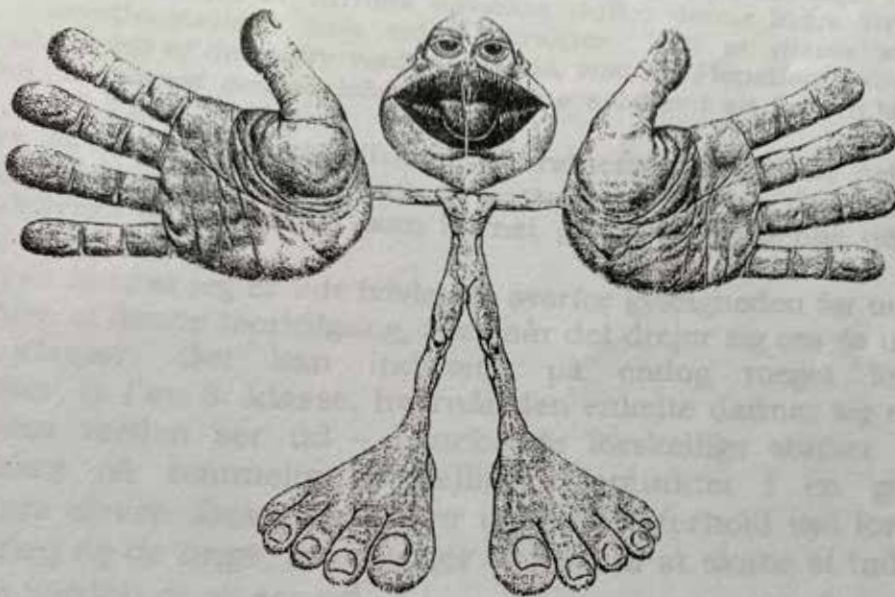


Fig. 1. Det sensoriske menneske tegnet, så størrelsesforholdene svarer til, hvor meget hjernebark, der anvendes til de forskellige sanser og kropsdele. De optager meget forskellig plads i hjernens sanseområder. Læber, tunge og hænder tager meget plads op, vi er indrettet til at undersøge verden grundigt.

Det sensoriske menneske fra M. Hansens artikel: Kolbøtter, kundskaber og magi, i *Børn og natur – hvorfor og hvordan?* 2003, p.19.

omverdenen, at den opdages og tilegnes i kraft af ordene og sproget.

Ukendte naturfænomener, dyr, planter, m.m. bliver kendte i den menneskelige bevidsthed i samme øjeblik de navngives, jf. mit eksempel vedr. børns leg i naturen.

Det "indre billede"

Gennem hele sin aktivitet og sansning skaber barnet sig et indre billede af, hvordan verden ser ud. Det er dette "indre billede", som Piaget kalder for struktur. I løbet af barnets opvækst skifter denne indre struktur eller omverdensbillede hele tiden karakter. "Det er denne stadige omstrukturering af det indre verdensbillede, som får Piaget og andre til at tale om, at barnet gennemløber forskellige stadier i sit liv". (B. Madsen, 1988, p. 71-72).

Således at det enkelte stadium er karakteriseret ved, at det indre verdensbillede er opbygget efter et bestemt mønster – den aktivitet og sansning, som barnet på det pågældende tidspunkt magter. Jeg er dog selv lidt tvivlende overfor denne teoritilgang, især når det drejer sig om de unge i de ældste klas-

ser. Det kan indtræffe på endog meget forskellige tidspunkter, f.eks. i en 8. klasse, når den enkelte danner sig et billede af, hvordan verden ser ud – hvorfor de forskellige stadier ofte kan gennemløbes på temmelig forskellige tidspunkter i en gruppe af jævnaldrende elever.

Bent Leicht Madsen taler tillige om et erkendelsesmøde, som han forklarer på følgende måde: "I barnets udvikling bliver det indre verdensbillede hele tiden sat op overfor de hændelser og fænomener barnet møder i den virkelige verden. Mødet mellem barnets indre verden og den ydre verden er det omdrejningspunkt al udvikling udspringer af". (B. Madsen, 1988, p. 72).

Jeg har erfaret fra min undervisning i de store klasser, at mange af eleverne her åbenbart går rundt med store huller i deres "indre verdensbilleder". Når f.eks. elever i 8. og 9. klasse skal finde bestemte lokaliteter i landskabet omkring deres skole, volder det dem ofte besvær, også selv om lokaliteterne er nøje beskrevet og indtegnet på overskuelige kort. Man må igen konstatere, at ord som undervisningsmiddel ikke alene gør det, der skal tillige etableres motivati-

on og nysgerrighed hos eleverne.

Om at forstå naturens signaler.

Når det drejer sig om dannelse af et natursyn i skolen er det betydningsfuldt, at der hos eleverne, de fleste vil jeg gerne håbe, er essentielle billeder og oplevelser gemt mentalt såvel som fysiologisk. Det er alment kendt at lyde og dufte i naturen kan sende én tilbage til barndommen og fremkalde en kæde af begivenhedsbilleder til erindring. Sådanne mentale aftryk af naturindtryk – nonverbale som de er – vil uvægerligt medvirke til at danne en solid basis for en højere mental overbygning, som for eksempel netop sproget.

Men eksempler på fuldstændig uforståenhed overfor naturens signaler er desværre ikke sjældne, og unge, og for den sags skyld voksne, der ikke i deres barndom har haft mulighed for megen omgang i og med naturen, vil ikke være i stand til at forstå dens signaler, og vil derfor handle så at sige ”analfabetisk” i den.

Vædderen

Et eksempel herpå har jeg fra Vædderen, en novelle af Cecil Bødker, som jeg ofte har brugt i min danskundervisning. Heri optræder feriebarnt Vagn, der fra storbyen er sendt på et landophold hos en gårdmandsfamilie. Men drengen kedede sig på gården. Han måtte ikke stå på pigtrådshegnet, måtte ikke starte traktoren, måtte ikke træde kornet ned eller lukke op for grisene eller gå ud til mergelgraven. ”Han måtte heller ingenting” mente han selv. Der var kedeligt ude på landet, der skete ingenting og så sov de til middag hver dag. Der var stille, ”der var ikke andet end fluerne og nogle bier. Man skulle tro det hele det hele sov herude, ligesom inde... bare han snart skulle hjem”.

I sin kedsomhed begynder han at kaste sten på den farlige vædder i indhegningen. Tիրrer den og kaster større og større sten mod den, for til sidst at stikke den i siden med en fiskestang. Det faldt ham ikke ind, at dyret i sit raseri måske kunne rende hegnet ned, at pælene muligvis ikke var slet så holdbare, som de så ud til. Han var kun vant til cement og ikke til stolper af træ, der stod og rådne nede i jorden. Hvor man ikke kunne se. Huse af jernbeton og legestativer af galvaniserede vandrør, det vidste han, hvad var.

Det ender med, at den rasende vædder, efter mange forsøg, får væltet hegnet. Men inden vædderen får viklet sig ud af pigtråden, er Vagn flygtet og har gemt sig i kostalden, fra hvis vindue han

kan iagttage det fnysende og nu blødende dyr. At det undslupne og stærkt ophidsede dyr tromler en mindre dreng (der er på besøg) ned, påvirker ikke feriedrengen særligt. ”Hvad skulle han også omme bag ved udhusene. Det kunne han jo bare lade være med”, mente Vagn.

Læsningen af denne novelle med de store elever giver et godt afsæt i en samtale/diskussion om sammenstødet mellem bykulturen og landbokulturen, hvor der, som her, kan være en verden til forskel. Eleverne kan godt indse, at der her er tale om en dreng, der er aldeles uforstående over for den natur, han oplever på landet. Men eleverne er mere usikre, når de skal til at forklare drengens handlemønstre; hvorfor optræder han som han gør, og hvorfor keder han sig. Når jeg forsøger mig med en forklaring om vigtigheden af tidligt sansede oplevelser i naturen og en lang (tids) væren i naturen i barndommen, kan min forklaring, når eleverne er rigtig oplagt, give anledning til gode samtaler. Vi kan her komme til en fælles forståelse af, at uden baggrund i sanselige oplevelser i naturen, antager vores forestillinger og kommunikation med omverdenen en tom og abstrakt karakter, selv om eleverne ikke lige anvender samme sprogbrug.

Det er de konkrete livtag med virkeligheden, her naturen, der kan danne grundlag for den intellektuelle udvikling, en udvikling som feriedrengen Vagn altså ikke havde gennemlevet. Han kendte ikke til naturens signaler, forstod ikke dens sprog, hvorfor den forekom ham uvedkommende og uinteressant.

Kilder:

Madsen, B. L. (1988): Børn Dyr og Natur, Forlaget Børn og Unge 1988.

Hansen, M. (2003): Kolbøtter, kundskaber og magi; i Børn og natur-hvorfor og hvordan? Christiansen, J. L. mfl. (Red.) (2003).

Lehmann, H. (2010): De unges natur- og kulturlandskabsforståelse.

Artiklen er skrevet af:

Henning Lehmann
Medlem af Geografforbundet



OVERSIGT OVER STUDIETURE

Er der en pris på en tur, bedes du tilmelde dig på hjemmesiden. Ellers skriv til den turansvarlige hvis du er interesseret i en tur.

Fuldtidsstuderende kan ved at sende en ansøgning få 20 % i rabat mod at skrive en artikel om turen til et kommende GO.

Studieturen til Argentina er blevet udskudt flere gange grundet corona, men nu bliver turen gennemført i februar 2023. Den første tur i snart 3 år. Det er

godt at kunne komme ud i verden igen.

Har du ideer til kommende studieture - og en faglig leder – så skriv til kursusudvalget.

Kursusudvalget medio ultimo oktober 2022.

Tidspunkt	Destination	Faglig leder	Turansvarlig
2023			
11.-25. februar	Argentina	Niels Lindvig	Lise Rosenberg
1. – 10. april	Polen	Mikael Hardenfelt	Myuran Bala
26. – 29. maj	Sejerø	Iben Dalgaard m.fl.	Lise Rosenberg
26. juni – 6. juli	Skotland og Orkneyøerne	Niels Lindvig	Myuran Bala
14.– 24. oktober	Saudi-Arabien	Ole Wøhlens Olsen	Lise Rosenberg
2024			
Uge 7 + 8	Malawi	Sune Rahbek Thuesen	Iben Dalgaard Lise Rosenberg



GEOGRAFFORBUNDETS Ø

– TUR 2023 SEJERØ 26- 29 MAJ

Tag med på årets ø-tur til Sejerø.

Det faglige indhold er blandt andet morænebakker, hævet havbund og stenbestemmelse, det rige dyre- og planteliv, fyret, opdræt af gæs og ænder (www.horsekaer.dk), besøg i Det Sorte Hus – nu et lille fiskerimuseum, kirken, Kongshøj, en af de 8 bevarede gravhøje på øen og fugletur.

Der er meget at opleve på Sejerø :

Vi cykler rundt på Sejerø. Cykler kan medtages eller lejes. Vi skal også opleve den flotte natur på gåture.

For dem der ikke ønsker at cykle, kan vi have en bil med på øen. Der skal være plads til alle.

Vandrehjemmet er booket. Her er 8 dobbeltværelser.

Vi prøver at holde prisen så lav som muligt.

Noget af maden laver vi selv. Vi spiser også ude. Her betaler man hver især. Så støtter vi også Sejerø økonomisk.

På www.geografforbundet.dk kan du læse et dagsprogram og tilmelde dig.

Iben Dalgaard og Lise Rosenberg fra Kursusudvalget står for at arrangere denne tur. Faglig ekspertise indhentes.

Yderligere informationer fås hos Lise på: lr@Geografforbundet.dk , 2239 7777

Pris 1250 kr. for ophold, det meste mad og besøg hos gæssene.

Kursusudvalget ved Iben og Lise

Hvor er geografien?

GEOGRAFFIFAGETS AKTUALITET

Jeg tror konstant at der er sket noget med min hørelse. Der er en masse informationer, der ligesom ikke kan finde et fornuftigt sted at høre hjemme i min hjerne. Når jeg hører at den danske CO₂ udledning igen er steget betragteligt. Når nogen stolt fortæller, at de har købt en ny Audi sportsvogn til turen ned igennem Europa. Når nogen fortæller, hvor lang tid der er til diverse vandstigninger bliver til virkelighed, når 100 år jo bare er levetiden for det barn der blev født i nabohuset i forgårs. For hvorfor i al verden er det vores virkelighed, når vi ved bedre. Det giver ikke mening. Samme billede tegner sig når jeg ser på mængden af mit sirligt sorterede affald, for hvordan kan vi holde til at være så fornuftige, have et bedre og bedre sorteringssystem, som vi lærer børnene i skolen, samtidig med at vores varer pakkes mere og mere ind, og vi derfor sorterer mere og mere emballage, som dog trods recycling og

upcycling osv. også bare er skrald. Hvornår kommer der så meget fornuft og nuancer i fornuften ind i diskussionen at man holder op med at føle sig døv, simpelthen fordi det også betyder, at valgmulighederne bliver nogle andre? Svaret er, at vi er nødt til at være med til at skabe det selv, men i en form for fællesskab, for at der kommer nok nuancer til at helheden bliver synlig. Det er nok også, at vi som geografiinteresserede på mange forskellige planer er rustede til at bidrage. Der er inspiration at hente i både opbygningen af, og filosofien bag, de bæredygtighedscertificeringer som anvendes i offentligt byggeri m.m. og i norsk naturfagscenters håndavtryksbegreb under bærekraftig udvikling (www.naturfag.no).

Af: Susanne Rasmussen

Fagudvalget i Geografforbundets styrelse.

Månedens link

Eksperimentarium: GEOENGINEERING

Nogle forskere ser geoengineering som løsningen på global opvarmning og klimaforandringer. Men ikke alle er lige begejstrede for ideen. På siden kan du også finde forsøg og caseopgaver.

www.experimentarium.dk/klima/geoengineering



HER ER DIN STYRELSE



Lars Bo Kinnerup

Forperson for geografforbundet, forlagsbestyrelsen, fagudvalget, kontakt til Nationalkomiteen for Geografi
Lektor på læreruddannelsen
lbk@geografforbundet.dk



Lise Rosenberg

Næstforperson for geograf-
forbundet, forperson
for kursusudvalget
Overlærer, Albertslund
lr@geografforbundet.dk



Jens Korsbæk

Kasserer og forperson for
GO Forlags bestyrelse
Cand scient.
jenskorsbaek@gmail.com



Henning Lehmann

Forperson for fagudvalget
Cand. Pæd. geografi
hl@geografforbundet.dk



Susanne Rasmussen

Forlagsbestyrelsen, fagud-
valget, Lærer
sur@geografforbundet.dk



Mette Starch Truelsen

Fagudvalget, Lærer
Cand. scient. i geografi og
historie
mst@geografforbundet.dk



Myruran Balasubramaniam

Styrelsesmedlem, Kursus-
udvalget, kontakt til DLF,
Facebookredaktør
Lærer
Fcker@hotmail.com



Iben Dalgaard

Kursusudvalget
Pensioneret Naturfagskon-
sulent
ida@geografforbundet.dk



Kristian Nordholm

Fagudvalget,
Uddannelseskonsulent.
Cand. scient i geografi.



Fuldt dækkende portal til naturgeografi GO Naturgeografi

Portalen er fuldt dækkende i forhold til læreplaner til faget naturgeografi på C- og B-niveau og er også velegnet til NV på stx samt geografi og naturvidenskabelig faggruppe på hf. Sommer 2021 er GO Naturgeografi udkommet i 3. version med reviderede og opdaterede temaer og kerne stof.

Portalen indeholder:

- 13 tematiske forløb med 119 emner
- 7 kerne stofforløb med 71 emner
- 1 metodeforløb med 4 emner
- Stort udvalg af opgaver, test og eksperimenter
- Opgavebank med overskuelig adgang til alle øvelser
- Mediebank med adgang til 525 figurer og 228 fotos
- Let oversigt over elevbesvarelser og testresultater
- Mulighed for at læreren kan oprette eget fagligt indhold
- Noteredskab og beskedfunktion.

Opgaver, test og eksperimenter

Til hvert tema og kerne stofområde findes følgende typer af øvelser:

- Når du læser: 359 opgaver med 1.251 arbejdsspørgsmål
- På klassen: 268 opgaver med 707 arbejdsspørgsmål
- Eksperimenter: 17 opgaver med 56 arbejdsspørgsmål
- Test din viden: 66 selvrettende opgaver med 401 spørgsmål.

Se portalen på: naturgeografi.goforlag.dk

Bestil et gratis prøveabonnement på
www.goforlag.dk/prøveabonnement