

**Hva vi vet
Hva vi ikke vet
Hvordan vi bedre prøver å forstå
globale endringer i klima og miljø**

CarboSchools-prosjekter;
problemstillinger,
utfordringer og metoder





Hva vi vet Hva vi ikke vet Hvordan vi bedre prøver å forstå globale endringer i klima og miljø

CarboSchools-prosjekter;
problemstillinger, utfordringer og metoder



www.carboschools.org



EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL
Joint Research Centre



Denne publikasjonen er støtta av EUs 6. rammeprogram for forskning og teknologisk utvikling

CarboEurope IP (kontrakt GOCE-CT-2003-505572) og CarboOcean IP (kontrakt 511176-2)
Europakommisjonens generaldirektorat for felles forskningscenter (JRC)

CarboSchools: Lærere og forskere samarbeider om globale endringer i klima og miljø

CarboEurope og CarboOcean er to store forskningsprogrammer som studerer hvordan menneskelig aktivitet påvirker jorda vi lever på nå og i framtida. Programmene har både en kontraktfesta og en moralsk forpliktelse til å formidle forskningsresultater til resten av samfunnet og på denne måten stimulere til en diskusjon rundt problemstillingene.

Ungdom er morgendagens samfunnsborgere og beslutningstakere og vil være spesielt berørt og opptatt av endringer i miljøet. Derfor bør de få en grunnleggende forståelse av hvilke prosesser som er viktige og hva som i dag gjøres på forskningsfronten for selv å bli i bedre stand til å ta avgjørelser i framtida.

Få å oppnå dette har CarboEurope og CarboOcean gått sammen med et forskningsinstitutt i EU-systemet; Joint Research Center (JRC), for å løfte prosjektet CarboSchools fram i lyset og få i gang samarbeid mellom forskere, lærere og elever i den videregående skolen. Slike forsker/lærer/elev-samarbeid skal stimulere til:

- læring basert på deltagelse i eksperimenter og oppdaterte forskningsresultater
- nyskapende og tverrfaglige tilnærminger til problemstillingene
- diskusjon om globale endringer i klima og miljø basert på førstehåndskunnskap
- problemløsning både fra et individuelt perspektiv og i en europeisk sammenheng

CarboEurope og CarboOcean vil hjelpe til med å etablere varige samarbeid mellom videregående skoler og forskere og programmene vil

- bidra til å initiere pilotprosjekter
- anerkjenne arbeidet gjort av forskerkolleger involvert i skoleprosjekter som en viktig del av jobben deres
- oppfordre doktorgradsstudenter til å delta i fellesprosjekter mellom skolene og forskere, og oppfordre til at dette blir en integrert del av utdanninga deres
- bidra til utviklinga av og ressurser til skoleprosjekter gjennom websida www.carboschools.org



Ernst-Detlef Schulze

*CarboEurope
koordinatør*



Annette Freibauer

*CarboEurope
prosjektadministratør*



Christoph Heinze

*CarboOcean
koordinatør*



Andrea Volbers

*CarboOcean
prosjektadministratør*



Manfred Grasserbauer

*direktør, JRC institutt for
miljø og bærekraft*



Hva finner du i dette heftet?



Mange gode bøker, artikler og hefter presenterer *hva vi allerede vet* om klimaendringer. Dette heftet hjelper deg å finne ut *hva vi ikke vet* og *hvordan forskere arbeider for å forstå endringer i klima og miljø bedre*, både generelt og innafor ramma av de to store europeiske forskningsprogrammene CarboEurope og CarboOcean.

Alle som er interessert i klimaforskning vil finne nyttig informasjon her, men heftet er hovedsaklig lagd som et verktøy for lærere i den videregående skolen som planlegger *tverrfaglige prosjekter* om dette emnet. Her ønsker vi ikke bare å informere eller overføre kunnskap, men også *oppmuntre ungdom til å stille spørsmål*, stimulere til *økt forståelse*, og *styrke viljen til å forme ei framtid* som gjør oss i stand til å takle utfordringene med globale endringer i klima og miljø.

Derfor fokuserer vi i dette heftet på *hvordan forskning bidrar til ny kunnskap* heller enn kunnskapen i seg selv. Styrken til prosjektbasert læring er at kunnskap fra ulike fagfelt settes sammen, og dette vil øke elevene sin forståelse av problemstillingene som tas opp.

Globale endringer i klima og miljø utfordrer vår måte å tenke på og våre avgjørelser. Klimasystemet er komplekst og globalt der ulike deler avhenger av hverandre, og med dette bakteppet må vi lære hvordan vi skal tenke og handle. Derfor illustrerer heftet også

- den *tverrfaglige karakteren til klimaforskning* (i motsetning til den tradisjonelle oppdelinga av forskning i spesialfelt)
- *nødvendigheten av å søke etter helhetsbilder* (i motsetning til tendensen til å være fornøyd med å bare avdekke biter av bildet)
- de *ulike gradene av usikkerhet* (i motsetning til å se på vitenskap som synonymt med sannheten)
- den *ofte uordna måten å opparbeide kunnskap*; uordna i betydning ikke nødvendigvis lineær, men kreativ og spontan
- de *tette banda* mellom globale problemstillinger, kollektive avgjørelser og hverdagslige individuelle valg

Lykke til med prosjektene!

Philippe Saugier
CarboSchools-koordinator



Arwyn Jones (økolog med jordsmonn som spesialfelt) forklarer ulike prosesser som påvirker klimaet i forbindelse med en elevdag organisert av JCR's institutt for miljø og bærekraft i mai 2004. I løpet av dagen kom det innom 1400 elever fra videregående skoler i og omkring Ispra.

© JCR, Institutt for miljø og bærekraft



Innhold

Hva vi vet og hva vi ikke vet

9

En oversikt over forskning på globale endringer i klima og miljø; sentrale spørsmål og hvordan man søker etter svar.

1. Varsling av framtidens klima
2. Sentrale spørsmål om naturlige prosesser
3. Naturlig opptak av karbon
4. Hvordan griper vi an disse problemstillingene?
5. Hva gjør vi for å løse problemet?

CarboEurope

26

En oversikt over det internasjonale forskningsprogrammet CarboEurope. Programmet varer fra 2004 til 2008 og har som mål å prøve å bestemme karbonbalansen på landjorda. Flere hundre forskere fra 17 europeiske land er involvert.

1. Hva er målsettinga?
2. Hva baserer vi oss på?
3. Hvordan går vi fram?

CarboOcean

31

En oversikt over forskningsprogrammet CarboOcean, som er den marine ekvivalenten til CarboEurope. Fra 2005 til 2009 vil en hel flåte av forskningsfartøy, lasteskip utstyrt med måleinstrument, bøyer, undervannsfartøy osv. gå på kryss og tvers av verdenshavene for å observere og analysere det marine karbonkretsløpet.

1. Hva er målsettinga?
2. Hva baserer vi oss på?
3. Hvordan går vi fram?

Forskning i praksis: to eksempler fra feltarbeid

37

Forsøk på ei øy i Middelhavet og i en norsk fjord.

1. Pianosa - et vitenskapelig skattkammer.
2. Mesokosmos - forsøk der en marin verden i miniatyr brukes til å simulere framtida.

Ressurser på internett

Hvor finnes det som ikke finnes i dette heftet

For generell informasjon om drivhuseffekten og klima- og miljøendringer:

På internett finnes det et stort utvalg av dokumenter på mange ulike språk som introduserer disse temaene. Noen av dokumentene er objektive, andre er mer eller mindre subjektive. For ei nøytral og grundig tilnærming til temaene anbefales FNs konvensjon om klimaendringer (United Nations Convention on Climate Change), som tilbyr en mengde gode publikasjoner: www.unfccc.int, klikk på "essential background" og deretter på "background publications", eller gå rett inn på:

http://unfccc.int/essential_background/background_publications_htmlpdf/items/2625.php

(se spesielt "climate change information kit", tilgjengelig på fransk, engelsk, tysk, spansk og russisk).

Vi anbefaler også EUs webside om klima- og miljørelaterte saker mynta på ungdom:

http://europa.eu.int/comm/environment/youth/index_sv.html (på svensk og mange andre språk).

I tillegg finnes det ei webside som er interessant fra et utdanningsperspektiv (på engelsk og fransk)

http://www.manicore.com/anglais/documentation_a/greenhouse/index.html

For vitenskapelig informasjon om drivhuseffekten og klima- og miljøendringer:

FN sine rapporter om klimaendringer (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) er gode kilder for vitenskapelig informasjon om emnene. Vi anbefaler at man starter med sammendraget av den nyeste rapporten (2007) som blir presentert av GreenFacts International Foundation:

http://www.greenfacts.org/studies/climate_change/index.htm (finnes på engelsk, fransk, spansk og tysk).

Du kan også finne informasjon fra IPCC ved å laste ned "Summary for Policymakers" og de tre sammendragene fra arbeidsgruppene i 2007-rapporten: www.ipcc.ch (tilgjengelig på engelsk, arabisk, kinesisk, spansk, fransk og russisk). Disse sammendragene er mynta på et ikke-vitenskapelig publikum, men leseren bør nok ha noe kjennskap til problemstillingene.

For informasjon om vitenskapelige nyheter:

Nettstedet www.ghgonline.org presenterer alle nye vitenskapelige resultat på et forståelig språk, og de plukker nyhetene fra vitenskapelige artikler publisert i fagtidsskrifter.

Ordlister:

Du kan finne flere klimaendringsordlister ved å bruke en hvilken som helst søkemotor på internett. Vi anbefaler ordlista fra GreenFacts Foundation:

http://www.greenfacts.org/studies/climate_change/toolboxes/glossary.htm (på engelsk, men finnes også på fransk, tysk og spansk).

Forklaring av termer og begrep:

ESPERE klimateksikon www.espere.net (på norsk, fransk, engelsk, tysk, spansk, polsk og ungarsk).

Eksempler på noe hver og en av oss kan gjøre for å redusere endringer i klima og miljø:

<http://www.climnet.org/publicawareness/einfuehrung.htm> (på engelsk, fransk, tysk og spansk).

Andre nyttige lenker (på engelsk):

Om forskning: www.exploratorium.edu/climate og <http://climate.nms.ac.uk/>

Om effektene av klimaproblemet: et verdenskart som viser observerte endringer i klima:

<http://www.climatehotmap.org/>

For å beregne CO₂-utslipp fra deg, familien din, skolen, osv.:

<http://www.co2.org/calculator/index.cfm> og <http://www3.iclei.org/co2/co2calc.htm>



Hva vi vet og hva vi ikke vet

Sentrale spørsmål og forskning på globale endringer i klima og miljø

'Vår kunnskap om strukturen til og funksjon av terrestriske økosystemer er ikke kommet så langt at vi forstår - og langt mindre kan forutsi - hvilke konsekvenser en endring i klimaet vil ha på økosystemene i seg selv eller på økosystemenes vekselvirkninger med atmosfæren.'

(International Geosphere-Biosphere Programme, 1991)



Nærbilde av Briksdalsbreen, Jostedalbreen Nasjonalpark.

© Atle Nesje - Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen, og Bjerknessenter for klimaforskning, Bergen.

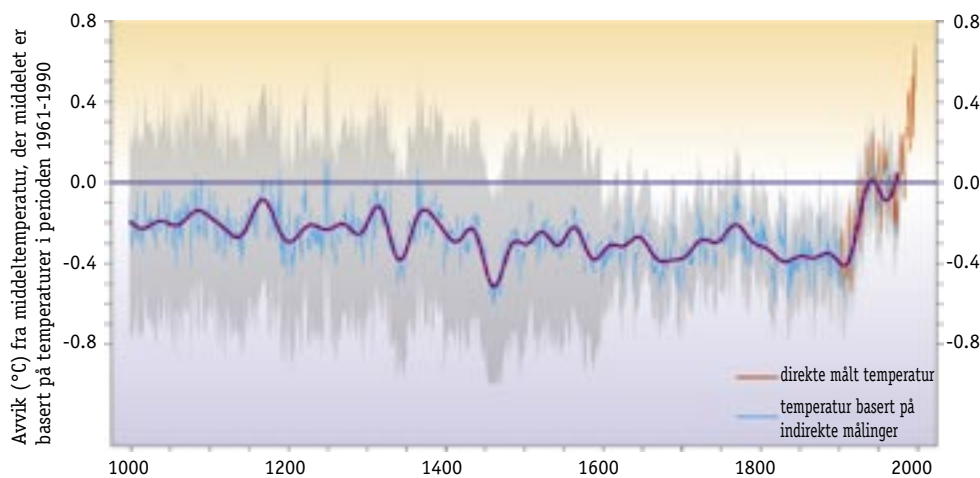
1. Varsling av framtidens klima

Mye er allerede kjent...

Vi er i dag sikre på at det globale klimaet endres, og at disse endringene er karakterisert ved:

- en *observert* midlere temperaturøkning på 0,6 °C fra starten av 1900-tallet og fram til i dag, med perioden 1990-1999 som det varmeste tiåret.
- en *observert* midlere økning i konsentrasjonen til mange av drivhusgassene¹ i atmosfæren, og spesielt for karbondioksid (CO₂), som har økt fra 280 til 370 ppm² fra 1750 til 2000.
- de *observerte endringene* er *ekstreme* i et geologisk tidsperspektiv; man har ikke sett endringer av tilsvarende størrelse og hastighet i løpet av de siste 10 000 år.

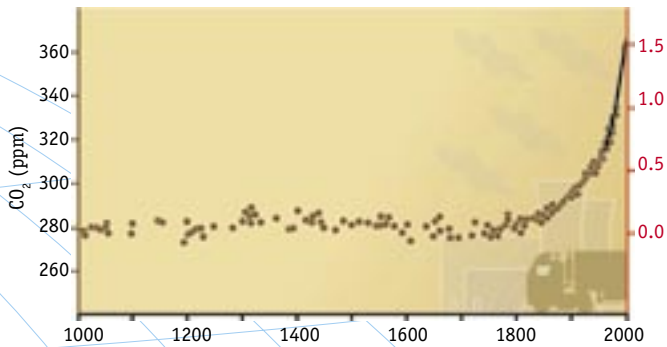
Vi må gå ut fra at den pågående endringa i klimaet ikke er et naturlig fenomen slik som f.eks. istider, men er skapt på grunn av *menneskelig aktivitet*. Siden starten av den industrielle revolusjon har atmosfærens innhold av karbondioksid økt. Den viktigste grunnen til dette er at vi mennesker bruker fossilt brensel (f.eks. kull og olje) og gjør store endringer i hvordan vi bruker landjorda (spesielt avskoging i tropene). Konsentrasjonen av andre drivhusgasser, som metan og nitrogenoksid, har også økt i løpet av de siste 200 år.



Variasjon i jordas overflatetemperatur i løpet av de siste 1000 år (nordlige halvkule).

© FN – IPCC

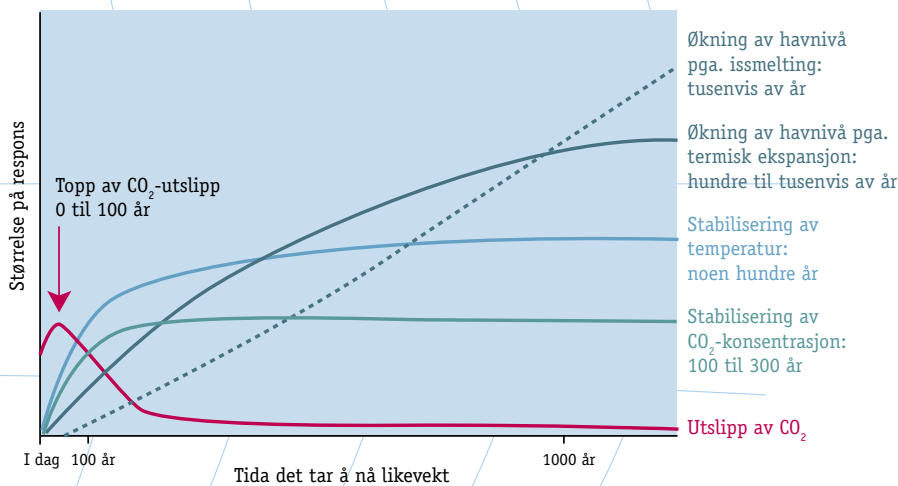
- 1) Drivhusgasser spiller en viktig rolle når det gjelder å holde temperaturen på jorda på et nivå som gjør det mulig å opprettholde liv. Uten slike gasser ville middeltemperaturen på jorda vært -18 °C i stedet for dagens +15 °C. Jo høyere konsentrasjonen av drivhusgasser er jo høyere blir middeltemperaturen på jorda.
- 2) ppm = parts per million: en enhet som brukes for å måle små mengder enten i volum- eller massedeler (i vårt tilfelle volumdeler av CO₂ i atmosfæren). 370 ppm (eller 0,037 %) indikerer at i en million cm³ luft er der 370 cm³ rein CO₂.



CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren de siste 1000 år.

© FN – IPCC

Vi vet også at selv om vi stopper alle utslipp i dag, så vil likevel de overnevnte endringene fortsette og til og med forsterkes i løpet av de neste århundrene på grunn av drivhusgassenes levetid i atmosfæren og tregheten i systemet.



CO₂-konsentrasjon, temperatur og havnivå fortsetter å øke i lang tid etter at utslippene er redusert.

© FN – IPCC

... men det er mye mer vi ikke vet noe om!

Det sentrale og enkle spørsmålet er hvordan situasjonen vil utvikle seg og dette spørsmålet representerer ei stor utfordring for vitenskapen. *Dagens kunnskap er utilstrekkelig* hvis man med en viss nøyaktighet ønsker å varsle utviklinga og konsekvensene av klimaendringer i framtida. Det vi kan være sikre på er at den midlere temperaturen vil stige også i det neste hundreåret, men om økningen vil bli på 1 °C eller 6 °C³ er vanskelig å slå fast, og dette temperaturspranget utgjør en stor forskjell!

Situasjonen er ikke bedre når det gjelder *konsekvensene* av global oppvarming. Vi vet at en global oppvarming vil føre til økning av havnivå og kraftigere nedbør (snø og regn), men det er vanskelig å si hvor mye. I tillegg vet vi ennå ikke med sikkerhet om global oppvarming vil føre til mer ekstremvær (f.eks. stormer og sykloner).

Et annet moment er risikoen for *uventede reaksjoner* i jordas klimasystem dersom grenser, som ennå ikke er kjent, overskrides. Dette kalles "gummistrikk-prinsippet"; så lenge du drar moderat i en strikk uten å overstige grensa for hva den tåler så holder den seg elastisk og kan returnere til sin opprinnelige form, men om du drar for hardt vil strikken ryke. Noen frykter f.eks. at global oppvarming vil svekke, eller til og med slå av, den Nord-Atlantiske strømmen (Golfstrømmen) og dermed gi en regional avkjøling av Europa. Dette er scenariet som inspirerte filmen "The Day After Tomorrow", og selv om filmen er sterkt overdrevet så bygger den på et av flere mulige utfall av klimaendringer. Vi tror at slike grenser finnes, men vi vet ikke hvor de går.

En kompliserende faktor er at *klimaendringer ikke er jevnt fordelt over hele jorda*. Observert midlere temperaturstigning i Alpene er 1 °C (opp til 2 °C noen steder), mens økningen av global middeltemperatur (midla over hele jorda) er 0,6 °C. Det de fleste av oss ønsker å vite noe om, bortsett fra generelle trender, er selvsagt hvilke endringer som kan ventes *der vi bor*. I dag er det ikke mulig å gi sikre svar på slike spørsmål, og det beste vi kan gjøre er å peke på trender. Men også slike varslere om framtidens klima vil kunne variere mye avhengig av hvilke antagelser som er gjort.

En kompliserende faktor er at *klimaendringer ikke er jevnt fordelt over hele jorda*. Observert midlere temperaturstigning i Alpene er 1 °C (opp til 2 °C noen steder), mens økningen av global middeltemperatur (midla over hele jorda) er 0,6 °C. Det de fleste av oss ønsker å vite noe om, bortsett fra generelle trender, er selvsagt hvilke endringer som kan ventes *der vi bor*. I dag er det ikke mulig å gi sikre svar på slike spørsmål, og det beste vi kan gjøre er å peke på trender. Men også slike varslere om framtidens klima vil kunne variere mye avhengig av hvilke antagelser som er gjort.

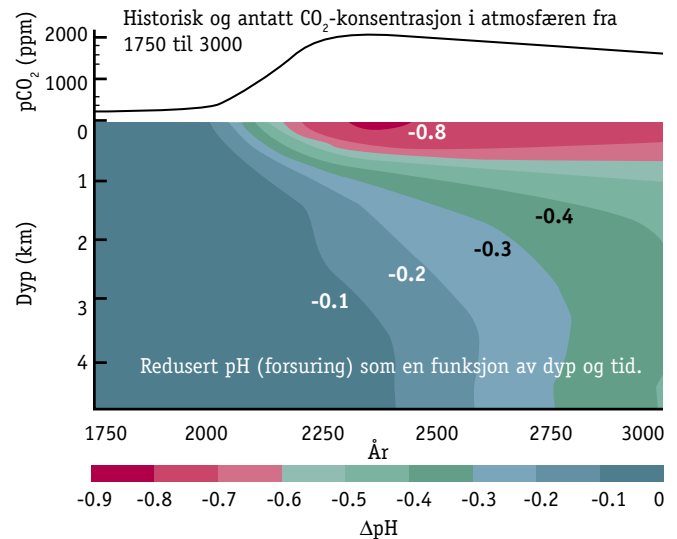
3) I dag (2007) vet vi at en økning på mindre enn 1,5 °C er svært usannsynlig. Det er et mål i internasjonale forhandlinger å etterstrebe at økningen ikke blir større enn 2 °C i forhold til hva temperaturen var i før-industriell tid.



Forsuring av havet: den usynlige delen av isfjellet?

Klimasystemet på jorda er i ubalanse på grunn av økningen av CO_2 i atmosfæren, og global oppvarming er bare en av konsekvensene! Ca. halvparten av mengden CO_2 som vi slipper ut i atmosfæren havner til slutt i havet og i vegetasjonen på landjorda, og takket være dette er den globale oppvarminga mye mindre enn den hadde vært om all CO_2 hadde blitt værende i lufta. Man kan si at naturen hjelper oss ved å mildne de skadelige effektene av innblandinga vår, men dette er ikke uten konsekvenser for havet, for jo mer CO_2 havet absorberer jo surere blir det.

Hvis surhetsgraden i havet kommer under et visst nivå, vil organismer som inneholder kalsiumkarbonat, som koraller, skalldyr, noen bløtdyr og fyttoplankton, komme i faresona fordi det sure vannet vil tære på skjellene deres. Forsuringa av havet truer derfor mange av de marine artene og hele den marine næringskjeden.



© Caldeira & Wickett (2003, Science)



Lophelia pertusa, en steinaktig korall som lever i kaldt vann, er trua av forsuringa av havet.

© Havforskningsinstituttet i Frankrike (Ifremer)

Vi vet at:

- Fram til i dag har utslipp av CO_2 pga. menneskelig aktivitet allerede ført til økt surhet i øvre havlag, tilsvarende en gjennomsnittlig nedgang på 0,12 pH-enheter.
- Hvis CO_2 -utslippet fortsetter å øke med samme fart som i dag, vil havets pH i 2100 nå en verdi som er 0,5 pH-enheter lavere enn i før-industriell tid. Havet vil da være surere enn noen gang i løpet av de siste titalls millioner år, og forsuringa vil ha skjedd 100 ganger raskere enn hva som er observert noen gang tidligere.
- I en slik situasjon trengs det ti-tusenvis av år for å komme tilbake til likevekta den marine kjemien hadde i før-industriell tid (så sant atmosfærisk CO_2 -konsentrasjon også reduseres). Hvis tidsskalaen er et menneskeliv eller noen generasjoner, kan en se på forsuringa av havet som en irreversibel prosess. Og når forsuringprosessen går så fort som den gjør nå, har vi all grunn til å frykte at mange av de marine artene ikke rekker å tilpasse seg, spesielt de artene som vokser seint (f.eks. korallrev). Omfanget av forsuring (at f.eks. pH i øvre havlag vil være 0,5 pH-enheter lavere i 2100 hvis CO_2 -utslippene fortsetter som nå) er knyttet til velkjente kjemiske reaksjoner og kan derfor bestemmes med stor grad av sikkerhet. Dette i motsetning til global oppvarming der både omfang (+1 til +6 °C i 2100) og konsekvenser er svært usikre. Men den totale effekten av forsuring har vi mye mindre kunnskap om.

Derfor er global oppvarming kanskje bare toppen av isfjellet med tanke på hva som blir forstyrret i det naturlige miljøet vårt. Andre konsekvenser er vel så urovekkende. En ting er sikkert: vi må slutte å tenke på havet og atmosfæren som to separerte og uavhengige

reservoarer, og heller ta inn over oss at CO₂ som vi slipper ut i lufta og som videre tas opp i havet ikke vil forsvinne, men vil virke inn på økosystemer i havet. Dette må være i tankene når man tar politiske beslutninger basert på risikoanalyse.

CO₂ fra lufta til havet

CO₂ kjenner ingen grenser: det er spredd over hele jorda og påvirker alle land likt enten de slipper ut mye eller lite CO₂. CO₂ skiller heller ikke mellom luft og hav, men transporteres mellom de to reservoarene og etterstreber en mest mulig uniform fordeling. Her som ellers søker naturen mot likevekt, slik at konsentrasjonen av CO₂ skal være lik i atmosfæren og havet.

CO₂ er relativt stabil i lufta, men straks gassen diffunderer ned i sjøvannet skjer følgende to prosesser:

1) CO₂ reagerer med vannmolekylene og danner andre former for uorganisk karbon løst i sjøvann: "karbonat" og "hydrogenkarbonat" (=bikarbonat). Havet er umettelig på CO₂. Det søker kontinuerlig etter å inneholde like mye CO₂ som lufta, så snart CO₂ i havet er omdanna til karbonat så er havet igjen "sultent" på mer CO₂ og vil derfor absorbere mer av gassen, og slik går mølla helt til der oppnås en balanse mellom de ulike karbonatformene i vannet. Denne balansen varierer som en funksjon av pH, dvs. vannets surhetsgrad. Med dagens surhetsgrad i sjøvann (ca. 8,1) vil omkring 1 % av den totale mengden karbon i overflatevann finnes som CO₂ og 99 % som karbonat og hydrogenkarbonat.

Den kjemiske omforminga av CO₂ når molekylene kommer ned i sjøvann danner grunnlaget for det vi kaller for vannets "bufferkapasitet"; evnen havet har til å holde pH-verdien mer eller mindre uendra når CO₂ blir tatt opp fra lufta. Dette gjelder når mengden CO₂ ikke er forstyrret av menneskelig aktivitet, men i ei framtid med økende mengde CO₂ i atmosfæren og et hav som vil absorbere mer karbon enn vanlig vil havets pH avta og sjøvannet vil bli surere.

2) CO₂ bidrar til vekst av fytoplankton (grønnalger) på samme måte som for alle andre planter. Fytoplankton er grunnsteinen i næringskjeden og vil vokse så sant der er lys, karbon og ulike næringssalter tilstede. Når fytoplankton dør eller blir spist vil restene synke ned til større havdyp og på denne måten fjerne karbon fra øvre havlag. Når dødt organisk materiale synker vil det gå i oppløsning og brytes ned til uorganisk materiale (re-mineralisert), og uorganisk karbon slippes tilbake til vannet. Noe av det oppløste karbonet vil returnere til øvre havlag ved at de ulike havlagene blandes med hverandre (vertikale bevegelser i havet). En liten mengde av det døde organiske materialet vil nå havbunnen, sedimenteres og lagres der i lang tid.

Det biologiske forbruket av karbon hviler aldri, det er alltid noen steder i havet der karbon tas opp i marine planter. Det antas at det biologiske kretsløpet ikke blir særlig påvirket av økningen i atmosfærisk CO₂, siden karbon i havet er tilgjengelig i rikt monn for fotosyntese, men ny forskning kan gjøre at denne oppfatninga må revurderes.



Viktige ukjente faktorer

Hvorfor er det så vanskelig å varsle framtidige endringer i klima og miljø?

Vår forståelse av de naturlige endringene i klima og miljø er avgrensa: Eksempelvis kjenner vi godt til hvor mye av de ulike klimagassene som slippes ut pga. menneskelig aktivitet, men de naturlige prosessene som slipper ut, absorberer og lagrer klimagasser er ikke fullt ut forstått. Hvordan karbon transporteres fra et reservoar til et annet, f.eks. fra hav til atmosfære (det generelle karbonkretsløpet), er komplisert og avgrenser forståelsen av hvordan karbonkretsløpet reagerer på menneskelig utslipp av gasser som endrer klima og miljø.

Vi er også konfrontert med andre store utfordringer: Hvordan vil det globale samfunnet utvikle seg i framtida, spesielt med tanke på befolkningsveksten? Hvordan vil utviklinga være i de fattigste landene som til nå har sluppet ut små mengder CO₂? Hvilke klimagassutslipp vil komme fra økonomier som har lite olje- og kullreserver? Hvordan vil den globale økonomien bli påvirket når oljeressursene minker? Hvilke tiltak vil politikerne vedta for å avgrense utslipp av klimagasser, og vil verdenssamfunnets teknologi føre til at flere av våre energikilder i nær framtid ikke slipper ut klimagasser?

Det er umulig å ha sikker kunnskap om en del faktorer knytta til framtidig menneskelig aktivitet. Ulike utviklingsmuligheter beskrives derfor i forskjellige sosio-økonomiske scenarier som er basert på ulike endringer i verdens befolkning, økonomisk vekst, miljøpolitikk osv. Ett framtidsbilde (scenario) er f.eks. at jordas befolkning fortsetter å øke kraftig i lang tid framover, et annet er at befolkningsveksten når toppen rundt 2050 og deretter avtar⁴. På den andre sida bør det være mulig å få sikrere og bredere forståelse for de *naturlige* fenomenene.

Veien fra menneskekroppen til Tellus

Noen mener at dagens forståelse av planeten vår (Tellus) er på samme nivå som legevitenenskapen var ved starten av det 19^{de} århundre. Den gang fokuserte legevitenenskapen på å forstå blodsystemet, ånding og nervesystemet, og på funksjonene til indre organer som lunger, hjerte, hjerne, fordøyelse osv. Når det gjelder jorda vår kjenner vi til de viktige byggesteinene for liv; oksygen, karbon, nitrogen og hydrogen. Vi kjenner til de viktigste "organene" eller aktørene i systemet; atmosfære,

hav, vegetasjon og dyreliv, men vi trenger sårt en bedre forståelse for hva som styrer hva, hvorfor og hvordan.

Før trodde man f.eks. at planter bare var kontrollert av fysiske faktorer som lys, nedbør og temperatur. Nå er forskningen mer opptatt av å forstå plantene som en del av et kretsløp og deres evne til å påvirke det fysiske miljøet rundt seg. Men ennå har ikke forskningen kommet i mål når det gjelder slike grunnleggende spørsmål

I dag har vi selvsagt mange fordeler framfor legevitenenskapens ved starten på det 19^{de} århundre. Vi har mer nøyaktige måleinstrument, satellittdata, internasjonale forskningsnettverk som fører til bedre utveksling av ideer, og vi har datakraft som kan håndtere den økende mengden med data.

Men det er store utfordringer i framtida:

- Planeten vår er en svært komplisert organisme og derfor ikke lett å undersøke. For å nå fra et organ til et annet må det tilbakelegges flere tusener kilometer. Det er også svært vanskelig å følge et bestemt element (f.eks. karbon, nitrogen) i jordas kretsløp. Radioaktive stoffer, som ¹⁴C (en karbonisotop), kan hjelpe oss å indirekte regne ut utvekslingstid og utvekslingsmengder av eksempelvis CO₂ mellom luft og hav. Studier av *flukser* (bevegelse av vann, gasser og næringssalter mellom jordsmonn, hav, planter, dyr, elver, atmosfæren, osv.) er også komplekse og forbundet med relativ stor usikkerhet. En av grunnene er at vi har et avgrensa antall observasjoner.
- Vi har bare ei jord, og den burde vi ikke drive hypotesetesting på, noe som er vanlig ellers i forskningen. Men det er nettopp det vi har gjort gjennom de store utslippene av klimagasser, vi har satt i gang et eksperiment med jordas klima og miljø som i framtida kan være umulig å reversere.

4) For mer informasjon les i den tredje evalueringsrapporten til IPCC på nettstedet www.ipcc.ch; på sidene 10-11 i "Summary for Policymakers" i synteserapporten beskrives ulike mulige utviklingsmønstre (scenarios) i framtida.

□

Systemet som helhet

Dagens forskere er konfrontert med vanskeligheter som ikke tidligere har vært erfart innen vitenskapshistorien. Fram til renessansen kunne de store intellektuelle som Leonardo da Vinci studere alle vitenskaper samtidig; kunst, filosofi, matematikk, biologi fysikk, historie osv. Gjennom de to siste århundrene har kunnskapsmengden vokst, og vitenskapen er blitt mer fokusert i disipliner og i økende grad spesialisert.

Problemet som da oppstår er at ingen forskere alene har en fullstendig oversikt over hele systemet. Forskere blir stadig mer spesialisert og utfordringa blir å sette spesialisert informasjon sammen til en forståelig helhet. I vårt tilfelle dreier det seg om å forstå klima, hvordan komponenter utveksles mellom ulike reservoarer på jorda og hvordan ulike tilbakekoblinger påvirker klimautviklinga. Klimatiske endringer påvirker samspillet mellom samfunnet og jorda, og derfor trenger vi et bedre samarbeid mellom de ulike fagmiljøene innen naturvitenskap og samfunnsfag. Dette er en sann revolusjon, siden det ikke er noen tradisjon for et slikt samarbeid. I framtida vil det derfor bli nødvendig med ei nytenking omkring, og omorganisering av, utdanningstilbudene og forskninga.

Den britiske forskeren James Lovelock tok til seg disse utfordringene og formulerte Gaia-teorien som kort går ut på å betrakte jorda som en slags selvregulerende kjempe-



I forbindelse med forskningsprosjektet LBA Carbonsink plasseres tårn med utstyr for mikrometeorologiske målinger midt i tettste regnskogen i Amazonas, Brasil .

© John Grace, Universitetet i Edinburgh, Storbritannia

organisme hvor naturlovene holder jorda/organismen i balanse og opprettholder liv uansett hvilke endringer som skjer; om jorda kommer ut av balanse så vil den søke tilbake til likevekt igjen. Problemet i dag er at vi graver opp fossilt brensel fra geologiske strukturer; brensel som i følge naturlige prosesser heller skulle vært lagra i millioner av år. Gjennom forbrenning slippes CO₂ raskt og i store mengder ut i jordas atmosfære, og spørsmålet er derfor hva slags likevekt jorda i framtida vil nå?

Kort fortalt; i dag ser vi at menneskeheten skaper store og varige endringer i klima og økosystemer ved bl.a. brenning av fossilt brensel. Dette setter den naturlige balansen, som er sakte etablert over millioner av år, ut av likevekt. Vi kan forutsi noen av konsekvensene av slike endringer, men vi kan ikke si hvor sikkert det er at de vil oppstå eller hvor omfattende de vil bli. Grunner til dette er at vi ikke forstår de naturlige prosessene godt nok og at det er umulig å forutsi menneskelig aktivitet langt fram i tid.



Et tårn med utstyr for mikrometeorologiske målinger, sett fra lufta, Renon/Ritter, Italia.

© Stefano Minerbi, Skogsinstituttet i Syd-Tyrol, Italia



2. Sentrale spørsmål om naturlige prosesser

Hovedmål: å utvikle vår helhetsforståelse for jorda og prosessene der.

I ethvert naturlig system er det alltid handlinger, samhandling og tilbakekoblinger, det er ingen begynnelse og slutt, men heller årsaker og virkninger som er i kontinuerlig samspill med hverandre. Det er ei stor utfordring å forstå et slikt system. Spørsmålene vi stiller er avhengige av flere faktorer og kan derfor formuleres på mange ulike måter, men uansett problemstilling vil de essensielle spørsmålene i hovedsak være disse:

Hvordan vil karbonkretsløpet reagere på det økende CO₂-innholdet i atmosfæren?

Hvordan foregår utvekslinga av karbon mellom ulike reservoarer i kretsløpet (sediment, jordsmonn, planter, hav, osv.)? Hvordan vil disse reservoarene reagere på en økning i CO₂-innholdet i atmosfæren? Hvilken kapasitet har vegetasjonen på land og i havet til å ta opp den økende mengden av CO₂ som slippes ut i atmosfæren? Vil biodiversitet påvirke lagringa av karbon? Hvilken type jord- og skogbruk fremmer lagring av karbon (se avsnittet som omhandler naturlig opptak av karbon, side 17)?

Hvordan reagerer det hydrologiske kretsløpet på en økning i temperaturen?

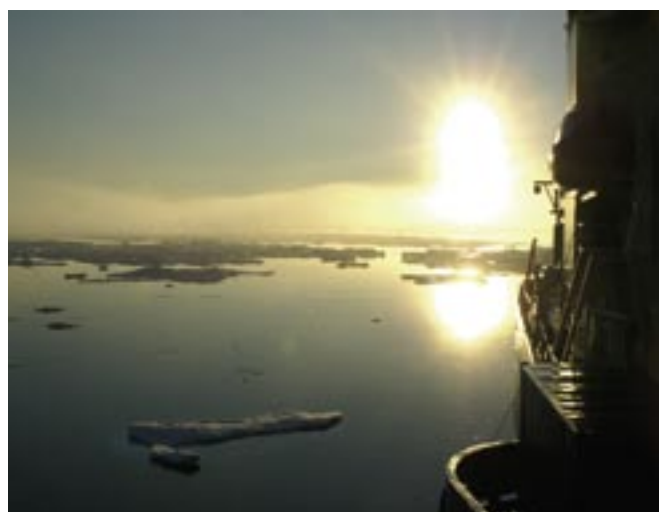
Vanndamp er den drivhusgassen av naturlig opprinnelse som det finnes mest av. Økt fordampning vil gi mer vanndamp i atmosfæren og mer skydannelse. Men vil skyene gi økt nedbør og mindre solskinn slik at drivhuseffekten modereres (lavere temperatur på jorda)? Eller vil skyene fange opp mer av varmestrålinga fra jorda slik at overflata blir varmere og drivhuseffekten økes?

Hvilket samspill vil det være mellom nitrogenkretsløpet og de andre kretsløpene, og hvordan vil dette samspillet reagere på menneskelig aktivitet?

Nitrogen utgjør 78 % av jordas atmosfære og er et grunnleggende element for livet på jorda. Tilgjengeligheten av nitrogen er en av de avgrensende faktorene som kontrollerer planteveksten. Dyrka landområder blir gjødslet med nitrat for å øke avlingene, men hva vil skje når atmosfærens CO₂-innhold øker? Vil plantenes fotosyntese bli mer effektiv, eller vil veksten bli avgrensa av andre faktorer som mindre næringstilgang fra jordsmonnet (lavere pH/surere jordsmonn øker utvaskinga i jordsmonnet)?

Hvordan blir varme transportert i havet, og hvordan vil havstrømmene reagere på den globale oppvarminga?

Havstrømmene er sentrale i å fordele varme fra tropene til polområdene. Hva vil skje med denne varmetransporten når kloden varmes opp, og hva har dette å si for klimaet? Havet regulerer til dels det globale klimaet, men vil det bli irreversible endringer i havet sin rolle som termostat? Er det en risiko for overraskelser knytta til at lite sannsynlige (men alvorlige) hendelser likevel opptrer? Hva vil skje med polområdene?



Midnattssol i Arktis. På tokt over Polhavet med den svenske isbryteren Oden.

© Toste Tanhua – Leibniz-instituttet for marine fag, Universitetet i Kiel, Tyskland



© CarboOcean

Hvordan vil livet i havet utvikle seg i en verden med høye CO₂-konsentrasjoner?

I en verden med økende CO₂-innhold i lufta vil havet absorbere mer og mer CO₂ og dermed bli surere. Vil denne forsureninga forstyrre næringskjeden, og vil viktige arter forsvinne ut av økosystemet? Vil endringer i havets økosystem føre til at opptaket av CO₂ endres?

Hvordan virker klimaendringa på de ulike økosystemene, og hvordan vil disse systemene virke tilbake på klimaet?

Hvordan vil skogsområder, våtmarksområder, jordbruk, prærier osv. på ulike breddegrader reagere på endringer i klima? Vil økningen i atmosfærens CO₂-innhold og temperatur føre til økt fotosyntese og dermed økt lagring av karbon i planter? Hva er konsekvensene av jordbruk og urbanisering, som begge leder til avskoging? Vil en økning i temperaturen smelte permafrosten i polare områder, og vil vi da få store utslipp av klimagassen metan (lagra i permafrosten) som igjen vil forsterke temperaturøkningen?



På Plateau Rosa i Italia står en av de høyest plasserte atmosfæriske målestasjoner i Aerocarb-prosjektet.

© Francesco Apadula, CESI, Milano, Italia

Hva vil de lokale og regionale effektene bli?

Hvordan vil en økning i temperatur, nedbør osv. variere regionalt og lokalt på kloden vår? Vil Alpene bli snøfrie? Vil middelhavsområdet bli en ørken? Hva vil skje med ferskvannsforsyninga? Vil noen områder oppleve hyppigere flommer pga. økt nedbør og smelting av snø? Hvilke konsekvenser vil slike endringer få for jordbruket, matforsyninga og det lokale miljøet?

Vil ekstremvær bli mer vanlig, og hvor på kloden vil det i så fall bli et større problem?

Vil stormer og orkaner opptre sterkere og oftere enn tidligere? Vil ekstrem tørke og flom komme hyppigere, og hvilke regioner vil i så fall bli ramma?

Per i dag kjenner vi deler av svarene på de fleste av disse spørsmålene, men svarene er ofte for generelle og upresise til å kunne brukes. Vi er også klar over at vi trolig aldri vil få fullstendige svar på alle spørsmålene. I dette forskningsfeltet vil det alltid være ting vi ikke kan svare på. Derfor handler det mer om å *redusere usikkerhetene* i vår forståelse av hvordan jorda vil reagere på CO₂-økningen i atmosfæren, hvor sensitive de naturlige variasjonene i klima er for endringer og hvordan vi kan varsle konsekvensene av ei klimaendring.



3. Naturlig opptak av karbon

Bare omkring 55 % av det CO_2 som stammer fra bruk av fossilt brensel blir værende i atmosfæren. De resterende 45 % blir tatt opp i havet og i biosfæren på land, og disse opptaksområdene kalles derfor "naturlige karbonsluk". Disse naturlige slukene demper de skadelige bivirkningene menneskelig aktivitet har på atmosfæren.

Følgende spørsmål må likevel stilles:

- Hvor lenge kan havet og vegetasjon på land forsette å ta opp store deler av det CO_2 som i dag slippes ut i atmosfæren?
- Hva vil skje med det absorberte CO_2 , og hvilke konsekvenser vil den økte CO_2 -mengden få for havet og vegetasjonen på land?

Vår forståelse av naturlige karbonsluk er generelt sett god, men der er fremdeles stor usikkerhet knytta til *hvor store de er, mellomårlig variasjon, følsomhet* og hvordan *slukene vil endres i framtida*.

Kvantifisering og presisjon

I dag slippes det årlig ut ca. 6,3 Gt (gigatonn = 10^9 tonn = 10^{15} gram) karbon fra bruk av fossilt brensel, hvor til sammen ca. $2,8 \pm 0,5$ Gt blir tatt opp av havet og vegetasjonen på land. Dette utgjør mellom 36 og 53 % av karbonutslippet, eller i middel 44,5 %. Usikkerheten i denne verdien er på $\pm 8,5$ %.

Situasjonen er noe verre når man vil bestemme karbonopptaket i de to naturlige slukene (land og hav) separat:

- Havet tar opp ca. $1,9 \pm 0,7$ Gt⁵, altså mellom 19 og 41 % av utslippene (usikkerheten blir ± 11 %).
- Vegetasjon på land tar opp ca. $1,2 \pm 0,8$ Gt⁵, altså mellom 6 og 32 % av utslippene (usikkerheten er ± 13 %).

Mye arbeid legges ned i å redusere disse usikkerhetene. Det er viktig å merke seg at deler av de høye usikkerhetene skyldes at systemene naturlig varierer fra år til år. Vi vil redusere denne usikkerheten når vi klarere kan skille de naturlige variasjonene fra de endringene som skyldes menneskelig påvirkning.

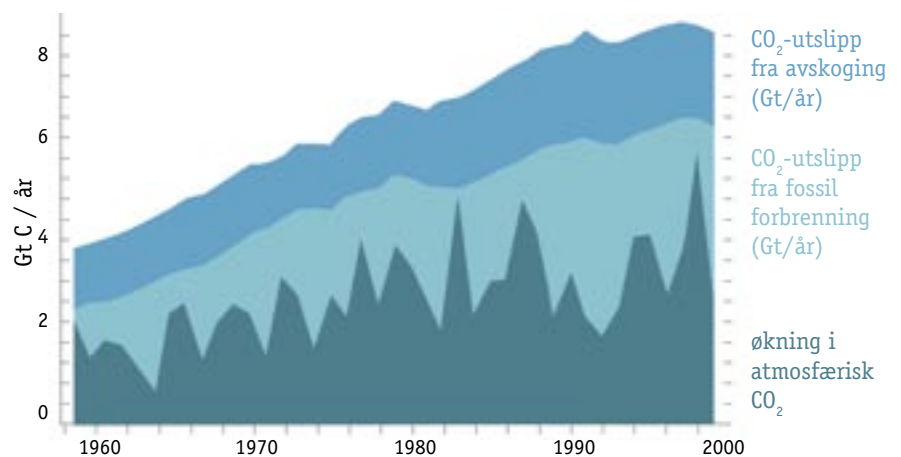
Mellomårlige variasjoner

Tallene som er nevnt over er midla verdier. I virkeligheten vil de naturlige slukene variere fra år til år.

Figuren under viser at CO_2 -utslipp fra avskoging og fossil forbrenning (øverste to linjer) øker jevnt og trutt ettersom årene går, mens økningen av atmosfærisk CO_2 (mengden CO_2 som ikke blir tatt opp i hav eller land men blir værende i atmosfæren; nederste linje) varierer mye fra år til år. Noe av denne variasjonen kan tilskrives naturlige fenomen som El Niño- og El Niña-hendelser, men utover dette vet vi lite om årsakene. Hvor stor er variasjonen i de ulike naturlige opptaksområdene og hvordan vil opptaket i framtida bli når atmosfærens CO_2 -innhold blir mye høyere?

Opptaksområder på land

Karbonslukene på land (terrestriske) avhenger ikke bare av type vegetasjon og fysiske parametre som vær, døgn- og sesongvariasjoner osv., men også av hvordan jorda er blitt brukt opp gjennom tida. To prærrier kan se like ut, men ha en svært ulik karbonbalanse. Den ene prærrien kan eksempelvis ha vært jordbruksområde i mange hundre år, mens den andre kan ha vært skog til for bare noen tiår siden. Det europeiske kontinentet er sterkt prega av menneskers aktivitet gjennom tusenvis av år. For å kunne rekonstruere karbonflukser med høyest mulig presisjon må dette tas hensyn til.



CO_2 -utslipp fra avskoging (Gt/år); CO_2 -utslipp fra fossil forbrenning (Gt/år); økning i atmosfærisk CO_2 .

© Andrew Manning, Universitetet i East Anglia, Norwich, Storbritania

5) Summen av disse tallene blir ikke helt det samme som det kombinerte hav/land-opptaket på 2,8 Gt karbon. Dette er fordi de er regna ut fra ulike datasett. Det kombinerte hav/land-opptaket er basert på endringer i atmosfærisk CO_2 -konsentrasjon (CO_2 -utslipp fra industrien er tatt hensyn til). De separate karbonopptakene i hav og land kan ikke finnes direkte, men de kan indirekte bestemmes ved at man f.eks. går veien om ulike sporstoff (tracers) som ^{14}C , ^{13}C osv. Ulike målinger gir ulike svar og ulike nøyaktigheter. Keeling & Garcia (2002).

Sakte inn i og raskt ut av biosfæren

Når CO₂ fra atmosfæren blir tatt opp av og lagra i vegetasjon gjennom fotosyntesen er dette et resultat av en lang og kompleks prosess (sakte inn). I kontrast til dette er forbrenning og utslipp av CO₂ til atmosfæren en rask prosess (raskt ut).

Biosfæren på land inneholder to til fem ganger så mye karbon som atmosfæren, og derfor kan endringer i karbonlagrene i vegetasjonen (f.eks. endringer i vegetasjonsdekke) få store konsekvenser for CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. Mesteparten av fotosyntetisk fiksert karbon er lagra relativt kort tid i blader, treverk og frukt før det resirkuleres til atmosfæren gjennom ånding, bakteriell nedbrytning eller forbrenning. Bare en liten del av det fikserte karbonet blir lagra over lengre tid i form av humus. Vi vet lite om hva som bestemmer denne fordelinga mellom raskt resirkulert materiale og mer stabile former som lagres i jordsmonnet.

Sensitiviteten til karbonsluket på land

Nyere studier der man aktivt har prøvd å lagre mer karbon ved å plante ny skog viser at etter ca. 200 år vil det være etablert en ny balanse mellom vekst og felling, og etter dette vil det ikke være noe nettoopptak av karbon. Det er bare havet som vil ha kapasitet til å ta opp karbon i mange hundre år framover i tid. Noen økosystemer på land har til og med potensial til å bli naturlige karbonkilder som slipper ut store mengder CO₂ til atmosfæren. Dette vil nøytralisere effekten av ny skogplanting, og dermed er vi like langt når det gjelder å dempe de menneskeskapte CO₂-utslippene.

Dette er et alarmerende framtidsbilde og vi håper at virkeligheten ikke blir fullt så skremmende. Men uansett haster det med å oppnå en bedre forståelse for hvordan de naturlige opptaksområdene virker og hvordan de vil utvikle seg over tid.

Forskningsprogrammene CarboEurope og CarboOcean, som nettopp fokuserer på karbonsluk på landjorda og i havet, vil bidra til å tette hullene i kunnskapen vår.



En russisk skogforskningsstasjon, Fyodorovskoye, Sibir. Å ta luftprøver i en avsidesliggende skog for deretter å få de analysert i et vesteuropeisk laboratorium er en logistisk utfordring.

© Rolf Neubert, Senter for isotopforskning, Universitetet i Groningen, Nederland



Oppstart av CO₂-målinger på lasteskipet MS Falstaff.

© CarboOcean



Vitenskapelig undersøkelse - sondering av virkeligheten



© Axel Don, Max-Planck-instituttet for biogeokjemi, Jena, Tyskland

Vanligvis vil det ta flere år og mye tålmodighet før et spørsmål kan besvares. I noen tilfeller finner vi ikke svar i det hele tatt eller bare delvise svar som ikke ble slik vi hadde tenkt. Noen ganger vil en ny konklusjon så tvil om tidligere veletablerte oppfatninger. Det hender også at vi snubler over et svar ved en tilfeldighet og uten at spørsmålet er stilt!

I de fleste tilfeller vil ikke konklusjonene våre gi et klart svar på det opprinnelige spørsmålet, men heller føre til nye spørsmål og hypoteser, og da må vi starte på nytt med målinger, analyser osv.

Når vi står overfor et overraskende fenomen, som f.eks. global oppvarming, må vi starte med å stille noen *spørsmål* tilsvarende dem som er oppsummert på de foregående sidene.

Neste steg er å lage ulike *hypoteser* (vi prøver å identifisere de mistenkte). Vi kan f.eks. forestille oss at brenning av fossilt brensel er ansvarlig for den observerte økningen av atmosfærisk CO₂.

Deretter starter vi undersøkelsene og leter etter ulike spor som kan bekrefte eller avkrefte våre hypoteser. Slike spor kan være sporstoffer, signaler, fotavtrykk. Eksperimenter består av å samle inn prøver, måle disse og utføre analyser i laboratoriet. Dette involverer gjerne noen uvanlige aktiviteter som å oppholde seg en hel ettermiddag i et tårn høyt over tretoppene, sette et termometer ned i jorda, samle luftprøver fra ei eng hele natta igjennom, la et fly kjøre opp og ned i luften uten å lande, grave et hull på toppen av et fjell eller i havbunnen, osv.

Så kryssjekkes informasjonen vi har samlet inn helt til vi finner et knippe med antagelser som til sammen er tilstrekkelig til å trekke noen konklusjoner. Hvis vi har store dataserier kan vi bruke statistiske analyser for å avdekke trender i dataene. Andre ganger kan uforklarlige ekstremverdier i dataene føre forskningen inn på nye spor der nye hypoteser blir utvikla osv.

4. Hvordan griper vi an disse problemstillingene?

Observasjon - planeten plasseres under medisinsk overvåking

Målet er klart; vi ønsker å samle inn så mye data som mulig, av flest mulige parametere, så ofte som mulig og på så mange steder som mulig for å skaffe til veie et mest mulig nøyaktig og riktig bilde av klimasituasjonen på jorda. Vi vil med andre ord gi svar på spørsmålet: "hva skjer egentlig, og hvor og når skjer det?"

Observasjoner er svært mangfoldige og kan være:

- lagerstørrelse (hvor mye karbon som finnes i f.eks. vegetasjon og jordsmonn)
- flukser (for å finne mengden CO₂ som blir avgitt eller absorbert i f.eks. en skog, et landbruksområde, en prairie, fra en fytoplanktonoppblomstring, osv.)
- konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren
- havstrømmer
- meteorologiske parametere
- satellittdata, som gir oss mye informasjon (f.eks. bakke- og lufttemperatur, hvor mye av jorda som er dekket av vegetasjon, osv.)

Dette mangfoldige observasjonsarbeidet kan sammenlignes med den overvåkinga som er nødvendig for å stille en medisinsk diagnose; vi setter jorda under overvåking for å måle hvordan alle parametere vi er i stand til å måle endres. Vi prøver å øke frekvensen og diversiteten av målepunkt for å få et enda klarere bilde av situasjonen, og for å utvikle nye måleinstrument som er mer nøyaktige og pålitelige.

I tillegg til å observere i nåtida studerer vi også fortida nøye. Jorda har mange gode arkivsystem, der man kan finne nøyaktige spor av fortidas klima helt tilbake til for hundrevis av millioner år siden. Et eksempel på dette er luftprøver som er blitt fanget i isbreer i polare områder og som brukes til å rekonstruere jordas klima i tidligere tider.



Anders Olsson bruker gasskromatografi til å måle freoner i sjøvann om bord på F/F G.O.Sars.

© Yoshie Kasajima, Bjerknessenter for klimaforskning, Bergen

Eksperiment - forståelse av mekanismene som kontrollerer klimaet på jorda

Observasjoner er vel og bra, men det stadig tilbakevendende spørsmålet er: "hvorfor og hvordan skjer det?"

Dette er forskningens kjerne, det er her vi prøver å flytte grensene for hva vi vet, og det er her vi finner alle de sentrale spørsmålene som til sammen danner et enormt puslespill. Hver og en forsker søker etter å forstå enkelte biter slik at kunnskapen etter hvert kan settes sammen til et komplett bilde.

Som et eksempel tar vi for oss en skog som man antar er et sluk for karbon. Atmosfæriske målinger har vist at skogen tar opp karbon fra atmosfæren, men samtidig måles bare en liten økning i biomasse (vegetasjon). Det betyr at trærne bare lagrer en liten del av den mengden karbon som skogen tar opp fra atmosfæren, men hva skjer med resten? Hva er det egentlig som skjer mellom atmosfæren og trærne, mellom trærne og jorda, mellom jorda, grunnfjellet og grunnvannet og mellom planter og dyr? Hvorfor skjer dette og hvordan?

Det er bare en måte å gå fram på for å kunne svare på denne typen spørsmål, og det er å lage hypoteser og prøve å teste disse gjennom eksperimenter. Man må observere hva som skjer, ta prøver, sammenligne resultater og sette spørsmålsteget ved det som allerede er kjent; med andre ord å *undersøke*.



Modellering - tidsreiser i en mega-simulator

Jorda er et komplekst system, der reaksjonstidene er lange i forhold til et menneskeliv og hvor det ikke lar seg gjøre å isolere deler av systemet for så å utsette det for laboratorieforsøk. Derfor er det vanskelig å sjekke i selve naturen om hypotesen vi har laga om klimasystemet er sann eller ikke, og det er enda vanskeligere å drive varsling av framtida.

En løsning er å bruke superdatamaskiner til å lage virtuelle (liksom-virkelige) jordkloder og dette kalles å modellere. En modell er et slags dataspill der vi kan endre enkelte av parametrene for å se hva som skjer.

Når vi simulerer klima deler vi jorda opp i et rutenett. Hver rute inneholder mange ulike parametere (temperatur, fuktighet, CO₂-nivå, vindretning, vegetasjon, osv.), og rutene er kobla sammen ved hjelp av matematiske ligninger som beskriver hvordan parametrene vekselvirker i forhold til hverandre. Deretter bestemmes et tidsintervall (timer, dager, uker, osv.) som forteller hvor ofte modellen skal beregne nye parametere basert på de oppgitte matematiske ligningene. På denne måten får vi et bilde av hvordan ulike prosesser på jorda endres over tid.

Slik er det i løpet av et par dager mulig å regne ut hvordan klimaet har endra seg de siste 1000 år. Simuleringene (modellkjøringene) kan deretter sammenlignes med virkeligheten ved å bruke klimaarkiver basert på borekjerner (fra marine sedimenter eller svært gammel is). Hvis det er ulikheter mellom simuleringene og virkeligheten må modellen justeres. Jo mer presist modellen klarer å reprodusere fortida og dagens situasjon, jo bedre antar vi at modellen kan varsle framtida.

Modeller brukes som et verktøy for varsling, og et av de vanligste bruksområdene er værvarsling. Værvarsling er også en god test på hvilke avgrensinger som ligger i modellene; værvarslere er ikke alltid korrekte og jo flere dager modellene prøver å varsle for, jo mer upresise blir varslene. Grunnen til dette er at de matematiske ligningene bare er en tilnærma beskrivelse av virkeligheten. Jo mindre ruter og tidsintervall vi deler verden opp i og jo flere og mer nøyaktige data og ligninger vi bruker i modellen (dvs. høyere oppløsning), jo klarere blir bildet av verden og jo nærmere virkeligheten klarer vi å varsle.

Meteorologenes varslere slår for det meste til, men de store klimamodellene er ennå langt fra perfekte. Arbeidet med å bedre disse modellene konsentreres spesielt om to områder:

- **Integrasjon av del-modeller inn i en unik global modell;** først lages separate modeller av vegetasjon, havet, atmosfæren osv, og deretter kobler man disse del-modellene sammen til en global modell som gjengir de ulike prosessene på jorda. Et av de største hindrene for å få dette til, er at enkelte av komponentene er så lite kjent (f.eks. jordsmonn) at prosessene der er vanskelige å reprodusere. Dermed er det vanskelig å få god nok kvalitet på del-modellen som jordsmonnet inngår i.
- **Redusering av skalaen;** vi er i stand til å simulere det globale klimaet ganske godt, men på regionalt nivå (f.eks. det europeiske kontinentet) gjør ikke modellene en særlig god jobb. Dette er fordi vi mangler detaljert nok informasjon om det lokale klimaet. Problemet gjelder både datakapasitet (jo mer komplette og nøyaktige modellene er jo mer regnekraft trengs) og vår forståelse av de ulike ukjente komponentene.

Alt henger sammen

Det er tette band mellom de tre grunnpilarene i forskning; observasjoner, eksperimenter og modellering. Modellene blir fôra med måledata og de matematiske ligningene i modellene blir justert etter hva som kommer ut fra eksperimentene. Når modellene gir et resultat som ligger langt fra det vi observerer, betyr det at vi enten ikke kjenner de underliggende prosessene godt nok, eller at vi har oppdaga nye prosesser som vi må fordype oss i. Slik går mølla med observasjoner, eksperimenter og modellering rundt og rundt.



Mengden biomasse lagret i grunnen er lite kjent. Forskere fra JRC arbeider med å grave fram et komplett rotsystem fra en poppel i Parco Ticino i Italia.



MS Atlantic Companion er et av lasteskipa der det er installert instrumenter for måling av CO₂.

© CarboOcean

5. Hva gjør vi for å løse problemet?

Selv om vi står overfor enorme vitenskapelige utfordringer kan vi ikke vente til all usikkerhet er eliminert før myndigheter og resten av samfunnet blir varslet.

Helt siden IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ble danna i 1988 har dette forumet jevnlig evaluert nye og oppdaterte forskningsresultater innafor mange ulike felt. IPCC har allerede publisert fire rapporter basert på forskning fra flere tusen forskere, og pr i dag er det disse rapportene som framstår med størst autoritet på området. Rapportene kom ut i 1990, 1995, 2001 og i 2007.

IPCC-rapportene ligger i grenselandet mellom vitenskap og politikk og er det viktigste verktøyet for å definere hvilken politikk som skal føres. På FNs verdenskonferanse i Rio (World Summit in Rio de Janeiro) i 1992 ble FNs rammekonvensjon om klimaendringer (Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) etablert, basert på den første IPCC-rapporten. Målet er "å oppnå (...) en stabilisering av klimagasskonsentrasjonen i atmosfæren på et nivå som ikke gir farlige antropogene forstyrrelser av klimasystemet".

6) Gapet er mye mindre for de gamle EU-landene som helhet; utslippene i 2002 overgikk de i 1990 med bare 1,4 %, en vekst som i hovedsak kan tilskrives økt transport på veiene.

Kyotoprotokollen - har den betydning eller ikke?

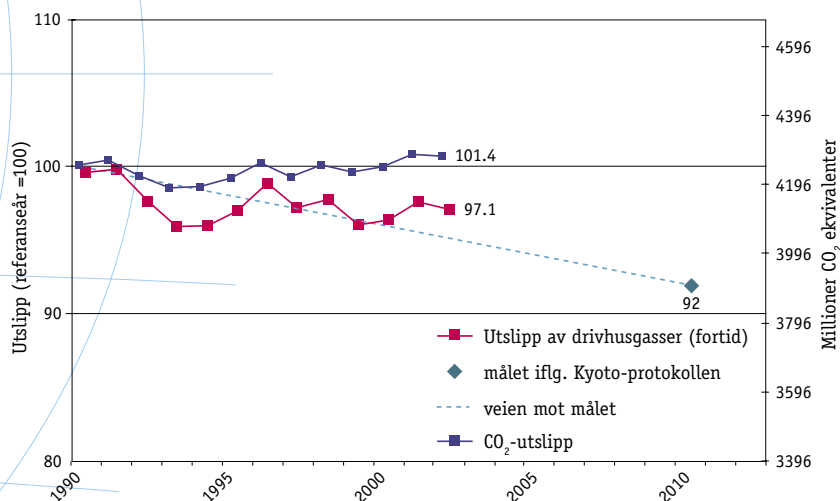
Kyotoprotokollen ble etablert av UNFCCC i 1997 og binder i-land til å redusere utslippene av klimagasser med minst 5 % sammenligna med 1990-nivået. Denne reduksjonen skal finne sted i løpet av årene 2008 til 2012.

Dette målet kan virke både utfordrende og ubetydelig.

Ubetydelig fordi en 5 % reduksjon, fra et vitenskapelig ståsted, ikke vil føre til endringer i de trendene vi ser.

Utfordrende fordi

- Målet om reduksjon i utslippene bare er en begynnelse på hva vi må gjøre i framtida. Kyoto-protokollen er et rammeverk i endring; forpliktende avtaler om reduksjon i klimagassutslipp blir gjort for 5-årsperioder. I neste periode kan det internasjonale samfunnet, hvis det vil, sette reduksjonskrav som er mer bindende enn i forrige periode.
- En 5 % reduksjon er relatert til 1990-nivået, men siden 1990 og fram til i dag har utslippene bare fortsatt å øke. Derfor er den reelle reduksjonen hvert land må gjennomføre mye større. Et åpenbart spørsmål er også om de enkelte land er i stand til å gjennomføre det de har lovd. Et eksempel på dette er Spania, som i 2002 slapp ut 39 % mer drivhusgasser enn i 1990⁶.



Den totale mengden av drivhusgasser som blir sluppet ut av de opprinnelige EU-landene sammenligna med målene i Kyotoprotokollen. Den stipla linja viser hvordan klimagassutslippet bør reduseres år for år for å nå målet i Kyotoprotokollen i 2010.

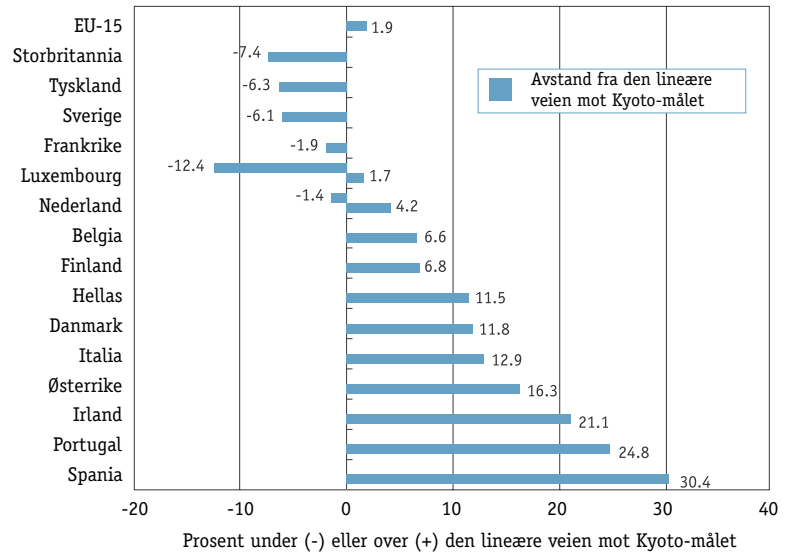
© Det europeiske miljøbyrået, 2004



- For første gang i historien har man kommet fram til en internasjonal miljøavtale som er juridisk forpliktende for partene som skriver under, og der man kan ta i bruk sanksjoner hvis partene ikke overholder avtalen.

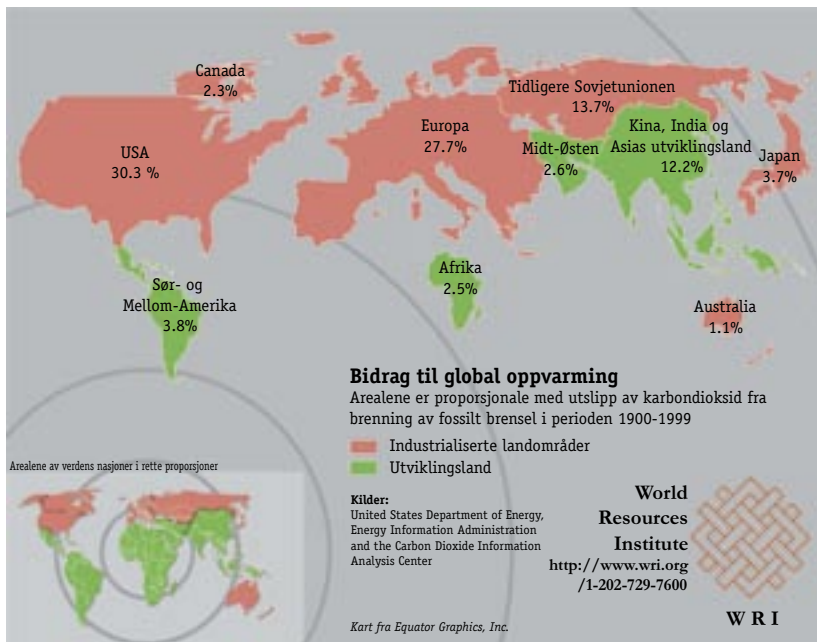
Det tok nesten åtte år fra protokollen ble underskrevet (1997) til den kunne tre i kraft, siden ei ratifiseringa krevde at minst 55 land som til sammen sto for 55 % av det totale CO₂-utslippet skrev under; dette skjedde 16. februar 2005. Det var på hengende håret at avtalen trådte i kraft pga. motstand fra Australia og ikke minst USA, som alene står for det største CO₂-utslippet.

Norge ratifiserte Kyotoprotokollen i mai 2002. Det gjorde også de 15 landene som var medlemmer i EU i 1997 (EU-15) og som står for 24,2 % av alle CO₂-utslipp. EU-15-landene ble enige om en forpliktende reduksjon i CO₂-utslippene på 8 % i gjennomsnitt sammenlignet med 1990-nivået. Noen land, som Tyskland og Danmark, strekker seg lenger. De laga i 1998 unilaterale avtaler om å redusere utslippene med 21 %. Hvis man regner pr innbygger slipper Norge ut omtrent like mye CO₂ som gjennomsnittet av de vesteuropeiske land.



Figuren representerer situasjonen i 2002. De liggende stolpene viser avstanden mellom de reelle klimagassutslippene fra hvert av EU-15-landene og hvilke utslipp de ville ha hatt om de hadde fulgt en lineær reduksjon i utslippene mellom 1990 og 2010. Avstanden er gitt i prosent.

© Det europeiske miljøbyrået, 2004



Bidrag til global oppvarming i årene 1900-1999. Størrelsen på landene er proporsjonal med CO₂-utslippet deres.

© World Resource Institute

Å være eller ikke være en del av kretsløpet

Alle former for forbrenning slipper ut CO₂, men ikke alle CO₂-utslipp vil øke mengden av CO₂ som er i karbonkretsløpet: det hele avhenger av hva man brenner!

- Karbon i brenseltyper som stammer fra planter (f.eks. treverk) er allerede en del av kretsløpet. Dette karbonet var i utgangspunktet i atmosfæren, det ble tatt opp av plantene gjennom fotosyntesen og vil før eller seinere ende opp i atmosfæren når planten (brent eller ikke) dør. Denne type utslipp kalles *nøytralt* så sant det blir planta et nytt tre for hvert tre som brennes eller hugges ned.
- På andre sida er ikke brensel med fossil opprinnelse (kull, olje, og naturgass) en del av det naturlige kretsløpet. Denne typen karbon er en del av et stabilt karbonreservoar som er samla opp over millioner av år. Dette karbonet representerer en formidabel energikilde, men til en like formidabel pris. Når fossilt brensel brukes slippes det ut CO₂ som ikke har vært i lufta på flere millioner år. Dette representerer en forstyrrelse av det naturlige kretsløpet.

Hvis man bruker plantebrensel (biogass, ved, osv.) i stedet for fossilt brensel vil ikke det naturlige kretsløpet bli forstyrret og CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren blir ikke endra (dette gjelder bare viss dagens skogmasse forblir uendra). Samme logikk kan brukes dersom man ved husbygging erstatter sement og mursteiner (som koster mye energi å lage) med treverk.

Hvordan kan vi redusere utslippene?

Det er det sentrale spørsmålet vi er stilt overfor i forbindelse med klimaendringene.

Den mest åpenbare måten å redusere utslippene er å slippe ut mindre CO₂, dvs. å bruke mindre og renere energi enn det vi gjør i dag. Dette kan gjøres ved økt bruk av offentlig transport, sykkel, fornybare energikilder, gjenbruk, osv.

En annen måte er å utvikle nye energikilder (biogass, brenselceller, elektrisitet fra kjernekraft, osv.) og teknologi som gir høyere energieffektivitet, og som reduserer, eller til og med eliminerer, utslippene av drivhusgasser.

I følge Kyotoprotokollen kan alle midler tas i bruk for å redusere utslippene av klimagasser, og naturlig karbondeponering gjennom å plante ny skog er også en farbar vei. Dette er en løsning som kan gi oss litt ekstra tid, men før nye teknologiske løsninger kan tas i bruk eller vi har endra måten vi lever på, vil ikke utslippene reduseres i betydelig grad.

Sett fra en vitenskapelig synsvinkel er det ikke sikkert at et skogplantingsprosjekt vil fungere. Vi vet at voksne trær lagrer CO₂, men vi vet ikke nok om hvordan dette karbonlageret oppfører seg over tid. Hvordan utvikles plantens absorberingsevne over 10, 100, eller 1000 år? Hvor lenge vil karbon lagra i form av skog være lagra? Hva slags skog og hvilke metoder av skogsforvaltning er best egna for karbondeponering?

Globale og etiske spørsmål om utviklingsmodellene våre

Fra en filosofisk synsvinkel kan vi spørre; *"har menneskeheten virkelig tatt inn over seg farene som truer i framtida?"*

Kyotoprotokollen i seg selv kan illustrere dette; ikke bare er de første forpliktende avtalene altfor forsiktige til å reversere den økende klimagasskonsentrasjonen i atmosfæren, men syv år etter at disse avtalene ble inngått er det klart at mange land ikke klarer å holde det de har lovd.

Ting har ikke kommet lenger på individnivå. I industrialiserte land (som står for mesteparten av utslippene) utgjør de som har endra levemåten for å redusere eget utslipp fremdeles bare en liten minoritet.

Ei økt *bevisstgjøring* om problemene er riktignok drevet fram av media og miljøbevegelsen, men i realiteten har *ennå ikke ord blitt til aksjon* verken på individ- eller samfunnsnivå.



Det er tre avgjørende grunner til dette:

- 1) Globale endringer i klima og miljø er usynlige; de har ingen lukt og kan ikke, på en kort tidsskala, føles på kroppen. Videre synes man ofte at siden problemet er globalt vil det ikke hjelpe å gjøre noe på individnivå.
- 2) Konsekvensene av slike endringer er for usikre. Hvordan kan vi gjøre noe for å sikre oss mot morgendagens problemer når vi ikke en gang vet hva disse problemene kommer til å være? Her kommer to motsatte syn for en dag (slike motsetninger kjenner vi også fra f.eks. genteknologi, dyrefor, kjernekraft, osv.):
 - noen mener at så lenge vi ikke har klare bevis på hvilke problemer som kan oppstå pga. endringer i klima og miljø, og så lenge endringer som må iverksettes har så store kostnader, kan vi fortsette å bruke fossilt brensel som før.
 - andre tenker at følgene som kan oppstå av endringer i klima og miljø er så alvorlige og irreversible at vi må stoppe så snart som mulig, fordi det ikke finnes bevis for at eksperimentet vårt er risikofritt; disse støtter det såkalte "føre var-prinsippet", som Kyotoprotokollen baserer seg på.
- 3) I samfunnet vårt råder det sterke krefter som er imot endringer (interessegrupper for industrien, tregghet i befolkningen, osv.). Dette er uttrykk for den permanente motsetninga mellom fellesskapets og individets interesser.

Til sjuende og sist fører utfordringene med globale klima- og miljøendringer oss tilbake til fattigdomsspørsmålet og den store forskjellen mellom land i sør og i nord.

- globale endringer i klima og miljø er forårsaka av en liten del av verdens befolkning (den industrialiserte verden) mens alle blir påvirket av konsekvensene. Noen ser dette som et miljø-angrep fra i-landenes side mot resten av kloden.
- fattige og vanskeligstilte i verden vil bli hardest rammet av konsekvensene av en global klimaendring, siden deres muligheter for tilpassing er avgrensa.

Alt i alt dreier det seg om å balansere ulike behov i samfunnet (f.eks. energi og mobilitet mot å ta vare på ressursene) og ulike interesser (dagens økonomiske system, økosystemer og biodiversitet, framtidige generasjoner, i-land og u-land, rike og fattige osv.). Disse er i sterk ubalanse fordi dagens oppfatning om stadig vekst ikke er knyttet til bærekraft. En videre diskusjon om dette vanskelige temaet krever etiske kriterier som er uavhengig av faktakunnskap.

Utfordringene med globale klima- og miljøendringer tvinger oss til å sette spørsmålsteget ved vårt forhold til naturen, ved likevekter, ved deling av ressurser og rikdom og ved oppfatninga om stadig vekst. Utvikling vil mer enn noen sinne bety at nye allianser må bygges på globalt nivå i motsetning til å tviholde på interesser til enkelte grupperinger, land, eller grupper av land. Vil vi sammen være i stand til å sette i verk løsninger som gjør at vi kan tilpasse oss de endringene vi allerede har forårsaka, og kan utviklinga forsette uten at likevekta til systemet forskyves enda mer?



Fotspor fra isbjørn - på tokt over Polhavet med den svenske isbryteren Oden.

© Toste Tanhua – Leibniz-instituttet for marine fag, Universitetet i Kiel, Tyskland

Karbonbalansen på det europeiske kontinentet – forståelse og kvantifisering

Hvilken rolle spiller det europeiske kontinentet i det globale karbonkretsløpet?

Eller mer presist; hvordan er karbonbalansen på det europeiske kontinentet? Hvor mye CO₂ slippes ut og hvor mye CO₂ absorberes? Hvordan kan vi lage sikrere estimater for denne balansen både lokalt, regionalt og kontinentalt? Hvilke mekanismer kontrollerer utvekslinga av CO₂ i biosfæren og hvordan blir de påvirket av endringer i bruk av land, forvaltning og klima? Er det målbart i atmosfæren at Europa har gjort forsøk på å redusere CO₂-utslippene?

Disse spørsmålene er viktige både vitenskapelig og politisk, og siden januar i 2004 har CarboEurope engasjert hundrevis av europeiske forskere for å finne svar. Forskningsprogrammet CarboEurope er et gigantisk initiativ for å øke forståelsen av karbonkretsløpet. I dette arbeidet brukes det fluksmåletårn, flygende laboratorier, hyppige observasjoner og en ny generasjon beregningsmodeller. Programmet har et budsjett på mer enn 30 millioner Euro (ca. 240 millioner norske kroner), det skal gå over en periode på fem år og 90 institusjoner fra 17 land er involvert.



Stasjon for atmosfæriske målinger, Lütjeward, Nederland.

© Rolf Neubert, Senter for isotopforskning, Universitetet i Groningen, Nederland

1. Hva er målsettinga?

Hvor stor er karbonutvekslinga på det europeiske kontinentet?

Hvordan transporteres karbon mellom de mange naturlige og menneskeskaptene systemene på det europeiske kontinentet? Hvordan fordeles karbon over dette kontinentet? Hvordan endres karbonbalansen over tid? Hvor er lagrene av karbon og hvordan endres de?

Europa er langt fra å være en homogen overflate. Bosettinger er fordelt uregelmessig og kontinentet kan deles opp i mange ulike klimatiske og geografiske områder. Kilder og sluk for CO₂ er spredd utover som en mosaikk, og fluksene varierer kontinuerlig med årstid, meteorologiske betingelser, bruk av land, forvaltning, osv. Vi ønsker å bestemme kilder og sluk mer nøyaktig enn tidligere, og hvordan disse utvikles over tid.

Mot en bedre forståelse av karbonutvekslinga

Hvilke mekanismer kontrollerer karbonkretsløpet i europeiske økosystemer? Hvordan vil menneskelig aktivitet påvirke disse mekanismene og dermed også den europeiske karbonbalansen? Klarer vi f.eks. å observere økningen i skogvekst som skyldes en økning i atmosfærisk CO₂?

CarboEurope ønsker å svare på disse spørsmålene, og svarene skal gis for hvert av feltene; vegetasjon (skoger, enger, våtmarker og jordbruksland), jordsmonn, atmosfære osv. på tre ulike nivåer; lokalt, regionalt og kontinentalt. Spesielt vil vi prøve å forstå:

- hvordan CO₂-flukser fordeles mellom de ulike måtene karbon blir omsatt på i biosfæren; *celleånding* (når organisk materiale brytes ned, ved innhøsting og branner), *assimilering* av karbon i planter og *brenning* av fossilt brensel.
- hvordan denne fordelinga utvikles over tid og rom og i forhold til menneskelig aktivitet.

Forståelse går utover det å bare beskrive, det betyr å avdekke økologiske forhold og matematiske lover bak alle disse mekanismene.



Tårn for mikrometeorologiske målinger, Puechabon, Frankrike.

© Jean-Marc Ourcival, CEFE, Montpellier, Frankrike

Måleinstrumenter trengs for å oppfylle forpliktelsene i Kyotoprotokollen

I Kyotoavtalen har Europa forpliktet seg til å redusere CO₂-utslippene, og for å oppfylle dette må politiske avgjørelser tas f.eks. i forhold til offentlig transport, rensing av industriutslipp, fornybare energikilder, omregulering av land, osv. Spørsmålet er om vi er i stand til å måle en konkret nedgang i atmosfærens CO₂-innhold som et resultat av de ulike politiske tiltakene. For å klare dette må vi både ha gode måleinstrumenter og et godt observasjonssystem. Her vil CarboEurope bidra med et system av instrumenter som skal måle hvordan karbonlagre og -flukser endres, og slik kan man verifisere om forpliktelsene i Kyoto-protokollen er oppfylt.

2. Hva baserer vi oss på?

CarboEurope er en fortsettelse av en gruppe europeiske prosjekter som siden 1996 har forsket på ulike aspekter ved karbonkretsløpet. Det var i disse tidlige prosjektene man utvikla ideen om et nettverk av målepunkt, noe dagens forskning også baserer seg på. Slike nettverk krevde at man også hadde egne måleinstrumenter tilgjengelig og dermed ble tårn for målinger av bl.a. karbonfluksen utvikla.

Flukstårnene måler kontinuerlig karbonfluksen (tatt opp i eller sluppet ut fra et måleområde) som en funksjon av tid på dagen, værforhold, årstid, osv.

Ved hjelp av dette har vi nylig oppdaga følgende: skogene og prærien på det europeiske kontinentet tar opp store mengder CO₂, hele 7 til 11 % av det totale europeiske CO₂-utslippet fra bruk av fossilt brensel. Denne viktige informasjonen fører oss tilbake til et av de store uløste spørsmålene; hva skjer med karbonet som blir tatt opp av slike naturlige karbonsluk? Blir det lagra for godt eller bare midlertidig? Hvor sårbare er slike naturlige sluk for klimaendringer?



SkyArrow, verdens minste sertifiserte forskningsfly, måler CO₂-flukser og vanndamp.

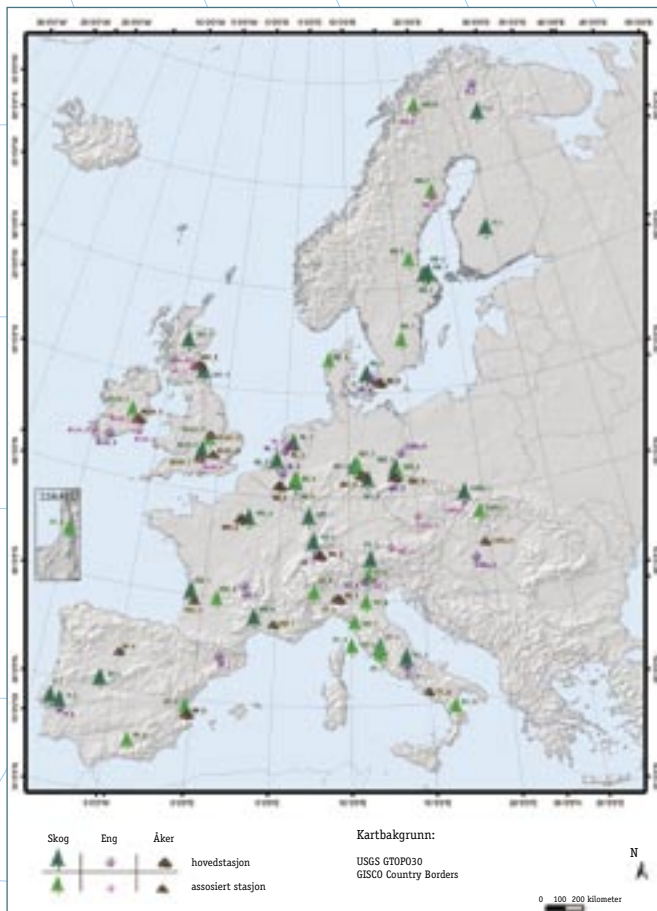
© Marcus Schumacher, Max-Planck-instituttet for biogeokjemi, Jena, Tyskland

3. Hvordan går vi fram?

En mengde ulike metoder og steder å observere

I prinsippet er det enkelt; for å kunne estimere Europas karbonbalanse så nøyaktig som mulig, og for å forstå bedre de mekanismene som styrer denne, trenger vi å øke antallet målestasjoner, øke frekvensen av observasjoner og samordne observasjons- og modelleringsaktivitetene bedre. Mye er allerede blitt gjort:

- Et nettverk av rundt hundre målestasjoner, hver av disse er utstyrt med et fluksmåletårn.
- Et nettverk av et dusin opp til 400 meter høye tårn som kan "observere" flukser i en hel region (rundt 500 km² i motsetning til bare 1 km² for de klassiske fluksmåletårnene) og som kan måle konsentrasjoner i ulike høyder i den nedre delen av atmosfæren.



Fluks- og økologimålesteder i CarboEurope-prosjektet.

© CarboEurope-IP

- Et nettverk av bakkestasjoner i områder der det er lite eller ingen forstyrrelse fra mennesker (på øyer og fjelltopper) slik at man kan skille mellom naturlige mekanismer og "støy" fra menneskelig aktivitet.
- Seks flybaser hvor ulike forskningsfly tar regelmessige turer for å samle inn luftprøver.
- En intensiv regional innsats for å knytte sammen alle instrumenter og tilgjengelig teknologi for å få data som er så nøyaktige som mulig. Dette vil finne sted i Bordauxområdet i Frankrike i 2007.
- En armé av nettbaserte datamaskiner og regnemaskiner for å lage modeller, utveksle og integrere data.

Disse aktivitetene vil hjelpe oss å få en god oversikt over karbonkretsløpet på det europeiske kontinentet. Men et av de største problemene er at jo større målestokken blir jo vanskeligere er det å se detaljene.

Flukser og konsentrasjoner

En **fluks** er mengden av et stoff (i dette tilfelle CO₂ eller karbon) som passerer et enhetsareal i løpet av en tidsenhet. Vi sier at fluksene er positive eller negative i vertikalretningen, avhengig av om de frigis oppover (emisjon eller utslipp) eller nedover (absorpsjon eller opptak). For eksempel: +7 g karbon per dag og per kvadratmeter frigis fra et tre til atmosfæren.

En **konsentrasjon** er her mengden av en gass (i dette tilfelle CO₂) i ei blanding (her lufta). Konsentrasjonen er uttrykt som en relativ størrelse på et gitt sted og ved ei gitt tid; f.eks. på slutten av det tjuende århundre inneholdt atmosfæren rundt 370 ppm (parts per million = deler per million) CO₂, dvs. i hver million deler luft var der 370 deler CO₂.

Flukser er svært lokale både i rom og tid. De varierer kontinuerlig fra et punkt til et annet og fra et øyeblikk til et annet alt etter vegetasjonstype, breddegrad, årstid og meteorologiske forhold. I motsetning til flukser er **atmosfæriske konsentrasjoner mer globale og endrer seg mindre**. CO₂ spres raskt i atmosfæren, og konsentrasjonene der er en slags global "utsmøring" av alle de akkumulerte effektene av fluksene i hele regionen. Men CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren er ikke helt jevn. F.eks. måler man på den nordlige halvkula mellom 3 og 4 ppm høyere CO₂-konsentrasjon enn gjennomsnittet, og dette er pga. at mesteparten av utslippene gjøres der. Konsentrasjonene er også lavere over store skoger, som er store naturlige sluk for CO₂.



Jo større skalaen blir jo mindre detaljert blir landskapet ...

Dilemmaet er enkelt nok:

- Jo mindre deler du studerer, jo klarere ser du dem, men dess mindre representative er de. I motsetning til:
- Jo større ting du studerer, jo bedre ser du helheten, men dess mindre detaljert blir det.

Som kjent er det ikke alltid man ser skogen for bare trær. Men, på den andre sida vil vi heller ikke se bare skogen. Vi vil gjerne se BÅDE skogen og trærne. Vi vil forstå prosesser på flere ulike skalaer, fra den fineste på noen kilometer og opp til kontinentale skalaer.

Da kan man si at det er bare å ta målinger tett nok, men vi kan ikke plassere fluksmåletårn overalt med bare en kilometers mellomrom. Derfor må vi ty til ekstrapolering av en begrensa mengde data. Vi må ta utgangspunkt i vårt begrensa og lokale datasett og utlede fra dette, uten å gjøre større feil, hva som blir det integrerte eller komplette bildet.

For å få til dette bruker vi et vell av ulike datasett og observasjons- og beregningsteknikker.



Vedlikehold av et tårn som måler mikrometeorologi i Hainich nasjonalpark, Tyskland.

© Bertram Smolny, Max-Planck-instituttet for biogeokjemi, Jena, Tyskland

Informasjonen som samles inn gjenspeiler de samme prosessene men med ulik grad av detaljrikdom. Ved å forene denne informasjonen kan et fullstendig bilde oppnås (dette tilsvarer metoden som CarboEurope jobber etter).

... men jo flere detaljer man legger til jo klarere blir bildet

Det er i hovedsak tre store utfordringer med denne måten å gjøre det på:

- 1) Man må sammenstille målinger på detaljnivå (fra f.eks. fluksmåletårn) med målinger på større skala (fra f.eks. satellitter og fly). Først når man forstår sammenhengen mellom disse kan man utvikle sikre metoder for å oppskalere detaljdata.
- 2) Man må sørge for at man dekker alle delene i de ulike europeiske klimasonene der utveksling av karbon foregår, fra middelhavsklima til arktisk klima (f.eks. skog, prairie, jordbruksland, steppe, myr, atmosfære, jordsmonn, osv.)
- 3) Man må utvikle integrerende modellverktøy.
 - Vi kan bruke såkalte bunn til topp-modeller (direkte metode). Disse baserer seg på at man kjenner prosessene som foregår og fluksene som utveksles lokalt, og deretter setter man sammen (integrerer) resultatet av disse prosessene over større landområder. Basert på målinger fra ett enkelt flukstårn kan f.eks. fluksene i en hel region simuleres. Dette gjør oss i stand til å regne ut hvilken effekt disse fluksene har på CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. Dersom den simulerte konsentrasjonen ikke stemmer overens med den målte, må modellen endres (optimaliseres). Denne prosessen gjentas helt til det er overensstemmelse mellom observasjon og simulering.
 - Vi kan bruke topp til bunn-modeller (invers metode). Disse tar utgangspunkt i observerte variasjoner i atmosfærisk CO₂-konsentrasjon målt over større landområder. Man prøver deretter å finne, på så fin skala som mulig, det fluksmønsteret som gir disse variasjonene.

Begge modellverktøyene har sine svakheter og styrker, og en kombinasjon er derfor det beste. I CarboEurope vil vi bruke begge slik at vi kan produsere kart som viser europeiske karbonfluks på ukentlig til månedlig basis og med en oppløsning på 50 x 50 km².

□



I Lutjeward, en stasjonen for atmosfæriske målinger på Nederlands kyst mot Nordsjøen, måles CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren hver annen uke ved å absorbere CO₂ i natriumhydroksid (lut).

© Rolf Neubert, Senter for isotopforskning, Universitetet i Groningen, Nederland

Hvordan fylle de hvite flekkene på kartet som viser CO₂-fluksene i Europa?

Et av hovedmålene til CarboEurope er å lage kart som viser hvor mye CO₂ som blir utveksla med atmosfæren i de ulike regionene av Europa. Som beskrevet over lages disse best ved å sammenfatte informasjon fra flere kilder:

1) Vi har data fra fluksmåletårn. Disse gir svært god informasjon om CO₂-utvekslinga akkurat i de små områdene de dekker. Dersom bare disse dataene ble brukt ville vi få et kart som stort sett var hvitt bortsett fra noen få punkt, der vi til gjengjeld ville hatt svært mye informasjon.

2) Vi har også data for CO₂-konsentrasjon i atmosfæren. Disse gjenspeiler den totale påvirkninga av CO₂-kilder og -sluk på kontinental skala, men forteller oss lite om hvor slukene og kildene er. Vi ser bare nettoeffekten av fluksene. I et kart som bare var basert på disse dataene ville det vært svært liten variasjon fordi sirkulasjonen i atmosfæren jevner ut de regionale forskjellene.

3) Til slutt har vi satellittdata. Disse dekker både den små og den store skalaen. Vi får målinger fra hvert punkt på kartet over hele kontinentet. Dessverre er det ikke mulig å måle CO₂-fluks direkte med satellitt, men vi kan f.eks. måle energitveksling på bakken, vegetasjon og vind og vær, og dette er i det minste relatert til CO₂ fluks. Disse dataene kan derfor hjelpe oss med å tolke målingene av CO₂-fluksen og -konsentrasjonen.

For å lage et kart utnytter vi totalinformasjonen i de tre datakildene nevnt over. Vi har en rekke ligninger med flere ukjente. Et slikt system løses ved å bruke informasjonen i samtlige ligninger. Man bruker informasjon fra en ligning til å redusere antall ukjente i de andre. Dette gjøres igjen og igjen til hele systemet er løst. Og jo mer informasjon, jo lettere er det å finne løsningen. I CarboEurope bruker vi datamaskiner som setter sammen informasjonen fra datakildene våre, som løser de komplekse ligningene og som regner seg fram til et mest mulig detaljert og entydig kart over CO₂-kilder og -sluk i Europa.

For å si det enkelt: Vi har et svært nøyaktig men lite dekkende kart (fra fluksmåletårnene) + et svært dekkende men uskarp kart (CO₂-konsentrasjonsmålingene) + svært dekkende og nøyaktige kart over prosesser som er relatert til CO₂-utveksling (fra satellitter) + gode datamaskiner + 5 år med datainnsamling, beregninger, tilnærminger og feilestimering = ett flott kart over CO₂-fluksene i Europa!



CARBOOCEAN

Hvor mye CO₂ tas opp i og avgis fra havet?



Måne i Arktis. På tokt over Polhavet med den svenske isbryteren Oden.

© Toste Tanhua – Leibniz-instituttet for marine fag, Universitetet i Kiel, Tyskland

Beregninger har vist at havet årlig tar opp et sted mellom 20 og 40 % av alt CO₂ som slippes ut i atmosfæren som følge av menneskelig aktivitet (bruk av fossilt brensel, endra bruk av land, osv.). Dette er med på å bremse den globale oppvarminga. Det et stort sprang fra 20 til 40 %, og når vi ikke kjenner opptaket mer nøyaktig enn dette så vil det være vanskelig å kunne si noe om hvordan klimautviklinga vil bli i framtida.

Kunnskap om prosessene som styrer utvekslinga av CO₂ mellom hav og atmosfære er derfor avgjørende for hvilke tiltak som må til for å begrense klimaendringer. Sentrale spørsmål er: Eksakt hvor mye CO₂ tar havet opp? Hvordan transporteres og lagres dette i havet? Hvordan vil den økte konsentrasjonen av CO₂ påvirke marint miljø?

I det internasjonale forskningsprogrammet CarboOcean vil forskere fra 40 ulike institutter i 15 land prøve å svare på disse spørsmålene. CarboOcean er et såkalt Integrert Prosjekt med en forventet total kostnadsramme på 30 millioner euro (ca. 240 millioner norske kroner). EU vil bidra med om lag halvparten av dette. Prosjektet startet i januar 2005 og vil vare i fem år. Vi vil i løpet av denne tida ta i bruk en hel flåte av forskningsfartøy, lasteskip utstyrt med måleinstrument, bøyer og undervannsfartøy for å samle inn data fra store deler av verdenshavene. Videre vil vi bruke kraftige databaserte analyseverktøy og modeller. Samlet vil denne enorme innsatsen gi oss en større forståelse av hvordan karbon sirkulerer i havet.

1. Hva er målsettinga?

Målet til CarboOcean er ganske enkelt men svært ambisiøst. Vi har anslag for hvor mye CO₂ havet tar opp fra atmosfæren. Men disse er usikre, og målet vårt er å lage globale anslag som er dobbelt så sikre som de eksisterende. For Atlanteren og Sørishavet vil vi lage anslag som er fire ganger så sikre som de eksisterende.

For å oppnå dette vil vi:

- bestemme hvor mye CO₂ som har blitt utveksla mellom hav og atmosfære de siste 200 åra og anslå hvor mye som blir utveksla de neste 200 åra. Vi vil bestemme hvordan utvekslinga har variert i både tid og rom og også hvordan relaterte variable (som CO₂-konsentrasjon i havet, temperatur, saltinnhold, biologiske faktorer) har variert. I tillegg ønsker vi å finne hvordan disse ulike parametrene har reagert på det økte CO₂-innholdet i atmosfæren. Videre vil vi lage kart som viser årlig konsentrasjon av CO₂ i overflata av Nord-Atlanteren, og disse kartene kan brukes av CarboEurope til å forbedre deres flukskart.
- prøve å få en bedre forståelse av de ulike fysiske, kjemiske, og biologiske prosessene som styrer utvekslinga av CO₂ mellom hav og atmosfære og videre mellom overflate- og dyphavet.

Til sjuende og sist vil CarboOcean hjelpe oss med å avklare hvilke klimaendringer vi kan forvente. Vi vil kunne anslå med større grad av sikkerhet en før:

- Graden av oppvarming som funksjon av ulike CO₂-utslipp-scenarier
- Kost-/nytteverdien av ulike tiltak for å redusere utslipp av klimagassene



Det amerikanske kystvaktfartøyet Healy

© CarboOcean



© Dorothee Bakker – Universitetet i East Anglia, Storbritannia

2. Hva baserer vi oss på?

I løpet av de siste ti åra har ei rekke nasjonale og internasjonale prosjekter hatt som mål å etablere et verdensomfattende nettverk som overvåker omsetninga av CO₂ i havet. CarboOcean ble etablert i kjølvannet av disse og er nå det europeiske bidraget til dette nettverket. Bortimot samtlige data som brukes i studier av havets CO₂-kretsløp samles inn i regi av dette nettverket.

I løpet av de siste ti åra har vi funnet ut at omlag 30 % av karbondioksidet som ble sluppet ut i løpet av det 19^{de} og 20^{de} århundre (som følge av bruk av fossilt brensel og avskogning i perioden etter den industrielle revolusjonen) ble tatt opp av havet. Dette tilsvarer 118 milliarder tonn karbon. Usikkerheten er +/- 19 milliarder tonn⁷.

Men for å forstå det globale karbonkretsløpet og bestemme klimaendringer i framtida, er det ikke nok å vite at havet har tatt opp 118 milliarder tonn CO₂ de siste 200 åra. Vi må studere hvordan opptaket varierer fra år til år og fra sesong til sesong, og vi må videre se på hvordan disse naturlige svingningene henger sammen med naturlige klimavariasjoner. Å forstå det naturlige systemet er ei av de største utfordringene i åra som kommer, og forståelse av det menneskeskapte bidraget til karbonkretsløpet avhenger av dette.

7) Kilde: Sabine et. al. 2004

8) Mengden karbon tilført havet pga. menneskelig aktivitet, 118 Gt, utgjør bare om lag 0.3 % av havets totale innhold av karbon; 40 000 Gt. I motsetning til dette kommer 165 Gt karbon av atmosfærens totale mengde på 750 Gt karbon fra menneskelig aktivitet; dvs. 22 % (gigatonn = 10⁹ tonn).

3. Hvordan går vi fram?

På samme måte som i CarboEurope vil vi kombinere observasjoner og resultater fra eksperimenter med modellering. Dette vil sette oss i stand til å beskrive, forstå og varsle marint CO₂-opptak.



En kjerneprøvetaker slippes ut i Færøy-Shetlandkanalen fra forskningsfartøyet Håkon Mosby.

© Dag Inge Blindheim – Bjerknessenter for klimaforskning, Bergen

Systematiske målinger av CO₂ i Atlanterhavet

Vår utfordring er at vi er ute etter å bestemme en liten forstyrrelse av et naturlig system⁸. CO₂ finnes naturlig i både hav og atmosfære og utveksles mellom dem. Utvekslinga har vært balansert, dvs. like mye CO₂ har gått fra hav til atmosfære som fra atmosfære til hav. Ved å slippe ut CO₂ (fra bruk av fossilt brensel) til atmosfæren har vi forrykka denne balansen. Vi er ute etter å finne små endringer i konsentrasjoner og flukser, og den eneste måten å gjøre dette på er å måle så ofte som mulig og på så mange steder som mulig.

Det har i løpet av de siste ti åra blitt utvikla instrumenter som måler CO₂-konsentrasjonen i overflatevann. Disse instrumentene trenger lite tilsyn og kan fungere godt på egenhånd i en avgrensa tidsperiode. I CarboOcean har vi plassert slike instrumenter på ei rekke handelsfartøy som går i linjefart i Atlanterhavet. Handelsfartøy der vi får lov til å plassere instrumentering om bord, kaller vi for "VOS-



linjer"; Voluntary Observing Ships. Ved hjelp av slike VOS-linjer får vi god oversikt over hvordan CO₂-konsentrasjonen i overflatevann varierer i tid og rom. Videre har vi data fra ulike målestasjoner (automatiserte bøyer eller værskip) der det kontinuerlig samles inn CO₂-data ett spesielt sted; dette kalles "tidsserier". Ved hjelp av disse stasjonene får vi god informasjon om hvordan dataene varierer over tid. Til slutt har vi de såkalte Carioca-bøyene (CARbon Interfae Ocean Atmosphere) som, etter å ha blitt satt ut i havet, driver fritt omkring med havstrømmene og måler konsentrasjon av CO₂. Funksjonstida til disse bøyene er mer enn et år, og for å lette datainnsamlingen blir gjerne målte data sent hjem via satellitt.

VOS-linjene, tidsseriene og Carioca-bøyen er på mange måter den marine ekvivalenten til CarboEuropes nettverk

av fluksmåletårn. Alle dataene som samles inn vil bli brukt i kartlegginga av CO₂-konsentrasjoner i overflata av Atlanterhavet. Selve kartlegginga gjøres ved hjelp av datamodeller som fyller inn realistiske tall der vi mangler observasjoner, og slik kan et konsentrasjonskart gradvis konstrueres. Andre prosjekter dekker andre havområder, og i kombinasjon med disse vil vi til slutt kartlegge alle verdenshav.

Prosjektene blir koordinert gjennom FN av UNESCO. Du kan lese mer på <http://ioc.unesco.org/ioccp/ObsNet.htm>

Disse automatiske målesystemene er foreløpig avgrensa til overflatelaget av havet. For å få målinger også under havoverflata arbeider vi med å utvikle en slags miniubåt. Denne vil være styrt med instrumenter og skal kunne samle inn data på ulike dyp. Dataene vil overføres via satellitt når ubåten er i overflata.

Hvorfor vet vi så lite om karbonkretsløpet i havet sammenligna med det på landjorda?

- Det står ennå mye igjen å studere i havet, også med tanke på karbondioksid. Sammenligna med landjorda er tilgangen på data dårlig. Dette skyldes at havet er stort (det dekker 71 % av jordoverflata), og at det er vanskelig og dyrt å komme til. Videre er det store variasjoner i havets karboninnhold og prosessene er kompliserte. CO₂ er f.eks. mindre løselig i varmt enn i kaldt vann (dette kan lett observeres når du tar ei brusflaske fra kjøleskapet, åpner den og setter den i et varmt rom; jo mer flasken varmes opp jo flere bobler vil dannes, flyte til overflata og avgi gass). Det er dette som gjør at store mengder CO₂ absorberes av vannet på høye breddegrader hvor havtemperaturen er lav. Det kalde vannet har også høy tetthet og vil synke ned til store dyp. Det føres mot ekvator hvor det stiger opp mot havoverflata, her varmes det opp og løseligheten av CO₂ synker. Det slippes derfor ut store mengder CO₂ fra havet rundt ekvator. Disse prosessene fører til at:
 - a) *det er store variasjoner i CO₂-konsentrasjonen i havet. Havstrømmer, temperatur, saltinnhold og biologisk aktivitet påvirker CO₂ slik at konsentrasjonene endres fra ett punkt til et annet, fra dag til dag, fra sesong til sesong og fra år til år. Dette er i motsetning til i atmosfæren som er mye mer homogen fordi luftmassene blandes så raskt.*
 - b) *CO₂-flukser (overføringa av CO₂ mellom luft og hav) er på ingen måte homogen. Enkelte steder overføres CO₂ fra luft til hav, andre steder er det omvendt. Ålt i alt tar havet opp mellom 20 og 40 % av all CO₂ som slippes ut. Men hvordan dette opptaket varierer med breddegrad, sesonger, år osv. er ennå ikke godt kjent.*
- Det finnes i dag ingen annen måte å bestemme CO₂-innholdet i havet på enn å reise ut og måle. Dette er både dyrt og risikofylt, og spesielt i polare strøk opplever man ofte at værforholdene setter en stopper for vitenskapelig arbeid.
- Havet er et tregt system. En tidsskala på 100 år er ikke uvanlig. En komplett sirkulasjon med nedsynking av vann på høye breddegrader, strøm sørover i dype havlag, oppstigning rundt ekvator og overflatestrøm tilbake til høye breddegrader tar om lag 1000 år (havet er i konstant bevegelse rundt kloden pga. påvirkning fra vind, Corioliskraft og endringer i sjøvannets tetthet).
- Havet er et komplekst system som blir påvirket av både atmosfæriske og kontinentale prosesser. Disse prosessene (biologiske, geologiske og kjemiske) vekselvirker over et vell av tidsskalaer og kan både forsterke og motvirke hverandre. Derfor er systemet svært uforutsigbart, og de endelige konsekvensene av påvirkninga vår blir vanskelig å tallfeste.



Mario Hoppema fra Alfred Wegner-instituttet i Bremerhaven, Tyskland, samler vannprøver om bord på Polarstern, som er på forskningstokt i Sørishavet.

© Dorothee Bakker – Universitetet i East Anglia, Storbritannia

Tokt må til for å bedre forstå hvordan CO₂ omsettes i havet

Fra alle overflatedataene vi samler inn og kartene over CO₂-konsentrasjonene kan vi regne ut hvor mye CO₂ som blir utveksla mellom hav og atmosfære. Men ennå vet vi lite om hvordan og hvorfor variasjoner på overflata oppstår.

Sentrale spørsmål er: hva skjer med CO₂ etter at det er tatt opp i havet? Hvordan blandes det ned? Hvordan transporteres det med havstrømmene? Og hvor mye akkumuleres i de enkelte havområder? For å besvare disse må vi reise på tokt og samle inn data fra hele vannsøyla. Nord-Atlanteren og de Nordiske hav er spesielt viktige. Det er i disse områdene at sirkulasjon fører CO₂ ned til store dyp og isolerer det fra atmosfæren. I disse områdene er det store uoverensstemmelser mellom resultater fra modeller og målinger, både med hensyn til hvor mye CO₂ som akkumuleres i dypet og hvor mye som tas opp fra atmosfæren.

Vi vil spesielt oppsøke områder hvor det dannes dypvann (overflatevann som blir tungt/får større tetthet og synker) og kommer til å foreta en rekke tokt til Grønlandshavet og Barentshavet. På disse toktene vil vi også undersøke om selve havsirkulasjonen er i endring. Før eller seinere vil klimaendringer påvirke havets sirkulasjon, og slike sirkulasjonsendringer kan ha stor betydning for det marine karbonkretsløpet.

I Middelhavet og i Nordsjøen lærer vi å kombinere luft, land og vann

Karbonkretsløpet i havet er kobla til kretsløpet på landjorda og i atmosfæren, og disse tre delene utgjør det globale karbonkretsløpet. CarboEurope studerer karbonkretsløpet på landjorda, og CarboOcean studerer det i havet. For å komme oss videre og forstå karbonkretsløpet som helhet, må vi knytte disse prosjektene og funnene opp mot hverandre.



Dorothee Bakker fra Universitetet i East Anglia (UK) om bord i forskningsfartøyet Discovery.

© Alan Hughes – Nasjonalt oseanografisenter, Southampton, Storbritannia



Vinsjen kjøres nærmest uten stans om bord på den svenske isbryteren Oden, som er på tokt i Arktis.

© Toste Tanhua – Leibniz-instituttet for marine fag, Universitetet i Kiel, Tyskland

I Nordsjøen og i det vestlige Middelhavet vil CarboOcean og CarboEurope samarbeide om å studere hele karbonkretsløpet, og der inngår både hav, atmosfære og landjord. For første gang vil vi gjøre samtidige karbonmålinger i de ulike reservoarene, og dette vil forhåpentligvis gi oss nok informasjon til å tallfeste hvor stor transport av karbon det er mellom havet, atmosfæren og landjorda. Dette prøveprosjektet vil gi oss en unik innsikt i hvordan vi videre skal kombinere kunnskap fra de ulike reservoarene for å få en god oversikt over det globale karbonkretsløpet.

Modellering for å sammenfatte og varsle

Hvordan kommer vi oss videre fra den enorme mengden rådata som leveres fra et uttall av instrumenter rundt om på kloden til å få en oversikt over det som virkelig skjer i naturen? På samme måte som i CarboEurope vil modellverktøy bli brukt for å sammenfatte observasjonene i CarboOcean.

Vi må forvandle alle data vi samler inn til tolkbare grafer og kart. Modellverktøy vil integrere (sammenstille) alle data og regne seg fram til et mest mulig komplett bilde av det marine karbonkretsløpet. Etter hvert som tida går og observasjonene strømmer inn, vil modellene bli bedre og bedre slik at de kan:

- gjengi dagens marine karbonkretsløp
- varsle framtidige endringer i dette

Med tanke på den store mengden data som skal fordøyas og det kompliserte fysiske og biologiske rammeverket de skal settes inn i, er nok utvikling og bruk av modeller den største vitenskapelige utfordringa i CarboOcean.



Forskere fra det marine fakultetet på universitetet i Las Palmas (Spania) har oppretta ei ny VOS-linje mellom Storbritannia og Cape Town.

© Kjemisk institutt, Universitetet i Las Palmas, Kanariøyene, Spania

Havet som søppelfylling?

Mange ønsker å hjelpe havet slik at det raskere tar opp CO₂ fra atmosfæren, og på denne måten vil man hindre store klimaendringer. To metoder har utmerket seg.

- 1) Man kan øke den biologiske produksjonen i havet, slik at man binder CO₂ i organisk materiale. Det har vist seg at jern kan øke produksjonen av plankton i havet. Man ser f.eks. store oppblomstringer av plankton i havområdene vest for Afrika etter at Sirocco (vind fra Sahara) har før store mengder jernrikt støv ut over dette området. I Sørishavet har man aktivt tilført havet jern og dette har også ført til store planktonoppblomstringer. Men vi er usikker på om dette vil hjelpe på lang sikt. Plankton dør og brytes raskt ned til CO₂ og næringssalter. Spørsmålet er derfor om ikke karbondioksidet bare vil føres tilbake til atmosfæren etter at plankton har dødd slik at nettoeffekten blir null. Vi vet også lite om eventuelle økologiske konsekvenser av å gjødsle med jern på denne måten.
- 2) Man kan pumpe CO₂ ned på store havdyp. Dette krever at man på en eller annen måte samler alt CO₂ som frigjøres ved utslippskilden. Så blander man dette med vann og andre kjemikalier, slik at man får en CO₂-rik løsning. Denne suppa pumpes deretter ned på store havdyp der den blir liggende som en innsjø på havbunnen. Fysiske og kjemiske prosesser vil bestemme hvor holdbar en slik CO₂-innsjø vil være. Men ennå vet vi for lite om hvordan dette vil påvirke det marine miljøet.

Slike forslag til hvordan man skal løse CO₂-problemet baserer seg på et mekanistisk syn på jorda der man er overbevist om at det finnes teknologiske løsninger på alt. Det er gammeldags å se på havet som ei gigantisk søppelfylling som er i stand til å fordøye alt som blir kasta der; i dette tilfellet CO₂. Vi har ingen oversikt over langtidseffekter av ei slik dumping, men ei forsurening av havet vil med stor sannsynlighet være uheldig og kanskje til og med ødeleggende for økosystemene.

Vi kan likevel ikke forhindre at enkelte land prøver slike metoder for å nå forpliktelsene satt i Kyoto-protokollen. Derfor vil vi i CarboOcean gjøre små-skalaforsøk med CO₂-lagring slik at vi bedre kan forstå konsekvensene og evt. nytteverdien av slike metoder. Først når denne kunnskapen er på plass vil vi kunne avgjøre om disse teknikkene har noe for seg eller ikke.



Forskning i praksis

To eksempler fra feltarbeid

1. Pianosa - et vitenskapelig skattkammer



Solnedgang ved måletårnet for karbonfluks på Pianosa.

© Institutt for biometeorologi, Det nasjonale miljøforskningsrådet (NERC), Swindon, Storbritannia

Fra et gammelt forlatt fengsel på ei ubebodd øy utenfor Toscana, prøver vi å forstå karbonkretsløpet i økosystemene rundt Middelhavet bedre. Hvordan bidrar det regionale karbonkretsløpet til det globale kretsløpet, og hvordan reagerer det på endringer i klima og vegetasjon? Hvor mye karbondioksid utveksles mellom luft, jord og vegetasjon, hvordan endres utvekslinga med årstider og klimaforhold, og ikke minst, hvordan kan slike endringer forklares? I Pianosa-laboratoriet⁹ ved Middelhavet finner vi noen av svarene på disse sentrale spørsmålene. Dette er et laboratorium i friluft der man studerer geovitenskap, og det er også et av de mange stedene CarboEurope gjør målinger.

Pianosa, som bare er 10 kvadratkilometer stor, ligger mellom Korsika og Elba. Øya har svært tørt klima, og vegetasjonen består stort sett av tørre buskvekster. Denne tidligere fangeøya ble forlatt da fengselet ble stengt i 1992, men øya er ennå strengt regulert og er i prinsippet forbudt område for besøkende. Etter det første oppdraget vårt i mai 2000, har øya blitt vårt eget vesle paradys, et sted for vitenskapelig undring over et mikro-økosystem som er beskytta fra menneskelig påvirkning.

På Pianosa håper vi å finne de bitene som representerer middelhavsområdet i det store puslespillet som utgjør det globale karbonkretsløpet. Dagens klimamodeller er mer eller mindre i stand til å reprodusere den globale klimautviklinga, men modellene fungerer ofte dårlig på småskalanivå. Dette viser mangler i kunnskapen vår, og klimaforskere arbeider for tiden intenst med å løse utfordringene på regionalt nivå.

Uforklarte fenomener er ei utfordring

Hvordan drive vitenskapelig skattejakt på ei øy? Dette kan oppsummeres i to ord: observasjon og eksperimentering.

Observasjon betyr her ei omfattende overvåking av øyas karbonutveksling. Et fluksmåletårn ble installert midt på øya for å samle inn værdedata (trykk, fuktighet, vind, nedbør, luminisens, osv.) og CO₂-flukser, dvs. hvor mye CO₂ øya som en helhet slipper ut eller tar opp over tid. Målinger ble tatt kontinuerlig og forsynte oss med CO₂-data året rundt. Som et resultat vet vi f.eks. at øya er et sluk for CO₂; den tar opp mer karbon fra atmosfæren enn den avgir.

Eksperimentering hjelper oss å forstå dataene fra måletårnet. Selv om tårnet forsyner oss med omfattende data om CO₂-utvekslinga på Pianosa, forteller det ingenting om årsaken til utvekslinga. Hva er det som avgir CO₂ og hvor mye; hva tar opp CO₂ og hvor mye; når og hvorfor? Dette kan vi finne svar på ved å koble reaksjonene til alle elementer som er involvert (tre, jord, eng osv.) sammen med sesongvariasjon, værforandringer og lignende. Først da kan vi formulere ligninger for hvordan prosessene i økosystemet foregår, og disse ligningene kan deretter brukes i et computerprogram til å simulere hvordan økosystemene i middelhavsområdet oppfører seg.

Observasjon og eksperimentering går hånd i hånd. Det mest spennende er å observere noe vi ikke forstår: Det er dette som fører til framskritt for forskningen, som angir hvilken retning forskningen må gå og hvilke spørsmål som må undersøkes. Et *uforklarlig fenomen* er ikke noe overnaturlig, men bare et *fenomen som vi ennå ikke vet hvordan vi skal forklare!*

9) Et konsortium av ni italienske laboratorier og fire italienske universiteter koordinert av IBIMET i Firenze (Italia).



Visste du at jordsmonnet puster? Med dette instrumentet måler vi hvor mye CO₂ grunnen på Pianosa slipper ut.

© Institutt for biometeorologi, Det nasjonale miljøforskingsrådet (NERC), Swindon, Storbritannia

Karbonutblåsning midt på sommeren

Etter en episode med tordenvær en sommer fant vi noe svært uvanlig i karbondataene som var samla inn i måletårnet på Pianosa. Vanligvis er karbonfluksen positiv før regnvær, dvs. øya frigjør CO₂ til atmosfæren. Dette er et tegn på vannunderskudd, gjennom sommeren tørker planter og beskytter seg ved å lukke stomata, noe som forstyrrer fotosyntesen og opptaket av CO₂ blir mindre. På den andre sida, så lenge plantene lever vil de også puste og dette frigir CO₂. Under et tordenvær og like etterpå er fluksmålingene null, men man antar at etter at plantene har slukka tørsten gjenopptar de fotosyntesen. Det er til og med forventet at plantene etter hvert vil ta opp en økt mengde CO₂.

Men karbondataene viste tvert i mot at 12 timer etter regnværet begynner øya plutselig å avgi store mengder CO₂, *ti ganger mer* enn før regnværet starta! Først flere dager seinere begynner karbonfluksen sakte å gå tilbake til normalnivå. Første gang dette skjedde, trodde vi at vi hadde problemer med måleinstrumentene våre. Men til vår store overraskelse ble disse naturlige CO₂-utslippene gjentatt etter hvert eneste regnskyll, og vi regna ut at disse utslippene i gjennomsnitt reduserte det årlige karbonopptaket på Pianosa med hele 10-15 %.

At CO₂ plutselig blir frigitt til atmosfæren er i strid med naturlovene (i det minste de vi kjenner), det gjør modellering vanskelig og setter søkelyset på modellenes begrensninger. Hvilke prosesser er involvert, hvorfor skjedde denne utblåsningen 12 timer etter hvert regnskyll og ikke etter 6 timer eller 24 timer? Vi må finne årsaken og avdekke mekanismene som er involvert. Måletårnet har satt oss på rett spor, og vi må lete etter svar akkurat der utvekslinga av CO₂ foregår; på bladoverflaten, rundt røtter, i jorda, osv.

Hvilken effekt har vann på jordsmonnets respirasjon? Hvilket bidrag gir vegetasjonen til den målte CO₂-fluksen, og hvilke planter respirerer den ekstra mengden CO₂ som vi finner i lufta? Hvordan går det med karbonet i jordsmonnet? Disse og andre spørsmål vil holde forskningsgruppene våre i ånde i mange år framover på jakt etter nye skatter.

Vil du vite mer om Pianosa:

http://www.ibimet.cnr.it/biosphere/File_progetti/01_pianosa_lab.htm



2. Mesokosmos – et forsøk der en marin verden i miniatyr brukes til å simulere framtida



Flåten som ble brukt under mesokosmosforsøket.

© Leibniz-instituttet for marine fag, Universitetet i Kiel, Tyskland

Mellom mikrokosmos og makrokosmos ligger mesokosmos. Mesokosmos er en verden i mellomstørrelse som vi bruker til å lære mer om prosesser havet. En slik mellomstørrelse brukes fordi det på makroskopisk skala vil være umulig å drive sammenlignende studier (f.eks. klimamanipulering), og fordi mikroskopisk skala (laboratorieeksperimenter) blir for smått til å kunne ekstrapolere resultater til en global skala.

På Espegrend marinbiologiske stasjon, nær Bergen, arbeider vi på en spesiell flåte som er forankra midt i fjorden. På flåten er det ei lita trehytte som inneholder et laboratorium, og rundt flåten er det senka ni kjempestore plastposer ned i vannet, 10 m dype og fylt med fjordvann. Over hver pose er det satt et plasttelt, og på denne måten får vi ni mediumverdener av hav og atmosfære skilt fra resten av fjorden og lufta (men likevel in situ), og der bare lyset slipper til. Et uttal av slanger og sensorer er kobla fra posene til laboratoriet. Til sammen utgjør disse installasjonene mesokosmoseksperimentet vårt. Skalaen er liten nok til at vi mennesker lett kan manipulere, men samtidig stor nok til å få et realistisk bilde av planktonartene som lever der, og det er nettopp dette siste som er målet med studien.

I de tre første posene regulerer man CO_2 -konsentrasjonen i teltene til å være 370 ppm CO_2 (dvs. nåtidens atmosfærekonsentrasjon), i de tre neste 750 ppm (forventa konsentrasjon i 2100 om CO_2 -utslippene fortsetter med dagens hastighet), og 1150 ppm i de siste tre (forventa konsentrasjon i 2150). På denne måten kan vi bedre observere hvordan virkeligheten kanskje kan se ut i 2100 og 2150.

Er havets opptak av CO_2 bra for det marine livet?

Prinsippet for eksperimentet er enkelt. Første dag introduserer vi ei blanding av næringssalter i hver plastpose for å få i gang oppblomstring av planteplankton. Deretter studerer vi endringa i så mange parametre som mulig over fem uker. Seinere sammenligner vi resultatene fra de ulike posene.

Resultatene av mesokosmoseksperimentene våre bekrefter det vi har sett i tidligere laboratorieforsøk: når store mengder menneskeskapt CO_2 blir tatt opp i havet er dette bra for klimasystemet vårt, men det kan bli et problem for livet i havet.

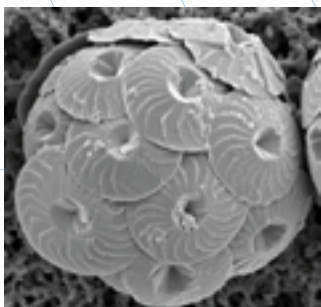
Grunnen til dette er følgende; mange marine organismer (koraller, snegler, muslinger, sjøpinnsvin, sjøstjerner, osv.) bruker hovedsakelig kalsiumkarbonat for å lage skallstrukturen. Men siden sjøvannet blir surere og surere jo mer CO_2 som tas opp, så avtar konsentrasjonen av karbonationer i sjøvannet. Dermed blir det energimessig mer kostbart for kalkorganismer å danne kalkstruktur.

□

Halvert kalkproduksjon i poser med forhøya CO₂-innhold

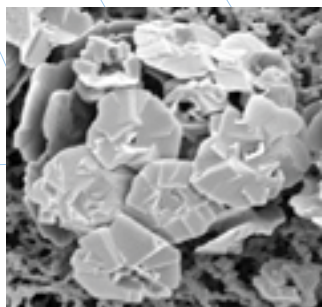
Vi dyrker ikke muslinger eller sjøpinnsvin i våre poser, men derimot en planktontype som heter *coccolithoforider* (*kalkflagellater*); encellede mikroalger dekket av et tett lag kalkplater. Organismene er usynlige for det blotte øye (hundre ganger mindre enn et knappenålshode), men de er likevel de mest produktive kalkprodusenter på jorda.

I poseeksperimentet vårt ble kalkproduksjonen til coccolithoforidene der det var høy konsentrasjon av CO₂ nærmest redusert til det halve i forhold til der det var lavt CO₂-innhold! Laboratorieforsk viser at coccolithoforider som vokser under høy CO₂-konsentrasjon oftere vil utvikle misdannelser enn de som vokser under dagens CO₂-konsentrasjon. Disse to bildene viser denne forstyrrelsen:



Med dagens CO₂-konsentrasjon.

© M. Geisen, AWI



Med forventet CO₂-konsentrasjon i 2100.

© M. Geisen, AWI

Disse resultatene er alarmerende med tanke på mulige negative effekter av at havet blir surere i framtida, men resultatene reiser flere spørsmål enn svar. Hvilken betydning vil en redusert kalkdannelse og økte misdannelser ha for reproduksjonen av coccolithoforidene? Hvis det blir vanskelig å tilpasse seg et surere hav, vil da coccolithoforidene bli erstatta av andre ikke kalkdannende grupper? Hva vil dette bety for økosystemet?

Marine økosystemer blir trolig mer sårbare

Andre spørsmål er relatert til gyldigheten av funnene våre. Mens det er stor genetisk variasjon av marine plankton, til og med innen samme art, vil vi i eksperimentet vårt av statistiske grunner ende opp med de mest vanlige genetiske variantene. Vil noen av artene som ikke er fullt så vanlige være bedre i stand til å takle de høye CO₂-konsentrasjonene? Vi må også ha i tankene at vi av praktiske årsaker øker CO₂-konsentrasjonen relativt raskt. I virkeligheten vil det ta 100 år for å nå det høye CO₂-innholdet som vi bruker i eksperimentet vårt. Dette har gjerne ikke så mye å si for langsomt voksende organismer, som koraller, men hva med coccolithoforidene med livssyklus på en dag eller to, og som kan gjennomgå opp til 30 000 generasjoner på 100 år, er dette nok tid til å tilpasse seg et surere hav?

Det er for tidlig å si noe sikkert om konsekvensene av et surere hav. Men det vi kan si er at marine økosystemer i framtida trolig vil være mindre robuste og følgelig mer sårbare for andre miljømessige forhold, som klimaendringer, fiskeri og forurensing. En reduksjon av CO₂-utslippene til atmosfæren er den eneste praktiske måten å minske risikoen for uopprettelige skader på det marine økosystemet. Forsuring av havet er, i tillegg til klimaendringer, en viktig grunn til å utvikle alternative energistrategier så snart som mulig.

Hvis du er i interessert i mesokosmoseksperimentet:

- PDF-beskrivelse: <http://www.carboocean.org/Menue/News/Mesocosm.pdf>
- Eksperiment-website: <http://peece.ifm-geomar.de/>
- weblog fra Mainz-gruppa: http://www.atmosphere.mpg.de/enid/Diaries_from_the_field/CarboOcean_4ps.html

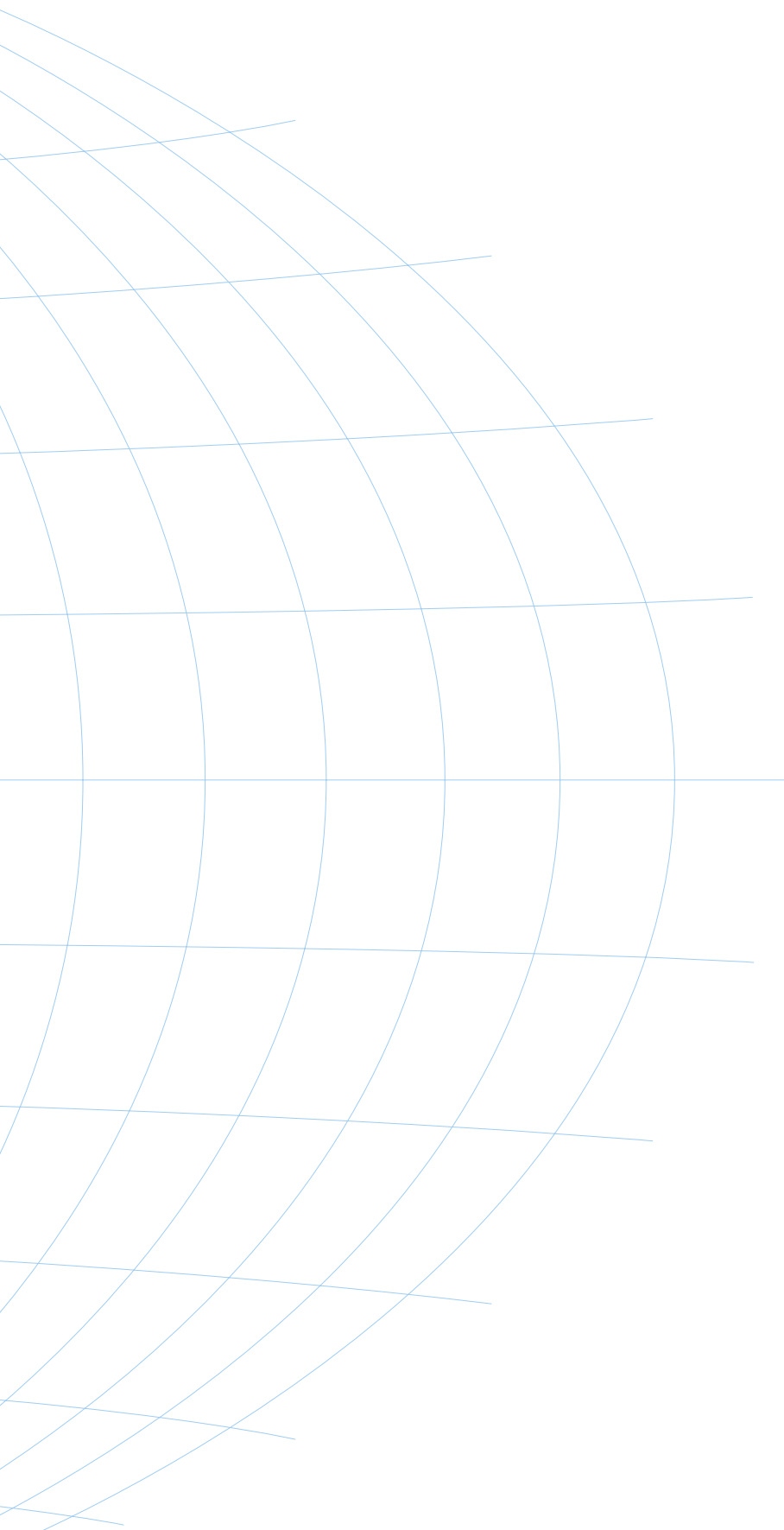
Mange takk til Mari-Francesca Cotrufo og Ulf Riebesell for den gjestfrie mottagelsen vi fikk på Pianosa og Espegrend.



Til notater



Til notater



CarboSchools ressurshefte

Norsk versjon januar 2007

Sitat og kopiering tillatt til bruk i undervisning og i arbeider uten hensikt om økonomisk vinning.

DG JRC koordinering: Günther Seufert

Tekst, koordinering: Philippe Saugier (saugier@netcourrier.com)

Utforming av CarboSchools logo: Rona Thompson

Designendringer i norsk versjon: Yvonne Hofmann

Oversettelse:

Ingunn Skjelvan, Eva Falck, Truls Johannessen, Solveig Kringstad, Are Olsen, Abdirahman Omar og Vegard Opheim.

Gjennomlesing:

Aline Chîpoux, Annette Freibauer, Marion Gehlen, Nadine Gobron, Giacomo Grassi, Kjeld Hansen, Christoph Heinze, Alexander Knohl, Thierry Lerévêrend, Mats Olsson, Ulf Riebesell, Michael Schallies, Bernard Saugier, Ingunn Skjelvan, Rona Thompson, Elmar Uherek, Andrea Volbers

Denne publikasjonen er finansiert av Europakommisjonen DG Joint Research Centre, CarboEurope IP, CARBOOCEAN IP og Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR). Formålet til JCR er å stille til rådighet kommersielt drevet vitenskapelig og teknisk støtte til unnfangelse, utvikling, gjennomføring og kontroll av EU sin strategi.

Mer informasjon på:

www.carboschools.org

www.carboeurope.org

www.carboocean.org

<http://ies.jrc.cec.eu.int/fp6ccu.html>



Om bord i seilskipet Carola gjør elever fra den videregående skolen i Bad Segeberg i Tyskland seg klar til et tokt der de skal samle inn prøver fra marin fauna og flora i Østersjøen. Tøktet er en del av NaT-Working prosjektet på Leibniz-instituttet for marine fag (IFM-GEOMAR) i Kiel i Tyskland.

© Avan Antia, Leibniz-instituttet for marine fag, Universitetet i Kiel, Tyskland



I de to store forskningsprogrammene CarboEurope og CarboOcean er vi flere hundre forskere som er involvert i å øke kunnskapen om klimasystemet på jorda og hvordan det blir forstyrra av menneskelig aktivitet ved at vi slipper ut store mengder drivhusgasser til atmosfæren.

Gjennom CarboSchools-initiativet vil vi støtte samarbeidsprosjekter mellom forskere og lærere og elever i videregående skoler. Målet er å vekke ungdoms bevissthet om de lokale og globale konsekvensene

av klimaendringer, gi dem kunnskap om vitenskapelig forskning og inspirere til et lokalt engasjement for å redusere utslipp av klimagasser.

Dette heftet er ment å skulle være en ressurs for lærere og alle andre som er interessert i temaet. Det gir en oversikt over forskningen på globale klima- og miljøendringer. Hva er de sentrale spørsmålene? Hvordan hjelper forskning oss til å oppnå ny kunnskap? Hvordan bidrar europeisk forskning til å løse de gjenværende gåtene i karbonkretsløpet?

Bli med oss inn i det store vitenskapelige eventyret, la deg fasinere av den mangfoldige jorda vår og hjelp oss å finne svar på noen av de uløste spørsmålene som gjelder framtida vår!