

## Tema: CO<sub>2</sub>-håndtering



Foto: Statoil

GASSKRAFTVERK. Kanskje vil det med tiden strømme CO<sub>2</sub> gjennom disse rørene?  
Stoltenberg-regjeringen foreslo nylig å bevilge 20 millioner til arbeidet med å skape en verdikjede for CO<sub>2</sub> ved blant annet det kommende gasskraftverket på Kårstø.

CO<sub>2</sub>-håndtering er hovedtemaet i dette nummeret av *Cicerone*. "Norge er sannsynligvis det landet i verden der CO<sub>2</sub>-håndtering står høyest på den politiske agendaen", skriver NTNU-forskerne Nils A. Røkke og Ola Maurstad i sin artikkel om teknologier for fangst, rensing og lagring av CO<sub>2</sub>.

FNs klimapanel slår fast at vi har teknologiene som trengs, og Gassnova-direktør Bjørn-Erik Haugan sitter på risikovillig kapital. Da er det vel bare å sette i gang, eller?

Spill om CO<sub>2</sub>

Side 3

Hva er CO<sub>2</sub>-håndtering?

Side 4

FN gransker CO<sub>2</sub>-lagring

Side 6

Utslippsfri gasskraft

Side 8

Teknologien bak CO<sub>2</sub>-håndtering

Side 10

Hydrogenvei

Side 13

Hydrogenbiler

Side 14

Kronikk: CO<sub>2</sub> og økt oljeutvinning

Side 15

Debatt: Langsiktig tenkning

Side 16

RENERGI: CO<sub>2</sub>-håndtering og økonomi

Side 18

Mangfold er løsningen

Side 20

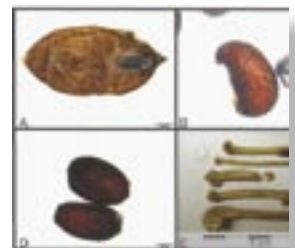
### NORKLIMA – Klimaendringer og konsekvenser for Norge

#### Fossiler avslører fortidens klima på Andøya

Gjennom å studere fossile plante- og dyrerester funnet i sedimentavsetninger på bunnen av myrer, innsjøer og tjern er det mulig å rekonstruere fortidens vegetasjon og klima.

På Andøya i Nordland finnes fersk- og saltvannsavsetninger som strekker seg fra vel 21 000 år tilbake i tid og fram til i dag.

Side 22

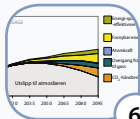


# Innhold

Synspunkt: Det store CO <sub>2</sub> -spillet .....	3
En innføring i CO <sub>2</sub> -håndtering .....	4
Pilottesting av CO <sub>2</sub> -håndtering i 2007 .....	5
FNs klimapanel gransker CO <sub>2</sub> -lagring .....	6
Teknologi som drivkraft i klimapolitikken .....	8
Teknologier fro CO <sub>2</sub> -håndtering – hvor er vi? .....	10
Tank hydrogen .....	13
Teknologien bak hydrogenbiler .....	14
KRONIKK: Karbonlagring i petroleumsreservoarer – en sikker vinner? .....	13
DEBATT: Langsiktig tenking – et vanskelig tema .....	17



4



6



13



15

## RENERGI

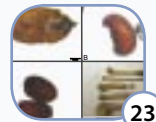
Er norsk storsatsing på CO <sub>2</sub> -håndtering effektiv klimapolitikk? .....	18
Løsningen på klimaproblemet er mangfoldig .....	20



18

## NORKLIMA

Fossiler avslører fortidens klima på Andøya .....	22
Hva skjedde med solen? .....	24
Kommentar. Den vanskelige vindkraften .....	25
Tiltroen til klimamodellene styrket .....	26
Temperatursvingninger i Atlanterhavet knyttes til klimaendringer .....	27
Moderate endringer i vindklima .....	28
Detaljerte modellresultater av Sjøisen ved Svalbard .....	30



23



30

## Cicerone 6/05

### Redaksjon:

Tove Kolset (Ansv. red.)  
Pål Prestrud  
Petter Haugneland  
Kristin Rypdal  
Knut H. Alfsen

### Formgivning:

Tone Veiby

### Redaksjonen avsluttet:

5. desember 2005

Forskningsprogrammene NORKLIMA og RENERGI disponerer egne sider i *Cicerone* etter avtale med CICERO Senter for klimaforskning. Redaktør for NORKLIMA-sidene er professor Sigbjørn Grønås. Hans Otto Haaland er ansvarlig for RENERGI-sidene.

### Bidrag til *Cicerone*

Redaksjonen mottar gjerne artikler, kronikker og debattinnlegg om klimaforskning og klimapolitikk. Artikler og kronikker skal normalt være ca 8 000 tegn inkludert mellomrom og debattinnlegg ca 2 000 tegn.

Alle artikler og innlegg står for forfatterens regning og representerer ikke nødvendigvis synet til CICERO.

Bidrag til *Cicerone* kan sendes med e-post til [cicerone@cicero.uio.no](mailto:cicerone@cicero.uio.no).

### Ønsker du å abonnere gratis på *Cicerone*?

e-post: [admin@cicero.uio.no](mailto:admin@cicero.uio.no)

Tlf: 22 85 87 50

Telefaks: 22 85 87 51

Samtlige utgaver av *Cicerone* siden 1995 finnes på:  
[www.cicero.uio.no/cicerone](http://www.cicero.uio.no/cicerone)

## Det store CO<sub>2</sub>-spillet

Statoil har gjort det, OD har gjort det, NVE har gjort det, SFT har gjort det, IPCC har gjort det, IEA har gjort det, Bellona har gjort det, GassTek har gjort det, mange forskningsinstitusjoner har vært involvert i det, og det er sikkert mange jeg ikke kjenner til som også har gjort det. Gjort hva? I løpet av de siste 1-2 årene har de forsket på, eller utredet mulighetene for å lagre CO<sub>2</sub> under havbunnen eller i bakken. Alle konkluderer med at det er mulig å kvitte seg med store mengder CO<sub>2</sub> på denne måten, men det er variasjoner i anslag over lønnsomheten.

Det er demonstrert at teknologien virker. Den har vært i bruk i minst 30 år i USA for å øke oljeutvinningen fra oljebrønner i Texas. Drevet fram av karbonavgiften har Statoil de siste årene kvittet seg med omtrent en million tonn CO<sub>2</sub> per år på Sleipnerfeltet ved å sende den tilbake til reservoaret. Tilsvarende skal gjøres på Snøhvitfeltet. Med all denne kunnskap og praktiske erfaring skulle man tro at det er grunnlag for å fatte beslutninger om satsing på CO<sub>2</sub>-lagring som klimapolitisk virkemiddel. Men beslutningen sitter langt inne. Grunnen er at det synes å foregå et Svarteper-spill om hvem som skal betale regninga og ta risikoen.

**“Det synes å foregå et Svarteper-spill om hvem som skal betale regninga og ta risikoen.”**

Både Bellona og GassTek (sammen med PIL og ZERO) påstår at CO<sub>2</sub>-lagring utviklet som en verdikjede fra utslippsskilde til oljebrønn vil være lønnsomt dersom det er nok CO<sub>2</sub> tilgjengelig til å utnytte potensialet for økt oljeutvinning. CO<sub>2</sub> brukt som trykkstøtte kan øke oljeutvinningen med opptil 10-12 % avhengig av geologiske forhold i brønnen. Med en oljepris på 30 USD, en CO<sub>2</sub>-kvotepris på rundt 20 EUR/tonn, og en kostnad på å rense CO<sub>2</sub> på rundt 250 kr/tonn, vil lagring i følge disse utredningene være lønnsomt. Men da må det produseres mer CO<sub>2</sub>; les: bygges flere gasskraftverk. Ganske så utrolig! Bellona og GasTek påstår at det produseres for lite CO<sub>2</sub> i Norge til å redusere utslippene.

La gå at utredningene fra Bellona og GasTek må saumfares og etterprøves, og at det er behov for enda grundigere vurderinger/utredninger. Men jeg hadde likevel ventet at kommentarene fra lederne av de to store oljeselskapene i Norge var noe mer ydmyke enn de vi har sett i mediene den siste tiden. Mitt spørsmål er: hvorfor er det ikke norske industriselskaper eller norske myndighetsorganer som har lansert ideen om en CO<sub>2</sub>-verdikjede? For alle som ville se lå utfordringen klar til å gripes fatt i. Jeg savner mer engasjement og offensiv vilje til å ta fatt i denne type utfordringer fra de som har makt og myndighet. Her har mange hatt anledning til å vise “corporate social responsibility”. Vattenfall, BP, og amerikanske selskaper utvikler for tiden kullkraft- eller gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering. De gjør det neppe fordi det er økonomisk lønnsomt nå. Hvor er norske industriselskaper?

Det vi trenger nå er konkret handling og demonstrasjonsprosjekter - ikke flere utredninger! La det gigantiske prosjektet som Bellona, GasTek og andre har skissert være en visjon, det kan uansett ikke planlegges og vedtas i detalj nå. Begynn i det små med Kårstø og andre gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering. La oss først se om *det* kan fungere før vi går videre, så får vi utrede og vurdere underveis. Det er åpenbart at staten må inn for å ta risiko og dekke en del av utgiftene. Like åpenbart burde det være at også industrien tar sin del av ansvaret.

Skal dette lykkes må vi ha tro på at klimaproblemet vil eksistere lenge og ta innover oss at utslippene må reduseres med mer enn 50 % i løpet av de neste tiårene. I et slikt perspektivet skal det mye til for at CO<sub>2</sub>-lagring ikke skal bli lønnsomt for samfunnet – også uten økt oljeutvinning. Det er derfor både IPCC, IEA og SFT anbefaler at dette er noe å satse på. Og det er det eneste tiltaket jeg kan se der Norge virkelig kan ha noe å bidra med internasjonalt i bekjempelsen av globale utslipp.



Pål Prestrud, direktør, CICERO Senter for klimaforskning

**GOD JUL OG GODT NYTT ÅR!**

# En innføring i CO<sub>2</sub>-håndtering

CO<sub>2</sub>-håndtering er hyppig nevnt som løsningen på klimaproblemet. Men hva er egentlig CO<sub>2</sub>-fangst, CO<sub>2</sub>-frakt og CO<sub>2</sub>-lagring?

## Petter Haugneland

Ved å fange CO<sub>2</sub> fra fossile brensler som kull, olje og gass og lagre det i bakken eller i havet, kan man unngå at utslippene går direkte opp i atmosfæren og øker drivhuseffekten. På denne måten kan vi fortsette å utnytte tilgjengelige fossile brensler, uten å bidra til den globale oppvarmingen.

Men det finnes også en rekke ulemper med dette klimatiltaket. For eksempel koster det mer å fange, frakte og lagre CO<sub>2</sub> i forhold til å slippe klimagassen rett ut i atmosfæren. Man risikerer også at noe kan lekke ut fra lagringsplassen. Hvem skal ha ansvaret for slike lekkasjer?

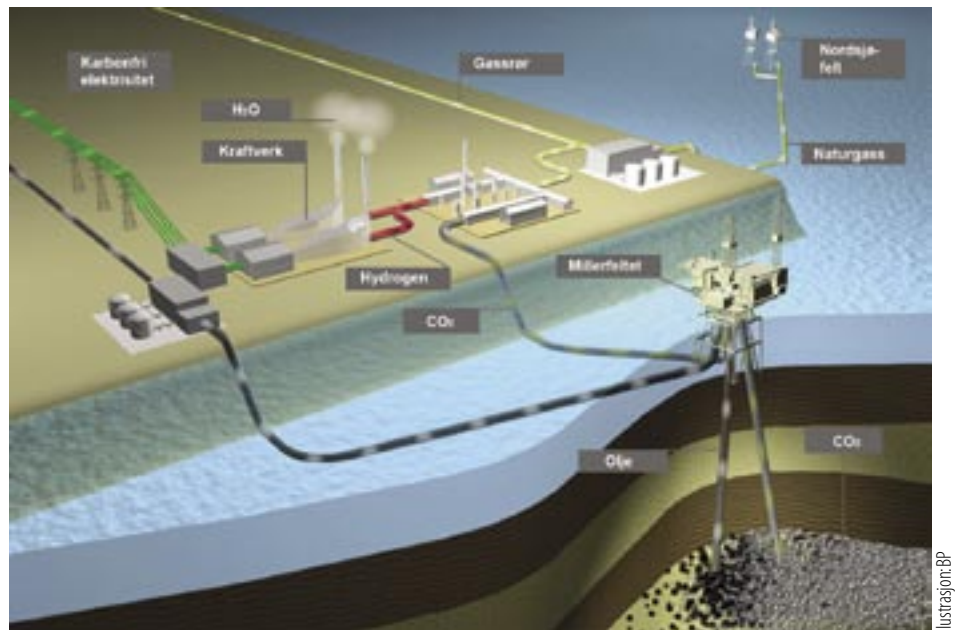
Men først skal vi ta en nærmere titt på kjeden fra fangst via frakt til lagring av CO<sub>2</sub>.

### CO<sub>2</sub>-fangst

Når man skal håndtere CO<sub>2</sub>, må man først fange klimagassen fra kilden. Dette kan gjøres før eller etter man brenner kullet, oljen eller gassen for å generere elektrisk kraft og varme (se blant annet artikkelen *Teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering – hvor er vi?* s. 10).

Det enkleste og mest aktuelle i forhold til CO<sub>2</sub>-håndtering er å fange CO<sub>2</sub> fra store kull- eller gasskraftverk. Man kan også bygge hydrogenfabrikker som produserer drivstoff til biler, siden det ikke er særlig aktuelt å fange CO<sub>2</sub> fra hver eksospotte. Så lenge framstillingen av hydrogen ikke fører til utslipp av CO<sub>2</sub> til atmosfæren, kan vi på denne måten få tilnærmet utslippfri veitransport.

Å fange CO<sub>2</sub> gir en ekstra kostnad fordi man må bygge og drive et renseanlegg. I tillegg vil rensingen kreve energi. Et kraftverk vil typisk bruke mellom 10 til 40 prosent mer energi for å rense avgassene.



RESSURS. British Petroleum (BP) har foreslått et anlegg for å skille ut CO<sub>2</sub> fra et gasskraftverk og pumpe klimagassen ned i en oljebrønn ved Millerfeltet.

Selv om et kraftverk ikke er helt utslippsfritt, vil det likevel være mulig å redusere utslippene med 80 til 90 prosent i forhold til et anlegg uten CO<sub>2</sub>-håndtering hvis man regner med energitapet.

### CO<sub>2</sub>-frakt

Fanget CO<sub>2</sub> må fraktes ut til et passende lagringssted. Først må man klargjøre gassen for frakt, og det vil i de fleste tilfeller være å kjøle den ned slik at den blir flytende. Den mest aktuelle formen for CO<sub>2</sub>-frakt er å bruke rørledninger, og jo nærmere CO<sub>2</sub>-kilden er lagringsstedet, jo

billigere blir fraktkostnadene. I en startfase og for mindre kilder kan det også være aktuelt å bruke skip til frakt. Da slipper man de store investeringene som rørledninger medfører, og man kan samle opp CO<sub>2</sub> fra mange kilder som ligger spredt.

### CO<sub>2</sub>-lagring

Siste steg i håndteringen av CO<sub>2</sub> er å lagre den på et trygt sted. I dag er det mest aktuelt å lagre CO<sub>2</sub> i tomme oljebrønner, eller i geologiske formasjoner enten under vann eller på land. FNs klimapanel har anslått at det på verdensbasis er lagrings-



plass for om lag 2 000 gigatonn CO<sub>2</sub> (se artikkelen FNs klimapanel gransker CO<sub>2</sub>-lagring s. 6). Dette vil kunne dekke behovet for lagring fram til 2100. Problemet er at lagringsstedene ikke nødvendigvis ligger i nærheten av utslippskildene, og da vil fraktkostnadene kunne bli store. I tillegg er det viktig at lagringen skjer på lokaliteter som har stabile geologiske forhold, for eksempel med tanke på jordskjelv.

For å redusere kostnadene ved CO<sub>2</sub>-lagring kan det være aktuelt å pumpe ned CO<sub>2</sub> som trykkstøtte i oljefelt og dermed øke utvinningen av olje samtidig som man blir kvitt CO<sub>2</sub>. Men det er ikke mange nok oljefelt på verdensbasis til at dette tiltaket bidrar vesentlig til å redusere de globale utslippene. Det er også usikkert om hvor store utslippsreduksjoner man faktisk oppnår så lenge den økte oljeutvinningen også fører til økte utslipp.

Det største potensialet for lagring av CO<sub>2</sub> finnes i havet. Havet tar allerede opp halvparten av våre utslipp når naturen

prøver å balansere CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i atmosfæren og havet. Hvis vi pumper CO<sub>2</sub> ut i havet vil det kunne holdes borte fra atmosfæren i mange hundre år, avhengig hvor dypt utslippet skjer. Men vi har ikke kommet langt i forskningen på hvor lenge

**“Prisen på utslipp av CO<sub>2</sub> må være så høy at det lønner seg å rense.”**

utslippene vil bli værende i havet og ikke minst hvilke konsekvenser det vil ha på livet i havet. Mer CO<sub>2</sub> i havet vil påvirke pH-balansen og gjøre det surere, noe som kan ha alvorlige konsekvenser for mange dyrearter. En lagringstid på noen hundre år er ikke tilstrekkelig til å gjøre havlagring til et godt klimatiltak.

En annen løsning på lagring av CO<sub>2</sub> er å omdanne det til fast stoff i form av

karbonater, eller fryse det inn i form av hydrater. Da vil man ikke risikere lekkasjer ved for eksempel jordskjelv. Men denne teknikken er foreløpig lite utviklet og veldig dyr og det er usikkert hvor permanent lagringen i form av hydrater vil være.

#### Løsningen på klimaproblemet?

Framtidsscenarioer vurdert av FNs klimapanel antyder at det innen 2050 er teknisk mulig å fange mellom 20 og 40 prosent av de globale CO<sub>2</sub>-utslippene fra fossile brensler. Hva som er økonomisk mulig vil være avhengig av prisen på CO<sub>2</sub>-håndtering og prisen myndigheter eller markedet setter på CO<sub>2</sub>-utslipp. Prisen på utslipp av CO<sub>2</sub> må være så høy at det lønner seg å rense. FNs klimapanel anslår at prisen må opp på mellom 25 til 30 dollar per tonn CO<sub>2</sub>, før renseanlegg blir bygd i stor skala. I dag er prisen på CO<sub>2</sub>-utslipp i EU rundt 21 Euro for de utslippskildene som er inkludert i EUs kvotemarked.

# Pilottesting av CO<sub>2</sub>-håndtering i 2007

Det internasjonale samarbeidet CO<sub>2</sub> Capture Project skal legge til rette for pilottesting av teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering innen utgangen av 2007.

## Petter Haugneland

CO<sub>2</sub> Capture Project har som oppgave å utvikle teknikker for oppfangning og geologisk lagring av CO<sub>2</sub> fra bruk av energi basert på fossilt brensel.

I første fase av CO<sub>2</sub> Capture Project ble 50 millioner amerikanske dollar brukt på å utvikle ulike teknologier som kan redusere kostnadene ved å fange opp CO<sub>2</sub> og sikre at det er mulig å få til en sikker geologisk lagring av CO<sub>2</sub>. Åtte selskaper har sammen med statlige myndigheter i USA, EU og Norge samarbeidet om styringen og finansieringen av denne teknologiutviklingen.

Andre fase i prosjektet har nå startet. På bakgrunn av resultatene fra

første fase skal det legges til rette for ulike typer teknologier som kan være klare til pilottesting innen utgangen av 2007. Andre fase skal også etter planen demonstrere at geologisk lagring av CO<sub>2</sub> er trygt, og at det kan gi gode muligheter til reduserte klimagassutslipp.

Selskapene som deltar i andre fase av prosjektet er BP, ChevronTexaco, ConocoPhillips, Eni, Hydro, Petrobras, Shell og Suncor. I første fase var også norske Statoil med i prosjektet.

– CO<sub>2</sub> Capture Project har ført til mer avansert teknologi for å fange opp CO<sub>2</sub>, og har vist at det er mulig å redusere kostnaden pr. tonn oppfanget CO<sub>2</sub> med mer enn 50 prosent. Prosjektet

har høy anseelse internasjonalt og har fått rosende omtale fra ulike finansieringsinstitusjoner, sier Lars Ingolf Eide. Han er sjefingeniør for gass og kraftteknologi ved Hydros forskningspark i Porsgrunn og representerer Hydro i prosjektets styre.



Lars Ingolf Eide fra Hydro

Les mer om prosjektet på:  
[www.co2captureproject.org](http://www.co2captureproject.org)

# FNs klimapanel gransker CO<sub>2</sub>-lagring

**Kan lagring av CO<sub>2</sub> bli et viktig bidrag til å løse verdens klimaproblem? FNs klimapanel (IPCC) har vurdert saken, og mener slik lagring kan komme til å utgjøre opptil halvparten av utslippskuttene i århundret som kommer.**

## Andreas Tjernshaugen

Hvis CO<sub>2</sub>-håndtering skal bli et betydelig bidrag til å løse verdens klimaproblem må tre krav oppfylles: For det første trengs det solid dokumentasjon av at lagringsstedene er trygge og permanente. For det andre må metoden anerkjennes som et verdifullt miljøtiltak av opinionen og av politiske myndigheter, og nasjonalt og internasjonalt lovverk må tillate lagringen og klarlegge rettigheter og ansvar. For det tredje må kostnadene ved rensing av CO<sub>2</sub> fra kraftverk og andre store utslippskilder være akseptable og helst lavere enn alternative løsninger for å unngå CO<sub>2</sub>-utslipp, slik som å erstatte fossile brensler med fornybar energi. Den nye spesialrapporten om CO<sub>2</sub>-håndtering fra FNs klimapanel (IPCC) som ble endelig godkjent i slutten av september vil få stor betydning for kommende diskusjoner om alle disse spørsmålene.

### Trygt og permanent?

I Norge er det få tegn til bekymring for lekkasje fra lagrene under Nordsjøen. Det kan delvis skyldes stor tiltro til petroleumsgeologenes og oljebransjens kunnskap om grunnforholdene på kontinentalsokkelen. Skepsisen i miljøbevegelsen er mindre i

Norge enn i mange andre land, selv om meningene er delte. Dessuten ligger de aktuelle lagringsplassene langt fra der folk bor. Vi har derfor lett for å undervurdere hvilken betydning spørsmålene om sikker og permanent lagring vil spille i andre deler av verden.

Klimapanelets liste over tenkelige lokale konsekvenser forklarer hvorfor lagring i bakken under bebygde områder for eksempel i Tyskland eller USA fort kan bli kontroversielt: Økt trykk på grunn av gass

**“Rapporten slår fast at hele CO<sub>2</sub>-håndteringssystemet fra rensing til lagring kan settes sammen av kjente teknologier som allerede brukes i industrien.”**

som injiseres kan utløse små, lokale jordskjelv. Skulle store mengder CO<sub>2</sub> (mot formodning) brått frigjøres fra rørledninger eller lagre, kan det føre til at mennesker og dyr i nærheten kveles av oksygenmangel. CO<sub>2</sub> som lekker gradvis fra geologiske lagre kan forurense grunnvannet og ta livet av planter og av dyr som lever nede i jorda. IPCC-rapporten nevner disse mulighetene, men legger samtidig vekt på at risikoene er sammenlignbare med dem man støter på for eksempel ved rørtransport og lagring av naturgass, transport av CO<sub>2</sub>, eller deponering av svovelholdig gass dypt i undergrunnen for å unngå luftforurensning. Erfaring fra disse aktivitetene kan derfor tjene som

grunnlag for å håndtere slik risiko.

Det andre problemet ved eventuelle lekkasjer er selvsagt at CO<sub>2</sub>-gassen likevel frigjøres til atmosfæren og dermed bidrar til forsterket drivhuseffekt. Ved geologisk CO<sub>2</sub>-lagring i en skala som monner for jordas klima, vil selv en langsom lekkasje få betydelige konsekvenser over tid. IPCC konkluderer med at hvis lagringen utføres på forsvarlig måte er det svært sannsynlig (90-99 prosent) at mer enn 99 prosent av lagret CO<sub>2</sub> fortsatt er på plass etter hundre år. Etter 1000 år er det sannsynlig (66-90 prosent) at mer enn 99 prosent fortsatt er på plass. Det aller meste vil forbli i lagrene i overskuelig framtid så sant lagrene er riktig utvalgt og behandlet. IPCC trekker ingen konklusjon om hvilken grad av lekkasje eller risiko som er akseptabel.

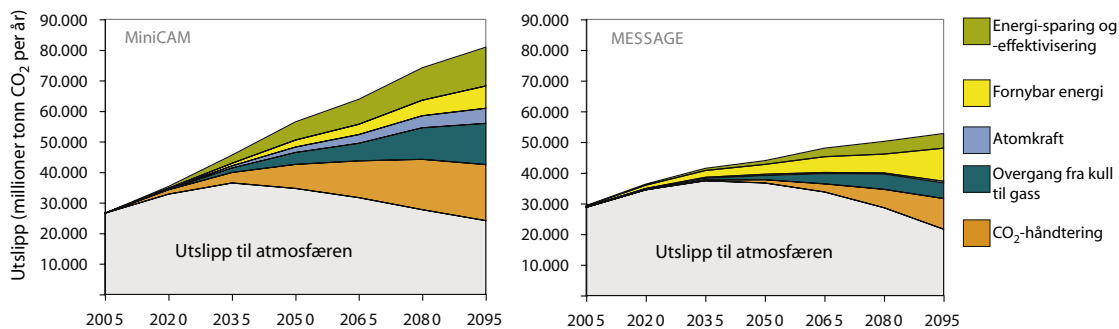
### Gammel og ny teknologi

Rapporten slår fast at hele CO<sub>2</sub>-håndteringssystemet fra rensing til lagring kan settes sammen av kjente teknologier som allerede brukes i industrien. Det finnes likevel ingen erfaring med å fange store mengder CO<sub>2</sub> fra kraftverk med sikte på å unngå utslipp til atmosfæren, og dette betyr at de første anleggene kan få betydelige ekstrakostnader før man lærer hvordan man best designer og driver slike systemer. Klimapanelet graderer den teknologiske utviklingen til komponentene i fire nivåer: Teknologier i forskningsfasen, teknologier i demonstrasjonsfasen, teknologier som er ”økonomisk gjennomførbare under bestemte forhold” og modne teknologier som allerede har et betydelig marked. Storstilt fangst av CO<sub>2</sub> i kraftverk før eller etter forbrenning (se artikkelen

### Andreas Tjernshaugen

er doktogradsstipendiat ved CICERO Senter for klimaforskning  
(andreas.tjernshaugen@cicero.uio.no)

Beregninger av det økonomiske potensialet for CO<sub>2</sub>-håndtering 90 år fram i tid. Figurene er hentet fra IPCC spesialrapport, og viser beregninger med to forskjellige analysemodeller. Det grå feltet nederst viser utviklingen i utslipp til atmosfæren, de fargede feltene viser bidraget ulike tiltak og teknologier gir til å redusere utslippene. Disse eksemplene forutsetter en aktiv klimapolitikk, og viser bare to av en rekke forskjellige utviklingsbaner som vurderes som mulige av IPCC.



**Teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering – hvor er vi? s. 10** regnes som ”økonomisk gjennomførbart under bestemte forhold”, selv om teknologi for utskilling av CO<sub>2</sub> i mindre mengder til industriell bruk i seg selv er brukt i stor utstrekning. En tredje renseteknologi, oxy-fuel, er fortsatt i demonstrasjonsfasen. Rørtransport av CO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> brukt i meroljeutvinning er modne teknologier, mens geologisk lagring i tomme olje- og gassreservoarer eller vannførende steinlag (akviferer) regnes som ”økonomisk gjennomførbare under bestemte forhold”. Et eksempel på forhold som kan gjøre slik lagring økonomisk gjennomførbart er CO<sub>2</sub>-avgiften på norsk sokkel, som har fått Statoil til å satse på slik lagring av CO<sub>2</sub> i en akvifer ved Sleipner-feltet. Lagring i havet er fortsatt i forskningsfasen, og de mulige konsekvensene for livet i havet gir grunn til bekymring.

### Kroner og øre

Diskusjonen om pris dreier seg særlig om renseteknologier. Det er nemlig utskillingen av CO<sub>2</sub> som koster mest i de fleste CO<sub>2</sub>-håndteringssystemer. IPCC har vurdert kostnadene ved å bygge og drive kraftverk med dagens teknologi for CO<sub>2</sub>-fangst og geologisk lagring. Å unngå utslipp av et tonn CO<sub>2</sub> til atmosfæren fra et gasskraftverk kan til sammen koste rundt 40-90 amerikanske dollar, antar IPCC. Hvis CO<sub>2</sub>-gassen kan brukes til meroljeutvinning, mener IPCC at inntektene fra salg av olje kan redusere nettokostnaden til et sted mellom 20 og 70 dollar. Dette er basert på en oljepris på 15-20 dollar fatet, som i dag

framstår som et lavt anslag for framtidig oljepris. Høyere oljepris vil gi langt bedre lønnsomhet for meroljeutvinning og dermed lavere samlede kostnader. IPCC påpeker selv at rapporten ikke har rukket å ta hensyn til den siste tidens stigning i oljeprisen.

Hvis utgangspunktet er

**“IPCC anslår det tekniske potensialet for lagring i ulike typer geologiske formasjoner til minst 2000 milliarder tonn CO<sub>2</sub>, men åpner for at det i virkeligheten kan være langt høyere.”**

kullkraftverk kan kostnadene ved å unngå CO<sub>2</sub>-utslipp til atmosfæren bli betydelig lavere. I kombinasjon med meroljeutvinning (fortsatt forutsatt 15-20 dollar oljepris) kan kostnaden ved å unngå CO<sub>2</sub>-utslipp komme helt ned mot null hvis man erstatter et standard kullkraftverk med et høyteknologisk kullkraftverk som gjør kullet om til gass

før CO<sub>2</sub>-rensing og forbrenning. Det samme gjelder om man erstatter kullkraftverket med et gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering. I noen få tilfeller tror IPCC CO<sub>2</sub>-fangst for økt oljeutvinning kan bli direkte lønnsomt selv med den forutsatte oljeprisen, uten at man regner med en innspar

utslippskostnad (avgift eller kvotepris). Klimapanelet antar likevel at CO<sub>2</sub>-håndtering i stort omfang forutsetter politisk bestemte begrensninger på utslipp av CO<sub>2</sub>, i form av avgifter, kvoter eller andre lovbestemmelser.

Rapporten sier ikke så mye om utsiktene til reduksjon i kostnadene på grunn av læring og teknologisk utvikling, men

fastslår at usikkerheten er stor. Det antydes at forbedring av eksisterende teknologier kan gi minst 20-30 prosent kostnadsreduksjon, mens nye teknologier under utvikling kanskje kan gi enda større reduksjoner.

### Kan bli stort

IPCC anslår det tekniske potensialet for lagring i ulike typer geologiske formasjoner til minst 2000 milliarder tonn CO<sub>2</sub>, men åpner for at det i virkeligheten kan være langt høyere. Til sammenligning er de globale utslippene av CO<sub>2</sub> fra fossile brenslere og sementproduksjon i dag på 27 milliarder tonn CO<sub>2</sub> årlig. Det er lite trolig at hele det tekniske potensialet blir utnyttet. I mange tilfeller vil andre løsninger for å unngå CO<sub>2</sub>-utslipp være mer praktiske og mindre kostbare. Økonomiske modellstudier av hvordan verden billigst mulig kan oppfylle mål om stabilisering av mengden CO<sub>2</sub> i atmosfæren antyder at CO<sub>2</sub>-håndtering kan komme til å utgjøre fra 15-55 prosent av hele innsatsen for å kutte utslippene (se figur). Det utgjør nesten ufattelige mengder CO<sub>2</sub> som skal pumpes ned i bakken. Men den aller første forutsetningen er selvfølgelig at myndighetene setter forpliktende mål om å kutte utslippene. For selv om det finnes unntakstilfeller der merutvinning av olje (eller gass) kan betale for CO<sub>2</sub>-rensing, er det meste av lagringspotensialet i geologiske formasjoner som ikke inneholder utvinnbar petroleum, slik at lagring vil representere en kostnad og ikke en inntektskilde.

## FNs klimapanel (IPCC)

FNs klimapanel (IPCC) skal være et bindeledd mellom forskning og politiske beslutninger omkring menneskeskapte klimaendringer. Klimapanelet setter ned grupper av fagfolk som vurderer og oppsummerer publiserte forskningsarbeider på ulike felter. Deres rapporter godkjennes av utsendinger fra medlemslandene, som også vedtar korte sammendrag av funnene.

IPCC første hovedrapport kom i 1990, og klimapanelet arbeider nå med sin fjerde hovedrapport. Hovedrapportene tar for seg årsaker til, virkninger av og mulige tiltak mot klimaendringer. Disse vies stor oppmerksomhet i mange land, og danner et viktig grunnlag for de politiske forhandlingene under Klimakonvensjonen. Mellom hovedrapportene utgis spesialrapporter om utvalgte emner som er viktige for det internasjonale klimasamarbeidet. Den nye spesialrapporten vil få stor betydning i diskusjonene om CO<sub>2</sub>-håndtering som klimatilsk.

# Teknologi som drivkraft i klimapolitikken

Med det nyopprettede Gassnova gir norske myndigheter sitt bidrag med risikovillig kapital, spisskompetanse og initiativ til utviklings samarbeid i forbindelse med gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering.

## Bjørn-Erik Haugan

Ny teknologi som utvikles, prøves ut og implementeres i stor skala vil være ett viktig bidrag til løsning av klimautfordringene. Dette kan bare gjøres ved at industrien tar lederskap og viser felles vilje til å satse i samarbeid med nasjonale myndigheter.

### Økt bruk av gass i Norge

Det er i Norge bred tilslutning om ønsket om økt innenlands bruk av naturgass. Dette vil styrke verdiskapningen og kraftbalansen. Norges Kyoto-forpliktelser er imidlertid en utfordring fordi utslippene allerede er høyere enn forpliktelsene. De sektorene som er mest krevende er samferdsel, oljeutvinning og mulige utslipp fra nye gasskraftverk. NVE anslår at Norge trenger ca 10% økning av kraftproduksjonen de neste ti år. En slik økning innebærer etter alt å dømme en satsing på gasskraftverk med håndtering av CO<sub>2</sub>.

Regjeringen etablerte 1.januar 2005 innovasjonsselskapet Gassnova som den statlige spydspissen i en satsing på utvikling av teknologi for gasskraft med håndtering av klimagasser. Gassnova og Norges forskningsråd har i samarbeid etablert Climit-programmet som dekker hele innovasjonskjeden fra forskning via teknologi-utvikling til pilot- og demonstrasjonsprosjekter. Climit-programmet forvalter årlig cirka 150 millioner kroner til bruk på teknologiprojekter. I

Bjørn-Erik Haugan

er direktør i Gassnova.

samfinansiering med industrien kan dette gi håp om et aktivitetsnivå på over 400 millioner pr. år i Norge. Dette er ambisiøst.

### Norge spiller en offensiv rolle

I strategier i land med store punktutslipp fra kraftproduksjon, blant annet i EU og USA, ser man på CO<sub>2</sub>-fangst og lagring som ett av flere langsiktige tiltak for å redusere utslippene av klimagasser. Tidsperspektivet for CO<sub>2</sub> fangst- og lagringsprosjekter er gjerne oppstart først etter 2020. Norge har valgt å innta en mer offensiv rolle i disse spørsmålene, og har på visse områder også spesielle forutsetninger for å være en pioner:

- *Motivasjon:* Klimaspørsmål og CO<sub>2</sub>-problematikk har bred aksept og oppmerksomhet i norsk opinion, forskning, næringsliv og forvaltning.
- *Erfaring:* Injeksjon av CO<sub>2</sub> i Utsira-formasjonen ved Sleipnerfeltet er det mest omfattende offshore CO<sub>2</sub>-lagringsprosjektet i verden.
- *Inntekspotensial:* Mulighet for å bruke injisert CO<sub>2</sub> til å øke oljeutvinningsgraden (EOR) gir oss en mulighet som ikke alle land har for å skape inntekter og kanskje danne lønnsomme verdikjeder.
- *Teknologimiljøer:* Vi har i kraft- og oljeindustrien sterke teknologimiljøer som har stor erfaring med implementering av ny, avansert teknologi.

Samtidig har vi noen utfordringer: Kraftteknologi er en internasjonal bransje,

Norge er et lite marked og har en liten leverandørindustri.

### Hvor langt er teknologien kommet?

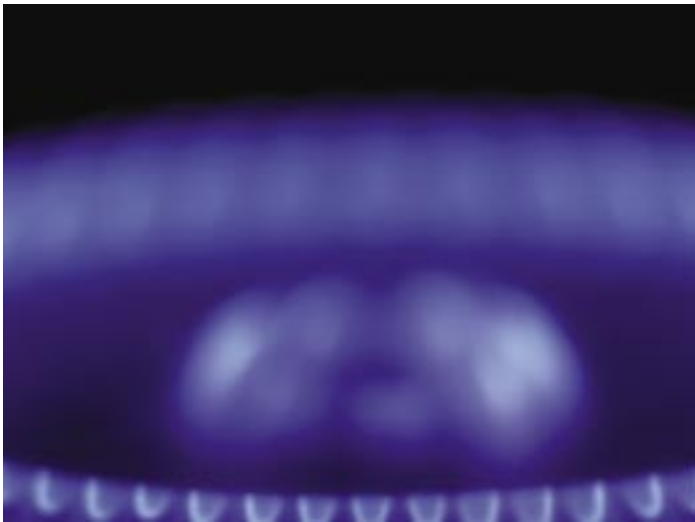
Generelt er teknologimodenheten lav over hele CO<sub>2</sub> kjeden; både når det gjelder fangst av CO<sub>2</sub>, geologisk lagring og injeksjon for å øke oljeutvinning. Med den betydelige utviklingsinnsats som er på trappene internasjonalt kan vi etterhånden ha håp om betydelig reduksjon i kostnader og bedring i prosessytelser. Men utvikling og modning av teknologi for klimagasshåndtering kan bare lykkes gjennom målrettet innsats over lang tid. Det er grunn til å moderere håp om raske "gjennombrudd". Dette gjelder spesielt forventninger om umiddelbart store reduksjoner av kostnadene for fangst av CO<sub>2</sub>.

### Fangst

Teknologi for fangst av CO<sub>2</sub> vil først og fremst anvendes på store punktkilder, for eksempel kraftproduksjon og industriutslipp fra sement- og metallproduksjon, samt fra petrokjemisk industri. Renseteknologi finnes, men er ikke utprøvd i stor skala på den type avgassstrømmer man får fra gasskraftverk. Utviklingen av et bredt spekter av renseteknologier skjer allerede internasjonalt, og også i Norge arbeides det med meget interessante konsepter.

Vi forventer at større anlegg for demonstrasjon av CO<sub>2</sub>-fangst fra gasskraftverk kan påbegynnes relativt raskt (anslagsvis 3-4 år) med betydelig grad av sikkerhet i kostnader og ytelse. Lavere kostnader og bedre ytelse kan komme med prosessforbedringer og med andre teknologikonsepter i fremtiden. På enda lengre sikt





GASSKRAFT. Det er i Norge bred tilslutning om økt innenlands bruk av naturgass. For å oppnå dette samtidig som utslippene av CO<sub>2</sub> ikke økes, kan løsningen være gasskraftverk med håndtering av CO<sub>2</sub>.

(ti år og mer) er det forventet at det finnes et antall avanserte teknologier som kan gi ytterligere forbedringer. Vi må altså satse på bred front innen teknologiutviklingen og i nært samspill med utviklingen internasjonalt.

#### Geologisk lagring

Statoil har i over ti år injisert cirka 1 million tonn CO<sub>2</sub> pr år i den såkalte Utsira-formasjonen på Sleipner-feltet. Dette pioner-programmet har vært gjenstand for omfattende forskningsinnsats og fått meget stor internasjonal oppmerksomhet. De erfaringene man har høstet har bidratt til at man har fått økt tiltro til at geologisk lagring i stor skala kan være et godt egnet virkemiddel for å håndtere CO<sub>2</sub>-problemet. Ettersom CO<sub>2</sub> nødvendigvis må lagres trygt over uhyre lang tid, er det behov for ytterligere utvikling av internasjonalt akseptert metodikk for kvantitativ beskrivelse av geologiske reservoarer med tanke på lagring, utvikling over tid, overvåkingsmetodikk og tiltaksplaner for uhellsscenarioer.

Statoil starter i 2006 injeksjon av CO<sub>2</sub> under Snøhvitfeltet i Barentshavet. Dette blir et viktig skritt på vår nasjonale lærecurve frem mot en slik akseptert metodikk for CO<sub>2</sub>-håndtering.

#### CO<sub>2</sub> for økt oljeutvinning (EOR)

Vi har så langt ingen teknisk, kommersiell eller operasjonell erfaring med denne metoden på norsk sokkel eller andre steder offshore. Igjen må en gå helt feltspesifikt til verks for reservoarstudier, og dessuten avstemme mot feltenes livsfase og andre mulige EOR tiltak. Dette vil i hvert tilfelle innebære komplekse vurderinger. Dessuten må en stille seg slik at et EOR-system i stor skala også har buffertevne, ettersom CO<sub>2</sub>-produksjon og anvendelse til EOR ikke kan synkroniseres. Vi må derfor

**“EOR-behovet skulle ligge nede. Etablering av infrastruktur for CO<sub>2</sub>-logistikkjeden vil bli en stor finansiell utfordring, ikke minst dersom en forventer at investeringer fullt ut skal bæres av det/de felt som først tar CO<sub>2</sub> i bruk til EOR.”**

ha løpende avsetning for CO<sub>2</sub>-produksjonen selv om EOR-behovet skulle ligge nede. Etablering av infrastruktur for CO<sub>2</sub>-logistikkjeden vil bli en stor finansiell utfordring, ikke minst dersom en forventer at investeringer fullt ut skal bæres av det/de felt som først tar CO<sub>2</sub> i bruk til EOR.

#### Utvikling av ny kraftteknologi – noen observasjoner

Det er få aktører i dette markedet. Kraftteknologi er et svært kostbart og avansert teknologiområde der et fåtall store selskaper er de ledende globale leverandørene. Disse har stor teknologisk innovasjonsevne og sterke finansielle ressurser som de setter inn mot anvendelser der de ser et omfattende marked. I dag finnes disse vekstmarkedene i land der klimaperspektivet og CO<sub>2</sub> så langt har vært sekundært i forhold til ønsket om rask økonomisk vekst.

*Teknologien har lang utviklings- og levetid.* Moderne gasskraftverk har forbedret sin virkningsgrad med så lite som et par tre prosentpoeng over de siste ti årene, og det etter investeringer på flere hundre millioner dollar. Når så et kraftverk er bygget, er det en investering som skal vare over mange tiår.

*Kravet til trygghet i teknologivalg er kritisk for kundene.* Leverandørene av nye kraftverk må stille omfattende økonomiske garantier for ytelse og driftssikkerhet. Slik trygghet kan leverandørene bare tilby etter omfattende og tidkrevende verifikasjon og driftserfaring på ny teknologi.

#### Ikke bare teknologi

Spørsmålet om håndtering av CO<sub>2</sub> etter utskillelse i kraftanlegg eller i industrien er også økonomisk utfordrende. Verdikjedene rundt olje/gassproduksjon, -distribusjon, kraft-

produksjon og CO<sub>2</sub>-håndtering er lange og komplekse, og krysser tradisjonelle bransje- og forvaltningsgrenser. Beslutningsmekanismene blir kompliserte, investeringsbehovet er stort og mange er bekymret for risiko.

Klimadebatten er ofte sentrert rundt Kyoto-forpliktelsene og oppfyllelse av avtalens formelle krav. Kvoteregimet som er etablert for å sikre oppfyllelsen av avtalen kan være

kraftfull. Likevel er tidsperspektivet (2008-12) etter vårt syn altfor kort for å gi tilstrekkelig insentiv for teknologiutvikling og investeringsbeslutninger for nye anlegg. Arbeidet med å etablere langsiktige og forutsigbare virkemidler i verdikjeden må fortsette.

#### Hvordan ser framtiden ut?

Etter vår mening vil det være fornuftig å prioritere:

- Trinnvis implementering av ny teknologi for CO<sub>2</sub>-fangst gjennom støtte til demonstrasjonsanlegg. På kort sikt (2-7 år) er det behov for oppskalering av såkalt aminrensing, forbedring av virkningsgrad og reduksjon av kostnader.
- Teknologiutvikling – på lengre sikt kan andre teknologier vise seg mer optimale. Teknologistrategien må derfor være bred: ingen enkeltteknologi peker seg i dag ut som enerådende. Gassnova ønsker derfor å satse på flere parallelle teknologikonsepter med ulik risikoprofil og modningsgrad.
- Utvikling av bedre metodikk for karakterisering av geologisk lagring, særlig fysisk sikkerhet, lekkasje-sikkerhet, prognostisering av reservoarens utvikling og overvåkning.
- Utvikling av infrastruktur for geologisk lagring av CO<sub>2</sub>.
- Bedre metoder for å feltspesifikt verdisetse EOR, samt bedømme risikoelementer.

Gjennomføring av disse tiltakene forutsetter at industrien tar utfordringen i samarbeid med offentlige myndigheter.

For mer om Gassnova –  
[www.gassnova.no](http://www.gassnova.no)

# Teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering – hvor er vi?

I norsk sammenheng kan gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering bidra til å redusere våre klimagassutslipp, bedre kraftbalansen og potensielt skaffe til veie miljøvennlig strøm til Europa og elektrifisering av sokkelen. Internasjonalt har den samme teknologien et stort potensial anvendt på kullkraftverk. Hvor langt er vi kommet i dag når det gjelder innfangning og lagring av CO<sub>2</sub>?

## Nils A. Røkke og Ola Maurstad

Norge er sannsynligvis det landet i verden der CO<sub>2</sub>-håndtering står høyest på den politiske agendaen. Moderne gasskraftverk som slipper ut CO<sub>2</sub> omtales her til lands som gammeldags teknologi til tross for at de representerer høyteknologi på romfartsnivå. Selv om slike kraftverk vil bidra til å redusere utslippene i mange land, vil de i det vannkraftdominerte Norge bidra til økte klimagassutslipp. Med regjeringens Soria Moria-erklæring ser det ut til at den norske gasskraftdebatten finner sin løsning gjennom et statlig engasjement for gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering. For miljøet som Gassteknisk senter NTNU-SINTEF representerer er det spennende å forske på en teknologi som kan bidra til at Norge møter sine Kyoto-forpliktelser gjennom handling – og ikke bare gjennom kjøp av kvoter. På kortere sikt kan fanget CO<sub>2</sub> brukes som trykkstøtte og ”smøring” i oljefelt og dermed øke oljeutvinningen (EOR – Enhanced Oil Recovery) og bedre lønnsomheten (se kronikken *Karbonlagring i petroleumsreservoar - en sikker*

*vinner?* s.13). På lengre sikt ser vi for oss en lagringsløsning i geologiske strukturer under havbunnen.

Veksten i den globale energibruken har hovedsakelig vært dekket gjennom økt forbruk av fossile brensler slik som kull, olje og gass. Forbrenning av fossile brensler medfører at karbonet i brenslene reagerer

”Moderne gasskraftverk som slipper ut CO<sub>2</sub> omtales her til lands som gammeldags teknologi til tross for at de representerer høyteknologi på romfartsnivå.”

med oksygen fra luften slik at klimagassen CO<sub>2</sub> dannes og varme frigjøres for omsetning til kraft. Teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering er en fascinerende løsning ettersom de tillater fortsatt bruk av fossil energi, men med sterkt reduserte utslipp. Typisk vil man rense ut 80-90 prosent av dannet CO<sub>2</sub>. Denne teknologien kan spille en helt sentral rolle på veien mot mer bærekraftige energisystemer og bør ses i sammenheng med energieffektivisering/moderasjon og økt produksjon av fornybar energi.

### Anvendelsesområder

Teknologien kan enklest anvendes på store punktkilder av utslipp fra forbrenning av kull, olje og gass, samt biomasse. Som en kuriositet kan det nevnes at biomasse er ”CO<sub>2</sub>-nøytralt” dersom uttaket blir kom-

pensert av ny vekst. Man vil i dette tilfellet faktisk netto bidra til å fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren (negative utslipp). Internasjonalt fokuserer imidlertid forskningen hovedsakelig på kullkraftverk, mens den i Norge fokuserer på gasskraftverk. Dette kan nok forklares med utgangspunkt i de ulike landenes ressursituasjon. Til tross for at kraftproduksjon representerer et større potensial for utslippsreduksjoner, kan utslipp fra ulike industriprosesser som for eksempel sementproduksjon representere såkalt ”lavthengende frukt” (lave innfangingskostnader) for CO<sub>2</sub>-håndtering. Her kan prosessstrømmer med høy konsentrasjon av CO<sub>2</sub> ofte føre til en enkel og billig CO<sub>2</sub>-fangst.

### Hvorfor er ikke teknologien realisert?

Til tross for betydelig omtale og lanseringer av mange nye teknologiske løsninger, er ingen kraftverk med CO<sub>2</sub>-håndtering av noen størrelse foreløpig realisert. Dette gjelder både gasskraftverk og kullkraftverk, både i Norge og internasjonalt. Når tekniske løsninger basert på kommersielt tilgjengelige komponenter foreligger, hva er så grunnen til at kraftverkene likevel ikke bygges? Hovedgrunnen er kostnadsbildet og den tilknyttede finansielle risiko. Fangst av CO<sub>2</sub> krever betydelige merinvesteringer. For et gasskraftverk på 400 MW (megawatt) i elektrisk effekt vil et rensanlegg for eksosgassen i dag kunne doble investeringskostnaden. Videre vil fangst og kompresjon av CO<sub>2</sub> for transport medføre et økt forbruk av naturgass, og dermed økte

### Nils A. Røkke

er leder for Gassteknisk Senter NTNU-SINTEF og Direktør Gassteknologi SINTEF.

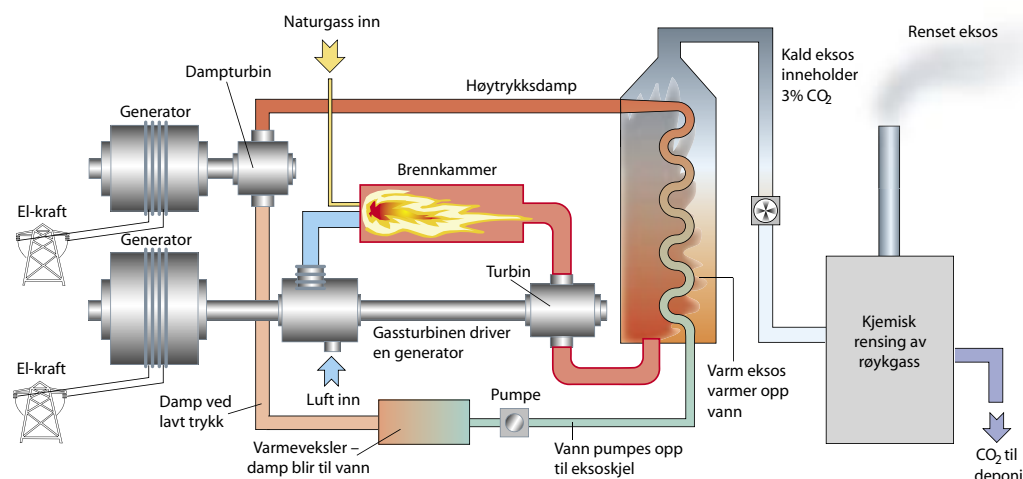
### Ola Maurstad

er postdoktor ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

brenselkostnader per produsert kWh el (kilowatttime elektrisitet). For å transportere CO<sub>2</sub> fra kraftverket til lagringsplassen eller EOR-anvendelsen, kreves også en infrastruktur med for eksempel rørledninger. Flere tall verserer blant ulike aktører når det gjelder kostnadene ved CO<sub>2</sub>-håndtering. Ettersom vi ikke har erfaring fra realiserte storskala anlegg, er alle disse beheftet med usikkerhet. Dette illustreres i den ferske rapporten "Carbon dioxide capture and storage" der IPCC antyder en kostnad i området 20-70 US\$ per tonn CO<sub>2</sub>-utslipp som unngås.

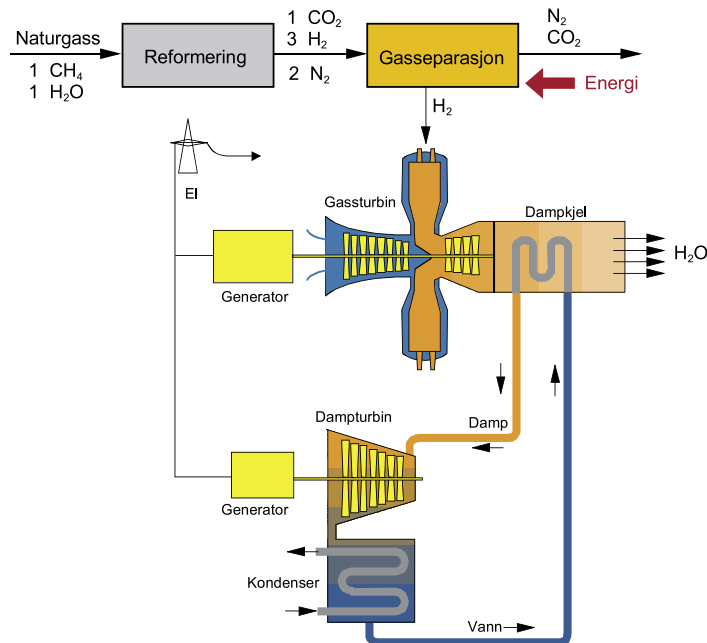
### Hvor står teknologien i dag?

Teknologi for CO<sub>2</sub>-håndtering fra gasskraftverk og kullkraftverk inndeles i tre hovedkategorier. Vi har valgt å bruke de rådende internasjonale begrepene for disse: a) post-combustion, b) pre-combustion og c) oxy-fuel. Post-combustion innebærer at CO<sub>2</sub> innfanges i et eksosgassrensaneanlegg etter forbrenning. Denne teknologien er mest teknologisk moden, og kan i prinsippet "hektes" på kraftverket uten tett integrasjon med dette. Pre-combustion teknologien konverterer naturgass/kull til en hydrogenrik gass samtidig som CO<sub>2</sub> innfanges. Den hydrogenrike gassen brukes deretter som brensel i et gasskraftverk slik at eksosen inneholder svært lite CO<sub>2</sub>. Denne teknologien vurderes som noe mer kompleks, men som moden med kommersielt tilgjengelige komponenter. Internasjonalt er det mye fokus på IGCC (Integrated gasification combined cycle) som en miljøvennlig måte å utnytte kull og det finnes flere demonstrasjonsanlegg. Her gassifiseres kull til en hydrogenrik blanding som forbrennes i et gasskraftverk der CO<sub>2</sub> potensielt kan fjernes fra brenselstrømmen slik at man får en eksos som inneholder svært lite CO<sub>2</sub>. For teknologien oxy-fuel skjer forbrenningen med rent oksygen istedenfor med luft (der store mengder nitrogen blandes inn og kompliserer fangst av CO<sub>2</sub> fra eksosen) slik at eksosen kun består av vanddamp og CO<sub>2</sub> som enkelt kan separeres ved nedkjøling og er billig.



Figur 1. Gasskraftverk med eksosgassrensing (teknologien post-combustion)

-Selve kraftverket er her i prinsippet uforandret i forhold til et konvensjonelt gasskraftverk. Elektrisitet produseres i generatorer som drives av både en gassturbin og en dampturbin. Naturgassen tilføres brennkammeret og den frigjorte brenselenergien driver gassturbinen. Videre benyttes den varme eksosen til å produsere varm damp som så driver dampturbinen. Til slutt renses den relativt kjølige eksosen for CO<sub>2</sub> i et eget renseanlegg ved bruk av en væskeløsning basert på aminer.



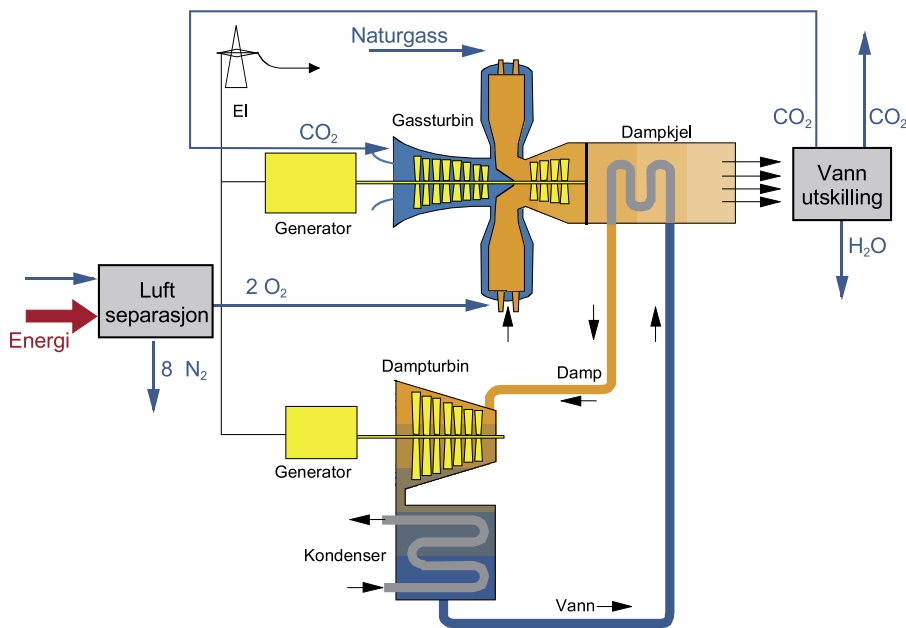
Figur 2. Gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-innfangning før forbrenning (teknologien pre-combustion)  
Gjennom en såkalt reformeringsprosess og konverteres naturgassen til en hydrogenrik gassblanding. Videre behandling av gassblandingen sørger for at karbonet fanges som CO<sub>2</sub>. Det nye brenselet, som så brukes i et gasskraftverk, inneholder svært lite karbon og er således "dekarbonisert". Ettersom det hydrogenrike brenselet har andre egenskaper enn naturgass kreves noen modifikasjoner i gassturbinen.

Imidlertid krever oksygenproduksjonen et dyrt og energikrevende luftseparasjonsanlegg. Teknologien oxy-fuel er mer moden for kull enn for naturgass. Dette skyldes at for kull kan forbrenningen skje i en kjel, mens for et naturgassfyrt gasskraftverk vil de endrede prosessbetingelsene gjøre at dagens gassturbiner får uakseptabel dårlig ytelser. Dermed kreves det i naturgasstilfellet

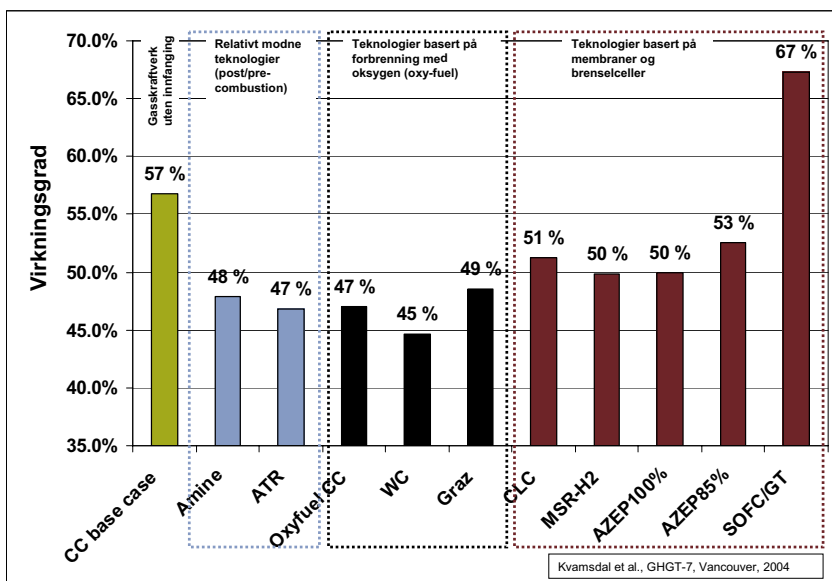
at en ny gassturbin utvikles. Ettersom det er en dyr prosess som kan ta en årrekke, må gassturbinprodusentene være overbevist om et betydelig marked før de satser. Det arbeides også med en rekke andre kraftverkskonsepter med CO<sub>2</sub>-håndtering som ikke passer direkte inn i disse tre kategoriene. For eksempel inngår membraner og brenselceller i flere av disse konseptene som dermed krever

gjennombrudd innen materialteknologi.

I USA brukes CO<sub>2</sub> fra naturlige kilder i grunnen som trykkstøtte for meroljeutvinning (EOR) på kommersiell basis. Her har en også erfaring med transport av CO<sub>2</sub> i rør. Skiptransport av flytende CO<sub>2</sub> kan også være en mulighet. Når det gjelder lagring er det norske Sleipner-prosjektet verdens første og største. Her



Figur 3. Gasskraftverk der forbrenningen skjer med oksygen (teknologien oxy-fuel)  
 Ved å fjerne nitrogenet fra forbrenningsluften til gass turbinen, oppnår man at eksosen fra gass turbinen i prinsippet bare inneholder CO<sub>2</sub> og vandndamp. Ettersom forbrenning med rent oksygen medfører svært høye temperaturer, er det av materialtekniske grunner nødvendig med en resirkulasjon av CO<sub>2</sub> for å kjøle ned turbinen. Utfordringen for et slikt gasskraftverk er imidlertid at nye gass turbiner må utvikles. Grunnen er at dagens turbiner ikke egner seg for de gassblandningene som her strømmer gjennom turbinen.



Figur 4. Virkningsgraden til ulike gasskraftverksteknologier med CO<sub>2</sub>-innfangning under gitte forutsetninger.

skilles CO<sub>2</sub> fra en brønnstrøm med naturgass (fordi kundene i Europa ikke ønsker for mye CO<sub>2</sub> i naturgassen) og sendes ned i salte grunnvannsreservoarer under havbunnen.

### Betydningen av virkningsgrad

Virkningsgraden til et gasskraftverk er et mål på hvor effektivt energien i naturgassen utnyttes. Den er definert som produsert

elektrisk kraft levert til nettet dividert med naturgassens nedre brennverdi (et mål på den kjemiske energien i naturgassen). Virkningsgraden avgjør naturgassforbruket og også hvor mye CO<sub>2</sub> som dannes per kWh elektrisitet produsert. En økt virkningsgrad betyr lavere gassforbruk, mindre dannelse av CO<sub>2</sub> (mindre som må fanges), og normalt også lavere utslipp av NO<sub>x</sub> og andre forurensende gasser.

Som regel vil en økt investering kunne gi en høyere virkningsgrad, imidlertid ønsker et energiselskap ikke å maksimere virkningsgraden, men å minimalisere produksjonskostnaden for elektrisitet. Høye gasspriser og økte kvotepriser for CO<sub>2</sub> er imidlertid faktorer som vil favorisere en høy virkningsgrad.

Vårt miljø i Trondheim har evaluert en rekke ulike gasskraftverk med CO<sub>2</sub>-innfangning. Figur 4 viser virkningsgraden fra termodynamiske beregninger vi har gjort for flere kraftprosesser. Det viktigste å merke seg ved figuren er at en rekke forskjellige teknologier er foreslått og at CO<sub>2</sub>-fangst medfører redusert virkningsgrad. Imidlertid har fremtidige gasskraftverk basert på komponenter som membranreaktorer og brenselceller et stort potensial for forbedringer på lengre sikt.

### Videre forskning ikke til hinder for handling

Som allerede nevnt, er det nødvendig med merinvesteringer for å gjennomføre CO<sub>2</sub>-håndtering. Et annet kjennetegn ved dagens teknologi er en reduksjon i virkningsgraden (på omtrent 10 prosentpoeng). Dette tilsvarer et økt brenselforbruk på over 20 prosent. Det er altså god grunn til å søke etter forbedringer av hensyn til både kostnader og gassressurser. En videre satsning på forskning bør likevel ikke bli til hinder for de mulighetene vi nå ser med bruk av dagens teknologi. På inntektssiden er det mulig for Norge å bruke CO<sub>2</sub> til trykkstøtte og meroljeutvinning i Nordsjøen. Her kan betydelige verdier skapes. Likeså er det slik at for hvert tonn CO<sub>2</sub> vi selv fjerner, sparer vi kvotekostnader på anslagsvis 20-25 euro. Totalt sett kan CO<sub>2</sub>-håndtering vise seg å være en god og framtidrettet løsning med muligheter for at vi som nasjon kan tjene penger på dette. Det er mer framtidrettet av oss å gjennomføre hele CO<sub>2</sub>-kjeden i Norge enn å kjøpe kvoter. Dette innebærer økt norsk verdiskaping ved at vi selv videreforedler vår naturgass til miljøvennlig kraft som kan selges til utlandet. Hadde vi hatt samme verdiskapingen av å selge tømmeret fra Norge som å foredle det til papir? Det samme gjelder for gassen. Vi vil imidlertid understreke at noen strategiske grep må tas for å få realisert CO<sub>2</sub>-håndtering. Noen må ta risiko i verdikjeden og starte opp, og den eneste naturlige aktøren som kan gjøre det i en markedsorientert økonomi er staten. Det kan virke som om vår nye regjering har innsett dette i Soria Moria-erklæringen: "Regjeringen vil samarbeide med utbyggerne av gasskraft om anlegg for CO<sub>2</sub>-fangst, og bidra økonomisk til at dette kan gjennomføres så snart som mulig." Vi vil spent følge og gjerne bidra med vår kunnskap til at regjeringen lykkes i disse målsetningene.



# Tank hydrogen

På en hydrogenkonferanse i Stavanger ble den nye hydrogen- og el-bilen Think Hydrogen presentert. Denne bilen skal til neste år trafikkere i Stavanger som er et av knutepunktene til Hydrogenveien i Norge (HyNor).

## Petter Haugneland

I løpet av 2006 skal HyNor etablere fyllestasjoner for hydrogen i Stavanger, Porsgrunn og kanskje Drammen.

– Vi står ovenfor et krevende år, sa styreleder i HyNor, Christoffer Kloed i åpningen av konferansen.

Videre skal det innen 2008 være fyllestasjoner i Oslo, Grimstad og Lyngdal slik at man kan kjøre og tanke hydrogen mellom Oslo og Stavanger (se *Hydrogen på Tanken* i Cicerone 6-2003).

## Think og Toyota Prius

Den nye *Think Hydrogen*, som vil få en rekkevidde på om lag 250 km med både batteri og hydrogentank, skal trafikere i Stavanger sammen med fem ombygde versjoner av hybridbilen *Toyota Prius*. Det amerikanske selskapet Quantum Technology skal bygge om Priusene slik at forbrenningsmotoren drives med hydrogen i stedet for bensin.

– Å få tak i kjøretøy har vist seg å bli vanskeligere enn mange trodde. HyNor vil i første omgang få tilgang til rundt femten ombygde Toyota Priuser, forteller Einar Håndlykken som sitter i sekretariatet til HyNor. – Hydrogenbilene er fortsatt litt langt fram for folk flest. Men med disse demonstrasjonsbilene vil hydrogenbiler være noe folk vet om og snakker om, fortsetter han.

– Bilindustrien satser mye på hydrogen i forhold til usikkerheten i markedet. Utviklingen vil gå sin gang, men hvis vi ønsker fortgang i utviklingen må myndighetene inn å gi støtte, sier Tor O. Sætre ved Høyskolen i Agder og leder for knutepunktet til HyNor i Grimstad.

## Ingen lovnader fra regjeringen

Erik Lahnstein, politisk rådgiver i samferdselsdepartementet ville ikke gi noen lovnader om økt støtte under konferansen i Stavanger.

– Når vi skal prioritere er vi ikke opptatt av først og fremst hydrogen. Hydrogen er et virkemiddel for å gjøre noe med klima og industribygging, sa han.

Han ville heller ikke gi noe

svar på om hydrogenbiler vil få avgiftsfritak på lik linje med el-biler.

– Regjeringen har en gjennomgang av avgiftsregimet og andre virkemidler for å fremme hydrogen, sa han.

Erik Lahnstein la til at det i nærmeste framtid opprettes et strategisk råd av forskere og bransjefolk som skal gi anbefalinger til hva regjeringen bør gjøre i forhold til utvikling av hydrogenteknologier.



HYBRID HYDROGENBIL. Den nye Think Hydrogen har en toppfart på 100 km/t og en rekkevidde på om lag 250 km med full hydrogentank og fulladet batteri.

Norge tungt med i EUs hydrogenforskning Norske forskningsmiljøer får derimot mange forskningsmidler fra EU.

– EU jobber mye med hydrogen og har puttet mye penger inn i hydrogenforskning. I EUs sjette rammeprogram (FP6) støttet EU hydrogenforskning og utvikling med 28 millioner Euro. I neste rammeprogram ønsker Kommissjonen å doble dette beløpet. Blant annet planlegger EU store demonstrasjonsprosjekter som skal vise hvilket potensiale hydrogen har, sa Line A. Hagen i Norges forskningsråd.

Foreløpig har Norge vært

utmerket seg på hydrogenfronten med blant annet brenselcelleprodusenten Ballard.

– Canada har investert i 215 millioner dollar i hydrogen-samfunnet for 2003-2007, fortalte John Winterbourne ved Canadas ambassade i Norge.

## Stor miljøeffekt

Satsingen på hydrogen skyldes et håp om å kunne stoppe klimagass- og partikkelutslippene fra biltrafikken. Hydrogenbiler som *Think Hydrogen* vil bare slippe ut vanndamp. Hvis hydrogenet blir framstilt fra fornybare kilder som sol- og vindkraft eller fra fossile kilder med CO<sub>2</sub>-håndtering, vil trafikken heller ikke føre til utslipp av klimagasser.

– Tenk på ideen om biler som ikke forurenser, oppfordrer Tor O. Sætre. – Tenk om vi kan få samme luftkvalitet i en storby som vi har i skogen? Brenselcellebiler har miljøeffekt både på klima, luftforurensing og støy. Med hydrogenbiler vil storbyene få et helt annet preg, sier han.

”Med hydrogenbiler vil storbyene få et helt annet preg.”

Tor O. Sætre

med på alle de viktigste hydrogenprosjektene støttet av EU.

– Norge gjør det nesten pinlig godt i EUs FP6, sa Hagen.

Men det er ikke bare EU som satser stort på hydrogen. Det internasjonale energibyrået har organisert et internasjonalt samarbeid og nettverk for forskning på hydrogenteknologi i mer enn 25 år. I 2003 ble International Partnership for Hydrogen Economy (IPHE) startet av USA.

Canada er et land som har

Hydrogenveien i Norge  
[www.hynor.no](http://www.hynor.no)  
Statusrapport om hydrogen  
[www.zero.no](http://www.zero.no)

# Teknologien bak hydrogenbiler

**Hydrogenbiler bruker hydrogen som drivstoff. Hydrogen fungerer godt som drivstoff både i kjøretøy med forbrenningsmotor og i kjøretøy med brenselceller, men miljøeffektene er ulike.**

## Rolf Hagman

I en forbrenningsmotor blir energi-forbruket i selve bilen på samme nivå som for kjøretøy med bensinmotor. Selv om hydrogenet er produsert med hjelp av best mulig tilgjengelig teknologi fra naturgass blir utslippene av CO<sub>2</sub> i et livsløpsperspektiv allikevel høyere enn for tilsvarende bil med bensinmotor. Brenselcellebilen på sin side er kandidat til å bli fremtidens miljøkjøretøy.

### Forbrenningsmotor og hydrogen

BMW har utviklet og eksperimentert med forbrenningsmotorer som kan gå på hydrogen i tillegg til bensin siden midten av 1970-tallet. Et eksempel er en stor BMW 745h, som er utstyrt med en 8 sylindret V-motor og yter 135 kW med hydrogen som drivstoff. Med bensin som drivstoff er ytelsen på over 200 kW. Den reduserte ytelsen antas å skyldes at motoren opprinnelig ikke er bygget for hydrogen, og at man ønsker å holde utslippene av NO<sub>x</sub> lave.

I tillegg til forbrenningsmotoren har BMW installert en liten 5 kW brenselcelle for strømforsyning i noen av sine limousiner av 7-serien. Brenselcellen får drivstoff fra tanken med hydrogen og dekker behovet som bilen har for elektrisk energi. Klimaanelegg, lys, musikkanlegg og andre elektriske funksjoner får energi fra brenselcellen. BMW har kunnskaper og ressurser for å bygge sikre hydrogenbiler. Uten BMWs omfattende motorkompetanse og erfaring ville trolig risikoen for utilsiktede eksplosjoner og "back fire" i motoren være betydelige.

### Rolf Hagman

er forsker ved Transportøkonomisk institutt.

### Brenselcellebiler i 2010

Alle verdens store bilkonserner har utviklet demonstrasjonsbiler med brenselceller. Hydrogen er den ideelle energibæreren for brenselceller. GM med utviklingssjef Larry Burns synes å være det bilkonsernet som offisielt er mest optimistisk når det gjelder kommersiell introduksjon av brenselcellebiler.

Larry Burns snakker om konkurransedyktige brenselcellebiler i løpet av 2010. Andre bilkonserner og andre representanter fra GM er mer skeptiske. Bærekraftig hydrogenproduksjon fra fornybar energi vurderes av mange som en forutsetning for at brenselcellebiler skal kunne bli attraktive. Det er først når hydrogenet kan produseres med fornybar energi, eller med CO<sub>2</sub> håndtering, at det i et livsløpsperspektiv er mulig med vesentlige reduksjoner i utslipp av klimagasser. I et livsløpsperspektiv kan energiforbruket (målt i energienhet per kilometer) med hydrogen fra naturgass og CO<sub>2</sub>-håndtering bli en utfordring.

Brenselcellebiler er rene nullutslippsbiler og slipper ikke ut noe som helst av lokalt forurensende avgasser som NO<sub>x</sub> og partikler. Dette argumentet til fordel for brenselcellebiler er godt. Men tiden og med strengere avgasskrav vil argumentet få mindre betydning. Avgassutslippene fra kjøretøy vil som følge av planlagte og ytterligere skjerpede krav bli så lave, at de sannsynligvis får liten helsemessig betydning.

Brenselceller er i seg selv helt stillestående og problemer med støy fra vifter som presser luft og hydrogen gjennom brenselcellen kan høyst sannsynlig løses.

DaimlerChrysler AG har fra tidlig på 1990-tallet demonstrert brenselcellebiler. Nocar-serien, basert på Mercedes A-klasse, er kommet i flere generasjoner. Energibæreren har vært metanol, flytende og komprimert hydrogen.

### For store visjoner

Visjonen om hydrogenbiler og hydrogen-samfunnet tok fart da Daimler-Crysler, Ford og Ballard på slutten av 1990-tallet inngikk et nært samarbeid for å utvikle konkurransedyktige brenselcellesystemer. Daimler-Crysler lovet 40 000 brenselcellebiler i 2004 og siden en dobling hvert år. Realiteten ble en annen.

Hva som er teknisk mulig er ofte ikke det samme som hva som er sannsynlig på kort sikt. Det er stor usikkerhet knyttet til flere faktorer når det gjelder brenselcelleteknologi for kjøretøy. Brenselcellenes kostnader, levetid og toleranse for ekstremt klima er store utfordringer:

- Produksjonskostnadene må reduseres med minst 95 prosent
- Levetid må forbedres med over 90 prosent
- Brenselcellesystemene må tåle kuldegrader ned til -20 °C uten å fryse i stykker

### Teknisk mulig

Teknisk er det mulig å produsere brenselcellebiler med hydrogen som drivstoff. Innen bilindustrien holdes det som har økonomisk verdi hemmelig, men det går rykter om løsninger på kuldeproblematikken. Utviklingsingeniører hos Toyota håper å få frem en kommersiell brenselcellebil i løpet av 2015. Hybridteknologi kan med batterier bidra til redusert størrelse av stakken med brenselceller og som i Toyota Prius gjøre det mulig med gjenvinning av bremseenergi.

Kostnader, behovet for oppbygging av infrastruktur og manglende driftssikkerhet vil dog medføre at en kommersialisering ikke er sannsynlig i løpet av de nærmeste 10-15 årene. Så får vi se hvordan det går med materialkostnader, kuldeegenskaper og andre utfordringer.

# Karbonlagring i petroleumsreservoar – en sikker vinner?

Bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning kan hjelpe Norge med å innfri sine forpliktelser i internasjonale klimaavtaler. Men de globale utslippene vil neppe reduseres noe særlig på grunn av økt oljeeksport.

## Asbjørn Aaheim

Det er sjelden at en utredning fra en miljøorganisasjon får så stor oppmerksomhet som den som ble Bellona til del nylig. Grunnen var at de la fram sin rapport om hvordan en kunne få til storstilt lagring av CO<sub>2</sub> i olje- og gassreservoarer i Nordsjøen, og hvorfor en bør satse på det. Det er kanskje heller ikke så rart. Lagring av CO<sub>2</sub> i berggrunnen kan fjerne den store motstanden mot gasskraftverk, det vil kunne sikre kraftforsyningen i Norge i lang tid framover og dermed løse den kanskje største interne floka som regjeringen har i fanget. Bellona ser dessuten ut til å ha gjort en grundig og god jobb. CO<sub>2</sub> som trykkstøtte i olje- og gassreservoarene kan være mirakelmedisinen for våre egne dilemmaer i klimapolitikken. Vurdert som klimatiltak knytter det seg imidlertid usikkerhet til det. Det kan bli dyrt, og bidrar bare i liten grad til å redusere utslipp av klimagasser.

### Trenger mye CO<sub>2</sub>

Forutsetningene for at Bellonas idé skal kunne gjennomføres er at injisering av CO<sub>2</sub> gir tilstrekkelig økning i utvinnbare olje- og gassreserver. For å få det til må det blant annet investeres i infrastruktur som krever store investeringer. Det nytter ikke å sette i gang i liten skala. Selv bekymrer Bellona seg for at det kan bli vanskelig å skaffe til veie nok CO<sub>2</sub> fordi en ikke har mange nok store punktutslipp i Norge. Dette kan åpenbart true den økonomiske lønnsomheten, men er lite å bekymre seg

### Asbjørn Aaheim

er forsker ved CICERO Senter for klimaforskning  
(asbjorn.aaheim@cicero.uio.no)



ØKT OLJEUTVINNING. Statfjord-feltet kan være aktuelt for bruk av CO<sub>2</sub> for økt oljeutvinning (EOR).

Foto: Statoil

for dersom en først og fremst er opptatt av å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene.

Bellona baserer beregningene sine på moderate antakelser, for eksempel på prisen for CO<sub>2</sub>-kvoter eller oljepriser, men det er ikke gitt hvordan dette slår ut. En lav CO<sub>2</sub>-pris betyr at en unngår å overdrive lønnsomheten av å lagre. På den annen side betyr det også at gasskraftverkene som skal kvitte seg med CO<sub>2</sub> fremstår som

mer lønnsomme enn de kanskje vil bli. Det kan imidlertid hende at høy pris på olje gir lav etterspørsel etter olje og dermed vil føre til lave kvotepriser, slik at prosjektets lønnsomhet stabiliseres. Men det ville være lite klokt å basere seg på antakelser om hvordan oljepris og pris på CO<sub>2</sub>-kvoter henger sammen. Det sikreste er å anta at begge prisene vil være svært usikre, også i overskuelig framtid.



### Usikre kostnader

Utover den usikkerheten som knytter seg til prisene, er det vanskelig å danne seg noen klar mening om anslagene for prosjektets kostnader. Dette gjelder generelt når en gjør forhånds-beregninger av store investeringer. Erfaringene på dette området, ikke minst fra olje- og gassvirksomheten, er stort sett dårlige. Problemet trenger ikke ligge i inkompetanse eller bevisst manipulering fra dem som gjør beregningene. Det kan like gjerne skyldes ubevisste valg. Man skal holde oversikt over et mylder av usikre faktorer, og da kan det være naturlig å velge ut fra det ståsted man har. Det kan hende at beregningene Bellona har gjort ikke bærer preg av dette, men det motsatte kan også være tilfellet. Poenget er at de som skal ta den endelige beslutningen ikke vet.

Et godt råd når usikkerheten er stor, er å gå forsiktig fram, og sikre seg en mulighet for å endre strategi underveis. I dette tilfellet betyr det at en starter med små prosjekter, og bygger dem ut etter hvert dersom det går bra. En slik strategi ser imidlertid ikke ut til å være mulig. Man må binde seg til storsatsing fra begynnelsen, og det er det offentlige som må bære risikoen. Det i seg selv bør tenne et blått lys, men betyr ikke automatisk tommelen ned. Dersom lønnsomheten i form av mer oljeutvinning er stor nok, eller miljøgevinsten er betydelig, så er ikke usikkerhet i seg selv et argument for å legge prosjektet bort.

### Miljøgevinsten avhengig av øynene som ser

Det ser ut til at Bellona har overbevist mange om at lønnsomheten ved CO<sub>2</sub>-injisering kan være lønnsomt. Miljøgevinsten har vi hørt mindre om, men det skyldes nok at den synes å være åpenbar: Norske CO<sub>2</sub>-utslipp reduseres slik at det blir lettere å nå utslippsmål som vi måtte forplikte oss til gjennom internasjonale avtaler. Dersom en skal gjøre alvor av å redusere utslipp så mye at klimaendringene i overskuelig framtid bare blir moderate, kan det snart bli snakk om betydelige kutt i utslippene. I

den sammenheng må injiseringsprosjektet vurderes som svært interessant, til tross for usikkerheten.

I dette tilfellet er det imidlertid stor forskjell mellom å redusere norske utslipp og bidra til å redusere klimaproblemet, for CO<sub>2</sub> skal jo brukes til å produsere mer olje, og det gir større utslipp enn om en ikke hadde injisert. I standardberegninger antar en at 1 tonn CO<sub>2</sub> kan øke oljeutvinningen med litt over ¼ tonn, som gir i overkant av 0,8 tonn utslipp av CO<sub>2</sub>. Nettogevinsten er altså liten: Norge unngår å slippe ut CO<sub>2</sub>, men i utlandet tas dette langt på vei igjen.

Anslag på denne nettoeffekten er selvfølgelig også usikkert. Hvor mye gass som skal til for å få ut

et ekstra tonn olje avhenger av geologien i reservoarene. Dessuten krever fangst av CO<sub>2</sub> i seg selv mye energi, som gir nye utslipp. På den annen side kan det også hende at prosjektet vil utvikle teknologi som gjør det billigere å lagre CO<sub>2</sub> i geologiske strukturer der det

ikke er olje og gass fra før, og der all den CO<sub>2</sub> som lagres betyr reduserte utslipp. Dersom man erstatter vann med CO<sub>2</sub> i felt der det injiseres vann fra før, som for eksempel på Ekofisk, vil også all CO<sub>2</sub> som lagres kunne regnes som reduksjon i globale utslipp. Videre kan en tenke seg at eksport av gasskraft fra Norge vil erstatte kullkraft i andre land, og dermed øke nettoeffekten av CO<sub>2</sub>-lagring i norske felt.

Forutsetningen for at lagring av CO<sub>2</sub> i olje- og gassreservoarer skal være lønnsomt avhenger av om en kun er opptatt av norske utslipp, eller om en vurderer tiltaket i en global sammenheng. Det kan være gode grunner til å bare konsentrere seg om Norge, fordi klimaavtaler også i fremtiden mest sannsynlig vil være basert på at landene enes om å feie for egen dør. Men det er også grunn til stille spørsmålsteget ved om CO<sub>2</sub>-lagring i olje- og gassreservoarer kan sidestilles med andre utslippsreducerende tiltak dersom et tonn lagret CO<sub>2</sub> i Norge bare svarer til en reduksjon i utslipp av klimagasser på 0,2 tonn.

“Et godt råd når usikkerheten er stor, er å gå forsiktig fram, og sikre seg en mulighet for å endre strategi underveis.”

# Langsiktig te et vanskelig t

For den som ikke ønsker å leve etter den franske  
kommer syndefloden, er det grunn til bekymring  
kompetanse i tvil og bruker uenigheten innen  
se bort i fra et viktig anliggende som CO<sub>2</sub> - uts

### Hanne Christensen

Det er forskningens natur at man ikke alltid har entydige konklusjoner. Men man må som folkevalgt politiker faktisk være så oppegående at man følger konklusjonene til flertallet forskere. Skal alle opponenter til de 90 prosent som er enige lyttes til, får man aldri gjort noe. Effekten av en miljøendring er ofte sammensatt og ikke alltid forutsigbar. Forskerne kan være uenige om effekter og alvoret i øyeblikket, men de fleste forteller oss at trenden ikke kan fortsette stort lenger uten at det får konsekvenser.

Hvis vi ser bort ifra de faglige argumentene fra klimaforskningen som tilsier at vi må få redusert CO<sub>2</sub>-utslippene, så er det flere andre argumenter for at vi må fokusere på langsiktig tenkning når det gjelder klodens helsetilstand. For de av oss som ønsker at kloden skal være levelig for våre etterkommere spiller det faktisk ingen rolle om klimaendringene skyldes menneskeskapte eller naturlige prosesser. En økning i CO<sub>2</sub>-nivået vil uansett skape utrivelige forhold på kloden, som har gjennomgått mange naturkatastrofer og utryddelser gjennom tidene. En annen side er at karbonsyklusen er en hårfin balanse som lett forstyrres av menneskeskapte ekstratilsførsler av CO<sub>2</sub> og lett vil kunne brikke over til et ”naturlig” masseutslipp av klimagassen.

### Korsberg kritisk

Fremskrittpartiets stortingsrepresentant Øyvind Korsberg er politiker og stiller seg kritisk til de fremste klima-

### Dr.scient. Hanne Christensen

For tiden lærer ved Asker videregående. Hun har tidligere drevet forskning på effekter av PCB i marine pattedyr (oter), med radiomerking av gaupe i Setesdal og med forvaltningsplaner for store rovdyr og villrein.



# ankning – tema

ke solkongens motto: Etter meg  
ing når politikere trekker forskeres  
n forskningen som argument for å  
lipp.

forskerne i Norge som sier vi må handle nå (Kronikk, Cicerone 4-2005). Jeg lurer på om han også er like kritisk til evolusjonistene som sier følgende:

*Mennesket er selektert for å reprodusere seg og være effektive ressursbrukere. Ressursbruken skjer til fordel for en selv, familie, slekt, venner og allierte samarbeidspartnere på kort sikt og på bekostning av konkurrenter og langsiktige hensyn. Våre forgjengere var sannsynligvis mest opptatt av å få tak i nok mat til å forsørge familier, finne seg en partner, og opprettholde tilfredsstillende og stabile vennskap. Det å forutsi effekten av våre handlinger tiår inn i fremtiden har sannsynligvis aldri hatt noen prioritet. Menneskene var få og teknologien begrenset slik at vi bare fikk lokalt begrenset slitasje på miljøet. Vi har altså en medfødt tilbøyelighet til å tenke mer på det kortsiktige enn på det langsiktige og til å tilgodese oss selv, familie, venner og samarbeidspartnere.*

Ref: Dr. philos Iver Mysterud 2003

Det er viktig at politikerne i større grad lytter til majoriteten av forskernes konklusjoner og handler ut i fra ekspertisens råd. Hvis en ikke gjør det, vil vi overlate velferdssamfunnet og den økonomiske utviklingen til rene markedskrefter, privatisering og individuell valgfrihet, noe som vil føre til den sterkeste rett, til store

klasseskiller, masseforbruk av energi og ukontrollerte utslipp av CO<sub>2</sub>. Og tilgi min ufine måte å vinkle det på, men jeg håper da ikke dette er Fremskrittpartiets politikk?

### Kollektivt ansvar

I en global verden må vi tenke mer kollektivt. Etter min mening må staten sørge for en rettferdig og sosial fordeling av ressurser og ha styring på bruken av fellesgodene. Staten må også ta ansvar når det gjelder klodens helsetilstand som er en konsekvens av enkeltindividenes økonomiske vekst og energiforbruk. Økonomisk upopulære tiltak er av og til nødvendig

**“Øyvind Korsberg bør ikke arbeide imot utslippsreduksjoner. En så oppegående mann bør heller som folkevalgt lytte til majoriteten av forskerne.”**



skal man tenke langsiktig og bærekraftig.

Mange vil sikkert kunne være enige i at **fred, fattigdomsbekjempelse og miljøvern** er de viktigste kollektive globale utfordringene verden står overfor. Avhengig av vårt ståsted vil vi rangere viktigheten av de tre utfordringene ulikt. De fleste vil mene at å bekjempe den globale oppvarmingen av jorda er det viktigste anliggende vi står overfor. Men de mange koplingene mellom de tre utfordringene må bli klarere for oss.



Alle de tre har blant annet det fellestrekk at vi må tenke langsiktig uten å ha fått 100 prosent bevis for effekten av å unnlate å handle.

Når det gjelder fattigdomsbekjempelse: Vår klode er ikke overbefolket, men den globale fordelingspolitikken må endres. Ti milliarder mennesker kan ikke ha samme forbruk som det den vestlige verden har i dag. Spørsmålet er hvorvidt landene i den vestlige verden er villige til å redusere sitt forbruk og dele med andre. Vil vi tillate andre land samme økonomiske og teknologiske vekst som oss selv (med tilsvarende utslipp av fossilt brensel), hindre andre land i denne økonomiske utviklingen eller løse problemet rundt energiforbruket som økonomisk vekst innebærer på annen måte (for eksempel ved miljøvennlig teknologi)?

Økonomisk vekst og energiforbruk henger nøye sammen. Derfor er fattigdomsbekjempelse og klimaproblematikk et fellesanliggende, selv om hvert enkelt land må gå i seg selv og gjøre sitt. Vi er ikke tjent med å sitte på ressurser og holde andre nede i det lange løp. Det er blodig urettferdig og kan føre til aggresjon og terrorvirksomhet fra de undertrykte sin side.

Øyvind Korsberg (Cicerone 4-2005) bør ikke arbeide imot utslippsreduksjoner. En så oppegående mann bør heller som folkevalgt lytte til majoriteten av forskerne og stille seg spørsmålet: Hvordan kan vi både sørge for fred, økonomisk vekst i den tredje verden og reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp samtidig?

# Er norsk storsatsing på CO<sub>2</sub>-håndtering effektiv klimapolitikk?

Samfunnsøkonomen Brita Bye ved Statistisk sentralbyrå (SSB) ønsker mer edruelighet i debatten om hvor mye Norge skal satse på utvikling av teknologier for CO<sub>2</sub>-håndtering. – Vi må ikke pøse på med penger uten at vi vet hvilke effekter satsingen vil ha på klimagassutslipp og den norske økonomien som helhet, sier hun.

## Petter Haugneland

Norge er et lite land med en åpen økonomi. Dette tilsier at Norge ikke nødvendigvis bør satse penger på å utvikle nye teknologier på egen hånd. Det kan gi mer valuta for pengene å støtte innføring av ren teknologi som andre har utviklet, og som allerede har vist seg å fungere.

– En storsatsing på utvikling av ny teknologi koster, og gevinstene er ikke nødvendigvis veldig store. Vi ønsker å gi politikerne og andre et edruelig forhold til satsing på CO<sub>2</sub>-håndtering, sier Bye.

Til en viss grad kan det likevel være ønskelig å støtte forskning og utvikling (FoU) av ny teknologi. Grunnen er at markedet i følge standard økonomisk teori ikke vil bruke like mye penger på dette som det som er ønskelig utifra et samfunnsøkonomisk synspunkt (se artikkelen *Lite effektiv klimapolitikk* i forrige nummer av *Cicerone*). Dette kan skyldes at en privat bedrift ikke tar hensyn til at egen FoU-virksomhet kan gi positive effekter for andre private bedrifter i form av teknologi-

spredning og større utbytte av egen FoU. Økonomiens evne til å tilpasse seg ny teknologi fra utlandet vil også kunne være bedre om det drives egen FoU-virksomhet. Samfunnet vil derfor tjene på å bruke mer penger på FoU og derfor bør myndighetene støtte slik aktivitet.

“Ny teknologi kan gi store utslag på utslipp, selv om effektene på den norske økonomien er liten”

## Norge i forskningsfronten

Hva er så tilfellet for CO<sub>2</sub>-håndtering og hydrogen, hvor Norge foreløpig er en del av forskningsfronten? Bye og hennes kolleger er allerede i gang med å se på hvilke effekter økte bevilgninger til utviklingen av nye energiteknologier kan ha på den norske økonomien, og for norske klimagassutslipp. Gruppen ser på om

støtte til utvikling av nye rene teknologier kan være bedre klimapolitikk enn skatter og avgifter for et lite land som Norge.

Til dette bruker forskerne en datamodell som simulerer den norske økonomien for å se på om det er fornuftig av norske myndigheter å støtte utvikling av ren teknologi og eventuelt hvor mye. I tillegg vil de se på hvordan FoU bør kombineres med subsidier til innføring av eksisterende teknologier og tradisjonelle virkemidler som skatter og kvotehandel.

## Subsidier bedre enn skatt?

– Foreløpige resultater fra en pilotmodell antyder at subsidier av forskning og utvikling (FoU) av ny teknologi kan gi en positiv effekt for norsk økonomi, mens en skatt på energibruk gir en negativ effekt, sier Bye. I disse foreløpige beregningene er det imidlertid ikke tatt hensyn til at andre skatter eller avgifter må øke for å kunne finansiere et FoU-subsidie over offentlige budsjetter. Tilsvarende vil de økt skatteinntektene som følger av en energiskatt kunne brukes til å redusere andre skat-



RENERGI – Fremtidens rene energisystem

Norges forskningsråd | Store programmer

RENERGI (2004–2014) er et av Norges forskningsråds «Store programmer». Hovedmålet til RENERGI er å utvikle kunnskap og løsninger som grunnlag for miljøvennlig, økonomisk og rasjonell forvaltning av landets energiresurser, høy forsyningsikkerhet og internasjonalt konkurransedyktig næringsutvikling tilknyttet energisektoren. RENERGI samler både den grunnleggende forskningen, den anvendte teknologiske forskningen og den samfunnsfaglige forskningen.

[www.forskningsradet.no/renergi](http://www.forskningsradet.no/renergi)



**KOSTER MER ENN DET SMAKER?**  
 Brita Bye ved Statistisk sentralbyrå er i ferd med å regne ut hva det vil bety for Norge å satse på CO<sub>2</sub>-håndtering.

Foto: Petter Haugmeland

## Modellbygging

Statistisk sentralbyrå (SSB) har de siste årene fått penger av Forskningsrådet til å utvikle en økonomisk modell som ser på sammenhenger mellom forskning og utvikling (FoU) av rene teknologier, en CO<sub>2</sub>-skatt eller kvotehandel, og utslipp av CO<sub>2</sub>.

klimasammenheng likevel interessant å studere effekter av innenlandsk FoU. Dette fordi ny teknologi kan gi store utslag på utslipp, selv om effektene på den norske økonomien er liten, sier hun.

Men utslippskuttene kommer uansett ikke over natten.

– Vi er opptatt av effekter av politikk på lengre sikt. Man må ha et langt tidsperspektiv når man studerer effekter av forskning og utvikling. I våre modeller opererer vi med en tidshorisont på 30 til 50 år.

### Vanskelig med drastiske kutt i Norge

Bye tror uansett at det blir vanskelig å gjøre drastiske kutt i Norge selv med et forholdsvis langt tidsperspektiv. Målet som Lavutslippsutvalget skal utrede om å kutte norske utslipp av klimagasser med 50-80 prosent innen 2050 ser hun på som veldig vanskelig å oppnå.

– I 2050 vil vi trolig ha mange gasskraftverk for å dekke etterspørselen etter kraft. Uten CO<sub>2</sub>-håndtering vil dette målet bli nærmest umulig. Hvis vi skal gjøre alle kuttene i Norge må vi legge ned prosessindustrien og innføre en ny utslippsfri teknologi for transportsektoren og andre områder som har utslipp i dag. Det vil koste veldig mye, sier Bye.

– Hvis vi legger ned prosessindustrien i Norge vil produksjonen flyttes til andre land og dermed blir ikke de globale utslippene redusert. Hvis vi ikke bygger gasskraftverk vil vi risikere å importere kraft fra fossile brensler fra Europa. Vi må se på dette i en sammenheng med andre land, sier hun.

ter. Den samlede effekten på økonomien av et slikt tiltak er derfor usikker.

I pilotmodellen har forskerne studert et lite utslippskutt som oppnås med en subsidie på 100 millioner kroner eller en skatt som gir tilsvarende utslippskutt. Ved å holde utslippsnivået konstant kan de se den isolerte effekten av enten en subsidie eller en skatt.

– Selv om vi her har sett på et lite støttebeløp til FoU er det ikke sikkert at det lønner seg å øke støtten så mye mer. Alle ressurser har en alternativ bruk som kan gi høyere gevinster for samfunnet, sier Bye.

### Andre gode formål

Støtte til rene teknologier vil ha indirekte effekter på den norske økonomien som helhet, som kanskje ikke er så lette å se i utgangspunktet. Det mest innlysende er at ressursene som brukes til dette formålet vil gå på bekostning av andre

gode formål som kanskje gir mer velferd for samfunnet. Det er heller ikke så lett å vite hvilke teknologier man skal støtte. Myndighetene risikerer å satse alle pengene på en hest, i stedet for støtte innføring av teknologier som allerede har vist seg å fungere.

Grunner til at CO<sub>2</sub>-håndtering og hydrogen kan være to viktige satsingsområder for Norge, er at vi har store gassressurser og mye kompetanse på disse områdene. Hvis vi får utviklet teknologi for produksjon av CO<sub>2</sub>-fri elektrisitet fra et gasskraftverk eller hydrogen fra gass med CO<sub>2</sub>-håndtering, kan dette gi eksportmuligheter. Både ved økt verdi på våre

gassressurser og ved eksport av teknologien i seg selv, hvis vi klarer å være konkurransedyktige. På den andre siden kan utviklingen av slik teknologi vise seg å være svært dyrt, og kostnadene kan lett overstige de potensielle inntektene.

### Kan gi store utslag på utslipp

Selv om Bye i utgangspunktet har en avventende holdning til at Norge satser stort på CO<sub>2</sub>-håndtering, mener hun at FoU har en viktig rolle i kampen mot klimaendringer globalt sett.

– Selv om effektene av innenlandsk FoU generelt er små i en liten, åpen økonomi som den norske, er det i en

**“En storsatsing på utvikling av ny teknologi koster, og gevinstene er ikke nødvendigvis veldig store”**

# Løsningen på klima- problemet er mangfold

I forbindelse med RENERGI-konferansen "Energi og miljø: Ja takk, begge deler" den 1. november, ble det avholdt en paneldebatt om vi løser klimautfordringene med teknologi eller atferdsendring.

## Petter Haugneland

Teknologen **Johan Hustad** fra NTNU mente at verdenssamfunnet først måtte bestemme seg for et langsiktig mål for konsentrasjon av CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

– Allerede med dagens teknologi kan vi redusere utslippene med syv gigatonn CO<sub>2</sub> per år. Disse teknologiene omfatter enøk, fornybar energi, CO<sub>2</sub>-håndtering, hydrogen og overgang fra kull til gass, sa Hustad.

### Rask teknologiutvikling

Han påpekte også at kostnadene ved disse teknologiene kan reduseres i nær framtid og viste til en studie fra Statoil som antydte at det var mulig å halvere kostnadene ved CO<sub>2</sub>-håndtering innen 2014. Hustad viste også til at bruken av solkraft har økt mye mer enn det man trodde tidligere. Selv om solkraft har en liten andel av kraftmarkedet, har ingen andre teknologier i energi-bransjen økt mer.

Videre mente teknologen at det også er et potensiale for å øke oljeutvinningen ved å bruke CO<sub>2</sub> som trykkstøtte, men at studien til Bellona er overoptimistisk.

– Men infrastrukturen for frakt av CO<sub>2</sub> fra kilden til lagringsstedet må være et offentlig ansvar, akkurat som for eksempel utbyggingen av vannkraft var det tidligere. Teknologiske revolusjoner kan ha en rask vekst hvis man sørger for støtte i startfasen. Vi har et investeringsproblem, men politiske løsninger er mulig. Dette vil kreve en offentlig investering. Historisk har vi hatt teknologiske revolusjoner hvert 30-60

år, men vil det omfatte energiteknologi og bruk?, spurte Hustad.

Økonomen **Karine Nyborg** ved Frisch-senteret tok utgangspunkt i atferdsendringer og spurte hvilke endringer i atferd vi kan oppnå uten å ta i bruk ny teknologi.

– Det er ikke sikkert at det er mulig å gjøre mye med bare atferdsendring. Men hvis ny teknologi skal gis oss svaret, hvordan skal vi framskaffe og ta den i bruk?, spurte hun.

**"Frivillig innsats kommer til kort når det personlige offeret er stort eller bidraget er lite synlig for andre."**

Karine Nyborg

### Ikke nok med frivillig innsats

Nyborg mente at sosiale normer og moral kunne få oss til å gjøre noe med klima-problemet til en viss grad. En motivasjon kan være at vi vil gjøre noe for ikke å ødelegge vårt selvbylde som miljøbevisste medborgere. Men hvis handling blir for dyrt, vil vi finne billigere måter. Som for eksempel å endre holdning til hva som er rett og galt og hvem som har ansvaret for

problemet.

– Frivillig innsats kommer til kort når det personlige offeret er stort eller bidraget er lite synlig for andre, sa hun.

Hun mente at løsningen på lav deltakelse i kampen mot klimaproblemet må være offentlig regulering for å unngå koordineringsproblemer og gratispassasjerer. Men noen må også ofre noen goder for det felles beste.

Problemet med å bruke markedet for å ta i bruk ny teknologi er at det er to virkninger som ikke prises i markedet i forhold til miljøteknologi – teknologi-gevinster og miljøkostnader.

– Dette tilsier en subsidie til forskning og utvikling av ny teknologi, kombinert med avgifter på utslipp, sa Nyborg.

### Mørke framtidssikter

Sosiologen **Knut H. Sørensen** ved NTNU startet med at framtiden ikke ser lys ut.

– Se for eksempel på rapporten "Energi 2020+" hvor Norges forskningsråd setter opp ulike scenarier for hvordan energisituasjonen i Norge kan bli framover. I mange av scenariene ser vi at verken politikere eller befolkningen gjør noe, og teknologien hjelper heller ikke i stor grad. Blir det verken atferdsendring eller teknologien-dring i det hele tatt?, spurte Sørensen.

For å gjøre framtidssiktene enda mørkere påpekte han at ny teknologi som løser et problem ofte skaper nye problemer, og at atferdsendring er så godt som umulig å få til.

For å løse problemet med forurensende





Foto: Peter Haugnealand

**BREDDE.** Debatt deltakerne var enige om at ingen enkelttiltak eller teknologi kan løse klimaproblemet. Fra venstre: Knut H. Sørensen (NTNU), Karine Nyborg (Frischsenteret), Johan Hustad (NTNU) og Jørgen Randers (BI/Lavutslippsutvalget).

energi må man ifølge Sørensen velge mellom fire ulike samfunn hvor ingen er særlig attraktive:

- Pekefingersamfunnet.
- Avgiftssamfunnet
- Reguleringsamfunnet
- High-tech samfunnet

Etter å ha revet ned stemningen i salen, bygde Sørensen den til en viss grad opp igjen med noen svar som kan hjelpe på situasjonen.

– I forhold til teknologiutvikling må vi tenke på en annen måte. Vi skal ikke velge mellom den ene eller den andre teknologien. Vi trenger et teknologisk mangfold. Det er for tidlig å gifte seg med én teknologi. Det må satses på bred front, sa han.

#### Dyrk mangfoldet

– I forhold til folks atferd trenger vi en demokratisk dialog der behovet for lave utslipp blir forstått. Vi må også dyrke livsstilsmangfoldet og redefinere vår definisjon av komfort.

– Til slutt behøver vi å fokusere på det positive og ikke bare snakke om energisparing og nøkternhet. Nå har det gått en periode uten at vi har bygd

Norge. Det er på tide å bygge Norge igjen, avsluttet Sørensen.

BI-professor og leder av Lavutslippsutvalget, **Jørgen Randers** mener det er mulig å løse klimaproblemet med teknologi. Men det er utrolig vanskelig å få folk til å satse på ny teknologi.

– Etter å ha jobbet med dette i over 30 år er min erfaring at folks reaksjon aldri kommer i forkant av et problem, og etter at man starter går prosessen utrolig tregt, sa Randers.

**“Det er for tidlig å gifte seg med én teknologi.**

**Det må satses på bred front”**

*Knut H. Sørensen*

#### Klimaproblemet løst om hundre år

Men Randers påpekte at det ikke skal store atferdsendringer til for å redusere utslippene av drivhusgasser.

– I løpet av hundre år har menneskeheten endret kraftkilde fra fossilt til solenergi. Om hundre år er problemet løst, sa han.

Hindringen for at dette ikke skjer i dag er at solenergi foreløpig er dyrere enn energi basert på fossile brensler.

Tidligere skifte i energikilder har gått fra dyrere til billigere. Nå er det omvendt, fra billigere til dyrere. Dette gjør det ifølge Randers vanskelig, men ikke umulig å gå over til det nye.

– Man må gå inn for å gjøre fossile brensler så dyre som mulig og fornybare kilder så billig som mulig. Når fornybare kilder blir billigere, vil skiftet gå fort, sa han.

Fra salen ble det påpekt at et slikt skifte ville senke prisene på olje og gass, og dermed

slippsutvalget prøver å gjøre gjennom blant annet åpne høringer og debatt på utvalgets nettsider.

– Forskningen tenker i for stor grad på en løsning som senere skal innføres. Vi trenger en løpende dialog med publikum som gir forståelse for problemet som skal løses. Holdningen til folk har forhåpentligvis blitt litt bedre, og vi må spille på lag med denne holdningen, ikke mot den.

Dette var CICEROs direktør **Pål Prestrud** enig i.

– Det er en skrikende mangel på kunnskap om hva klimaproblemet er. Vi må få fram at løsningene ikke behøver å forringe folks liv, sa han.

– Det kan være farlig å gjøre tidlige valg, men valgene må gjøres nå. Vi trenger forskning for å få plass CO<sub>2</sub>-håndtering, varmpumper og effektive biler, mindre utslipp fra fly og reduserte marine utslipp. Det er nødvendig med en frisk blanding av tekniske og samfunnsvitenskapelige løsninger, sa Randers avslutningsvis.

verdien på Norges oljeformue.

Randers mente at denne hypotesen var svært usikker og at det er like sannsynlig at man vil finne nye bruksområder for olje og gass som gjør at prisene ikke synker.

#### Løpende dialog med befolkningen

Videre pekte Randers på at man også må se på den praktiske gjennomføringen av tiltak og ha en løpende dialog med befolkningen, slik Lavut-

# Fossiler avslører fortidens klima på Andøya

Gjennom å studere fossile plante- og dyrerester funnet i sedimentavsetninger på bunnen av myrer, innsjøer og tjern er det mulig å rekonstruere fortidens vegetasjon og klima. På Andøya i Nordland finnes fersk- og saltvannsavsetninger som strekker seg fra vel 21 000 år tilbake i tid og fram til i dag.

**Ellen Elverland, Karl-Dag Vorren, Tore O. Vorren, Torbjørn Alm og Anne Karin Hufthammer**

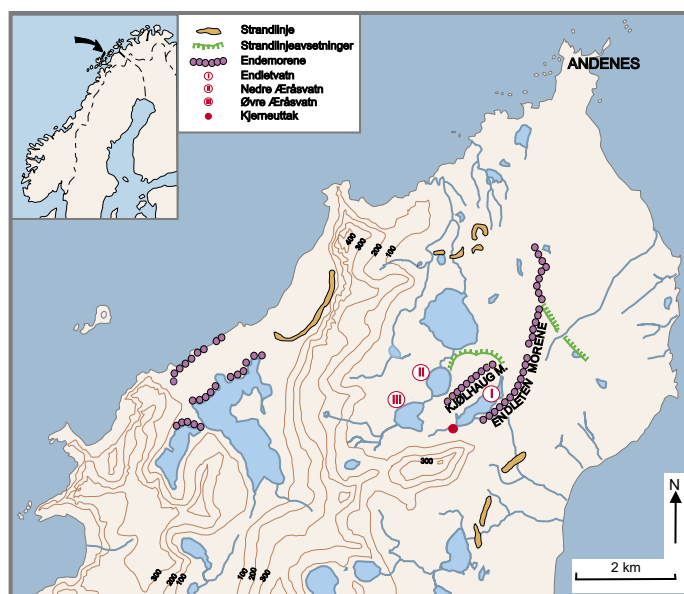
Makrofossiler er plante- og dyrefossiler som kan ses med det blotte øyet. En undersøkelse av slike makrofossiler i avsetninger fra Andøya i Nordland kan dateres til perioden mellom cirka 21 000 til 12 000 kalenderår før nåtid og gir oss grunnlag for å trekke sammenlikninger med vegetasjonen og klimaet på deler av dagens Svalbard.

Det er tidligere utført omfattende paleoklimatiske undersøkelser blant annet ved hjelp av fossilt blomsterstøv (pollen) på nordre Andøya. Makrofossiler er i dette arbeidet viktige redskap for å kunne forstå og tolke den lokale vegetasjonen og det lokale dyrelivet i et område.

Det er kjent at pollen finnes i store mengder i lufta rundt oss og at det lett sedimenteres og oppbevares i myr- og innsjøsedimenter. Siden pollenkorn er svært små (0,02 til 0,2 millimeter) og kan

transporteres langt, gir analyse av fossilt pollen derfor ofte informasjon om vegetasjonen i et større område. Langtransportert pollen kan i tillegg forstyrre vegetasjonssignalene som det lokale pollenet gir. Det kan også være vanskelig å artsbestemme hvert enkelt pollenkorn. Ofte må derfor en pollenanalyse nøye seg med bestemmelser på slekts- eller gruppenivå.

Makrofossiler er tyngre og spres ikke langt med vinden, og om en finner et bestemt makrofossil, er det ganske sikkert at planten må ha vokst i nærheten av funnstedet. Det er mulig å bestemme mange makrofossiler til artsnivå, det være seg frø, blader eller stengelrester. Siden vi vet at alle plantearter lever innenfor visse temperatur-, nedbørs- og jordbunnsforhold og til sammen danner bestemte klimatiske betingede vegetasjonstyper, kan man ved funn av fossiler av bestemte arter få et innsyn i fortidens klima- og jordsmonn i et område.

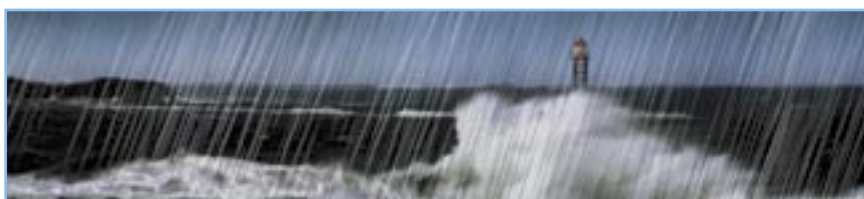


Figur 1. Kart over nordspissen av Andøya. Noen morenerygger og andre geologiske strukturer er inkludert i figuren.

## Paleobotanisk undersøkelse med vekt på makrofossiler

Nordspissen av Andøya i Nordland har i de siste 30 år vært

gjennstand for mange undersøkelser av kvartærgeologisk og paleobotanisk art. Gjennom denne forskninga er det



**NORKLIMA** – Klimaendringer og konsekvenser for Norge

Norges forskningsråd | Store programmer

[www.forskningsradet.no/norklima](http://www.forskningsradet.no/norklima)

blitt klart at nettopp denne lille utposten av Norge må ha vært isfri lenge før resten av Skandinavia ble befridd fra ismassene. Grunnen til dette er nærheten til Eggekanten, der innlandsisen brakk av uten å bygge seg opp.

Fra den overgrodde sørøstenden av Endletvatnet ble det høsten 2002 og 2003 samlet inn fire parallelle sedimentborkjerner innenfor et område på cirka 20 meter. Sedimentene ble for makrofossilundersøkelsen startet, undersøkt med henblikk på tetthet, magnetisk susceptibilitet, vanninnhold og glødetap. Disse fysiske parametrene gjorde det lett å korrelere borkjernene med hverandre.

## Foreløpige resultater

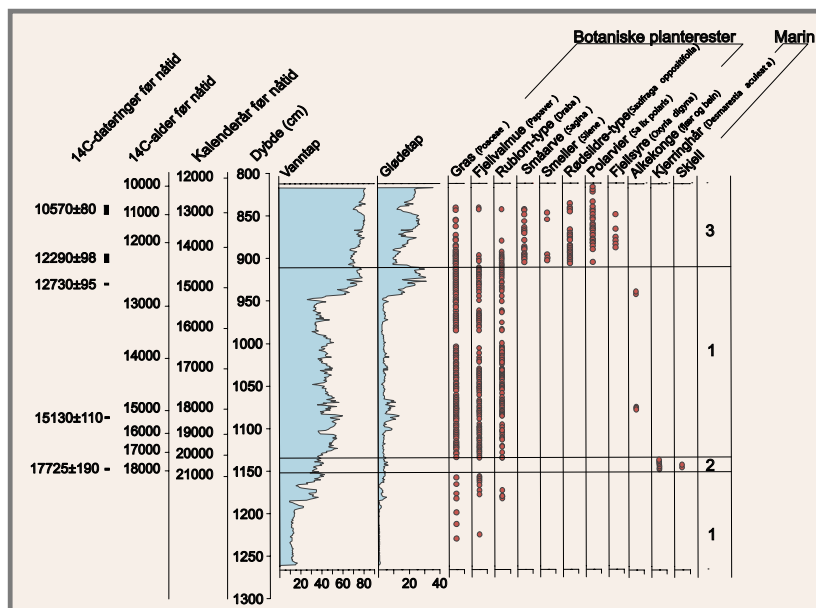
Som det fremgår av makrofossildiagrammet i Figur 2, var vegetasjonen i perioden mellom cirka 21 000-14 500 kalenderår før nåtid dominert av gras, hovedsakelig saltgras (*Puccinellia*), valmuer (*Papaver*) og rublom-type (små korsblomstrede vekster: *Draba*-type). Denne vegetasjonstypen må ha holdt seg relativt uforandret fram til cirka 14 500 kalenderår før nåtid. Da ble den avløst av en vegetasjonstype dominert av vier (*Salix*), særlig polarvier (*Salix polaris*), sildrer (*Saxifraga*), fjellsyre (*Oxyria digyna*), gras (*Poaceae*) og rublom (*Draba*-type).

Et lag med den marine brunalgen kjerringhår (*Desmarestia aculeata*), datert til mellom 20 500 og 20 000 kalenderår før nåtid avslører at havet i en liten periode må ha steget over terskelen som demmet opp Endletvatnet. Kanskje var dette en følge av et varmere klima med storstilt bresmelting og en påfølgende kortvarig havstand-søkning.

Rundt cirka 17 900 og 15 100 kalenderår før nåtid er det også funnet fuglebein i sedimentene. De fleste av fuglebeinene er bestemt til alkekonge (*Alca alle*). Alkekongen har høyarktisk utbredelse og hekker i fjellsider og urer langs kysten. Siden alkekongen i dag hovedsakelig lever og hekker i arktiske miljøer, er det sannsynlig at de bratte fjellene med steinurer på Andøya har vært godt egnede hekkeplasser for store kolonier av alkekonger i senglasial tid. Men også tidligere under istiden var alkekongen vanlig ved norskekysten. I 36 000-28 000 <sup>14</sup>C-år gamle avsetninger fra Skjonghelleren og Hamnsundhelleren på Sunnmøre er det funnet store mengder bein. Undersøkelser har vist at alkekonge var den vanligste arten i disse funnene. Svært mange av alkekongebeina er av ungfugl eller kyllinger og det tyder på at arten den gang hekket i Vest-Norge. Figur 3 viser bilder av utvalgte og godt bevarte makrofossiler funnet i sedimentene som ble avsatt i Endletvatnet for mellom cirka 21 000 til 12 000 kalenderår siden.

Den vegetasjonstypen som dominerer i tidsrommet fra cirka 21 000 til 14 500 kalenderår før nåtid kan ha en parallell i dagens polarørkenlandskap, for eksempel

Figur 2. Forenkla makrofossildiagram fra Endletvatnet. De forskjellige artene er her presentert bare med tilstedeværelse. Hver vertikale centimeter i profilet ble undersøkt for innhold av botaniske makrofossiler. Dybdeskalaen viser centimeter under jordoverflata.



på Sjuøyene og deler av Nordaustlandet på Svalbard. Her er julimiddeltemperaturen 1,7 °C (målt på Phippsøya, den største av Sjuøyene, 1981-1987).

Vegetasjonen i perioden mellom cirka 14 500 og 12 000 kalenderår før nåtid kan vise fellestrekk med den vegetasjonen en finner på det nordvestre Spitsbergen, hvor julimiddeltemperaturen ligger på 4,9 °C, og årsnedbøren på 355 mm (normaler for Ny-Ålesund, 1961-1990).

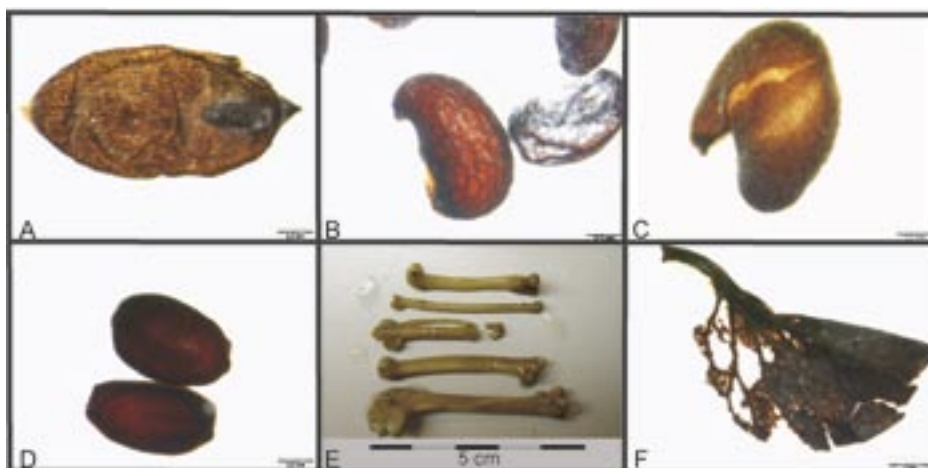
Det er imidlertid viktig å påpeke at det klimaomslaget som makrofossilene viser ved cirka 14 500 kalenderår før nåtid – kan ha kommet tidligere. Glødetapskurven som viser produksjon av organisk materiale har en markert oppgang omkring 15 300

kalenderår før nåtid. Kanskje kan dette forklares med at det har tatt noen hundre år for plantene å vandre inn i området etter klimaforandringen.

## Relevant litteratur

- Alm, T. & Birks, H.H. (1991). Late Weichselian flora and vegetation of Andøya, Northern Norway – macrofossil (seed and fruit) evidence from Nedre Æråsvatn. *Nordic Journal of Botany* 11: 465-476.

- Valen, V., Mangerud, J., Larsen, E., & Hufthammer, A.K., (1996). Sedimentology and stratigraphy in the cave Hamnsundhelleren, western Norway. *Journal of Quaternary Science* 11: 185-201.



Figur 3. Bilder av noen utvalgte makrofossiler fra sedimentprofilene henta i Endletvatnet. A: Grasfrø (*Poaceae*), B: Valmuefrø (*Papaver*), C: Rublom-type frø (*Draba*-type), D: Rødsildrefrø (*Saxifraga oppositifolia*), E: Bein fra alkekonge, F: Polarvierblad (*Salix polaris*).



• Vorren, K.-D. (1978). Late and middle Weichselian stratigraphy of Andøya, North Norway. *Boreas* 7: 19-38.

• Vorren, T.O. & Plasen, L. (2002). Deglaciation and palaeoclimate of the Andfjord-Vågsfjord area, North Norway. *Boreas* 31: 97-125.

• Vorren, T.O., Vorren, K.-D. Alm, T, Gulliksen, S. & Løvlie, R. (1988). The last deglaciation (20 000 to 10 000 B.P.) on Andøya, northern Norway. *Boreas* 17: 41-77.

#### Ellen Elverland

(ellen.elverland@tmu.uit.no) er stipendiat ved fagenhet for botanikk på Tromsø museum, Universitetet i Tromsø.

#### Karl-Dag Vorren

(Karl-Dag.Vorren@ib.uit.no) er professor ved faggruppe for økologisk botanikk på Institutt for Biologi, Universitetet i Tromsø.

#### Tore O. Vorren

(Tore.Vorren@ig.uit.no) er professor ved Institutt for Geologi, Universitetet i Tromsø og Dekan ved det matematisk-naturvitenskapelige fakultet.

#### Torbjørn Alm

(Torbjorn.Alm@tmu.uit.no) er førstekonservator ved fagenhet for botanikk på Tromsø museum, Universitetet i Tromsø.

#### Anne Karin Hufthammer

(anne.hufthammer@zmb.uib.no) er førsteamanuensis ved Zoologisk avdeling ved Bergen Museum, Universitetet i Bergen.

# Hva skjedde med solen?

**Sammenhengen mellom lengden på solflekksyklus og temperaturklime er estimert med en ny metode. Resultatene gir grunn til å være skeptisk til om en slik sammenheng overhode eksisterer.**

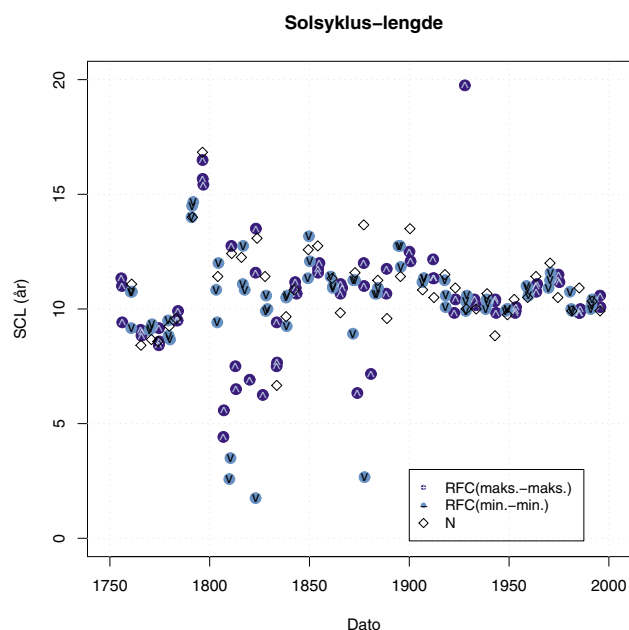
## Rasmus E. Benestad

Spekulasjoner rundt spørsmålet om solflekker kan relateres til vær og klima på vår klode har eksistert i flere århundrer. Men det var først etter at et par danske forskere publiserte resultater i *Science* (Friis-Christensen & Lassen, 1991, *Science*, 254) at oppmerksomheten rundt disse spørsmål har økt. De viste figurer med tilsynelatende godt samsvar mellom lengden på solflekksyklus (SCL – 'solar cycle length' som er cirka 11 år, men varierer litt fra epoke til epoke) og temperaturendringer på jorden. Disse kurvene har siden vært gjenstand for mye debatt og blitt kritisert fra flere hold. Over tid har det også vist seg at disse kurvene ikke har vært robuste, og at nye data har medført betydelige endringer i SCL-kurven.

Selv har jeg vært svært kritisk til kurvene og måten de er blitt filtrert på – de filtrerte verdiene har ingen likhet med de originale verdiene. Jeg har i det siste begynt å bruke en ny metode for å estimere derivasjoner i numerisk analyse, basert på en kombinasjon av regresjon og vanlig algebra. Denne metoden er matematisk solid, men likevel enkel. Kort sagt går den ut på å tilpasse en Fourierserie til data ved hjelp av multiplere regresjon. Koeffisientene gitt fra regresjonen, kan da benyttes i en analytisk formel for gradienten. Når man har den førstederiverte, er det ingen sak å finne lokale maksima og minima, siden disse forekommer der den deriverte krysser nullpunktet. Man kan repetere analysen for å estimere den andrederiverte, og dermed kan man også angi om punktene er lokale maksima eller minima.

En slik analyse er blitt utført for serien med solflekkdata og publisert (Benestad, 2005). Hovedbudskapet fra denne studien kan formidles av figur 1 som viser tidsvariasjonen for SCL siden 1750. Vi ser at det var kraftige variasjoner i SCL før 1900, men at SCL så har stabilisert seg. Vi ser også indikasjoner på det samme i verdier fra SCL estimert på tradisjonell måte, dvs.

Figur 1. Estimert på hvordan solsykluslengden har variert over tid. Mørkeblå sirkler angir SCL estimert mellom maksima, mens lyseblå viser SCL mellom minima. Siste verdi er kunstig høy pga at tidsserien slutter før minima ble nådd. Åpne ruter angir SCL fra mer tradisjonell metode.



at også andre undersøkelser rundt SCL viser kraftige variasjoner før 1900. Spørsmålet er da om disse endringene er reelle, eller om de kun er en kunstig variasjon som skyldes dårligere kvalitet på dataene før 1900?

En reduksjon i kvaliteten på solflekkdataene kan ha betydning for anslag for tidligere tiders solintensitet. Hadde SCL hatt en så nær sammenheng med temperaturene på jorden som *Science*-artikkelen av 1991 ga inntrykk for, ville man forvente at temperaturene hadde svingt mer på 1800-tallet. Det er derimot ingen antydninger til motsvarende temperatursvingninger. Det finnes heller ingen grundige fysiske forklaringer for hvorfor SCL

skulle kunne påvirke jordens temperaturklime.

#### Referanse

• Benestad, R.E. (2005). A review of the solar cycle length estimates. *Geoph. Res. Lett.*, 32, L15714, doi:10.1029/2005GL023621, August 13. <http://www.agu.org/pubs/crossref/2005.../2005GL023621.shtml>.

#### Rasmus Benestad

(rasmus.benestad@met.no) er forsker ved Meteorologisk institutt og arbeider med empirisk nedskalering i prosjektet RegKlim.



Kommentar:

# Den vanskelige vindkraften

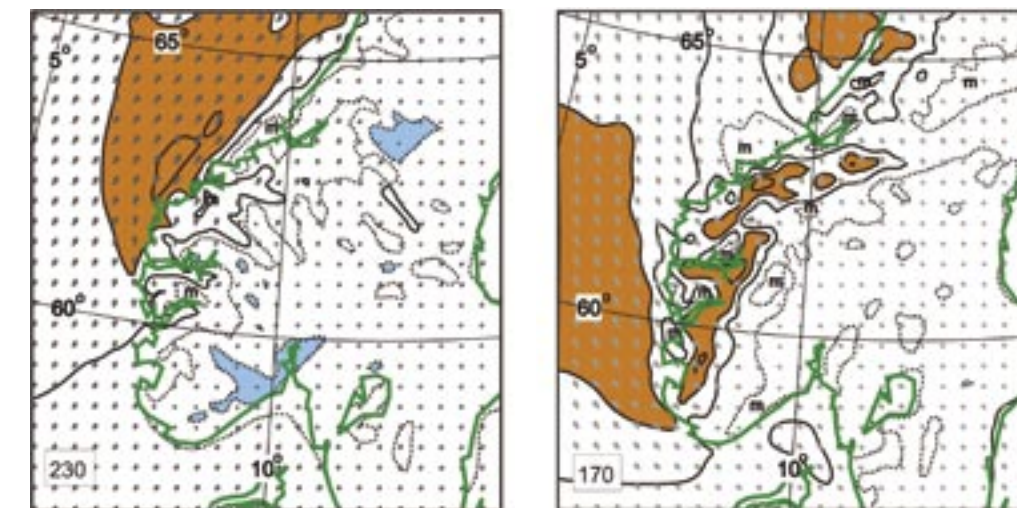
De beste områdene for produksjon av vindkraft er ytterst på kysten i flatt terreng og til havs. Mange områder fra Lista og nordover egner seg. Kupert terreng er mindre gunstig, ikke minst når det gjelder turbulensforhold. Utbygging til havs har mange miljøfordeler.

Sigbjørn Grønås

Det er ingen tvil om at det må satses på fornybare energikilder for å redusere utslipp av klimagasser som CO<sub>2</sub>. I Norge utbygges for tiden vindkraft. Erfaringsgrunnlaget kommer fra Danmark og Sverige som alt lenge har bygd vindmøller i stor stil. Men med totalt forskjellig topografi og langt større mangfold i naturen, er det flere hensyn å ta i Norge enn i Danmark. Spesielt kreves det en balansert avveining mellom behovet for utbygging og behovet for å verne natur. I denne artikkelen advares det mot å bygge ut vindkraft i kupert terreng hvor turbulens og ujevne vindforhold kan bli et problem. En foreslår heller å bygge ut i flate områder ytterst på kysten og til havs der vindforholdene er gunstigere.

## Stor forskjell fra dansk vindklima

Den som har syklet i Danmark vet at det blåser overalt. På utsatte strøk i Norge kan det blåse enda mer, men de fleste steder i landet vårt blåser det langt mindre enn i Danmark. På våre bredder bestemmes den storstilte vinden av lavtrykk og høytrykk i vestavindsbeltet. Det storstilte vindklimaet dette gir er tilnærmet likt over store deler av Skandinavia. Fjell og landskap modifierer vinden og kan gi store lokale variasjoner. For Danmark og Sør-Sverige er denne påvirkningen relativt enkel og bestemmes hovedsakelig av friksjon mot jordoverflaten. En glatt over-



Figur 1. Simulert vind – vindvektor og vindstyrke i meter per sekund (m/s) - for Sør-Norge 100 m over bakken for to storstilte vindretninger: sørvest (230 grader) til venstre; sørsørøst (170 grader) til høyre. Det er koter for vindstyrken for hver 4. m/s. Vindstyrker fra 12 m/s og over er gitt ved heletrukne linjer og vindstyrker mindre enn 12 m/s ved stiplede linjer. De sterkeste vindstyrkene (vindstyrker større enn 16 m/s) er farget oransje og de svakeste (styrker mindre enn 4 m/s) er farget blå. Etter Barstad & Grønås (2005).

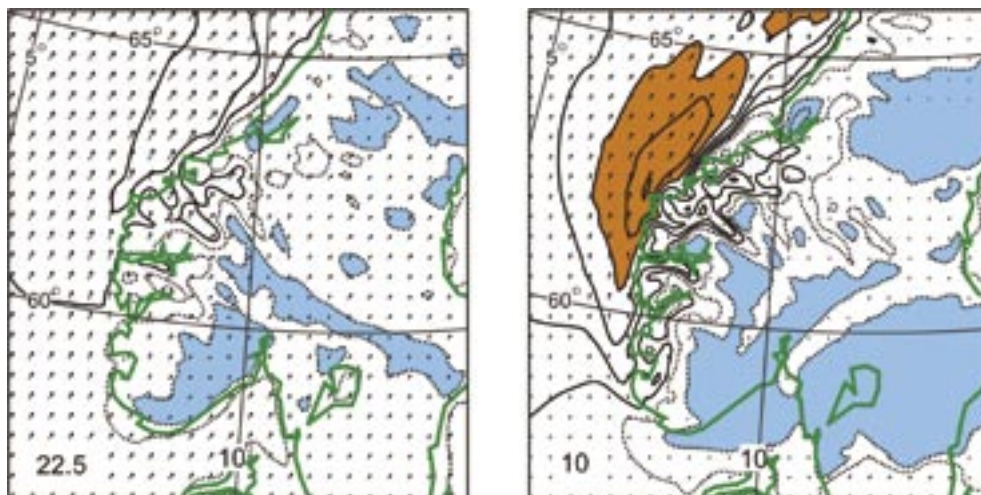
flate som hav (liten ruhet) gir liten friksjon. Vindstyrken blir da stor og turbulensen liten (relativt små vindkast). Landjorda bremser luften mer og gir mer turbulens. Skog og byer gir gjerne mest turbulens og svakest gjennomsnittlig vind. I Norge er forholdene langt mer kompliserte. Her kommer effekter av fjell, daler og fjorder i tillegg. Dessuten er overflaten som regel langt mer knudret, noe som gir mer turbulens enn i Danmark. Vindklimaet i Norge er derfor langt mer komplisert og variert enn i våre naboland.

**Vindvariasjoner på ulik horisontalskala**  
Påvirkningen av våre fjell på

luftstrømmene kan vi dele i to: effekten av de storstilte fjell, som fjella i Sør-Norge, med en typisk horisontal lengdeskala på 150 km; og effekten av lokale fjell, daler og fjorder med lendeskala fra 1 til 50 km. Om en typisk storstilt sørvestlig luftstrøm passerer Danmark med vindhastighet 15 m/s, målt 100 meter over terrenget, vil de lokale vindvariasjonene være små (trolig innenfor 2 m/s i denne høyden). Om samme strømmen passerer Sør-Norge, vil vinden typisk variere mellom 2 og 21 m/s som følge av vindvariasjoner satt opp av de storstilte fjella (se figur 1 og 2; Barstad & Grønås 2005; 2006). Vinden vil være sterk-

est på venstre side og svakest på høyre side av fjella. På den måten får vi et vindmaksimum – en jet - opp mot Stad og over havet nord for Stad. På Sørlandet og Østlandet blir vinden svak. På kysten nord for Stad får vi en vindskygge opp til Trøndelag. Dreier den storstilte vinden litt mer mot vest, vil den slå inn på Møre-kysten og bli spesielt sterk der. I tillegg kommer effekten av lokale fjell, fjorder, daler og til sist kommer effekten av ruheten i overflaten.

Nord-Norge har andre, men lignende effekter av fjell på stor skala. På grunn av mye kald luft nær overflaten om vinteren, kan effekten av fjell noen



Figur 2. Simulert vind fra sørvest (230 grader) over Sør-Norge cirka 100 m over bakken – vindvektor og vindstyrke dividert med konstant størstilt vindstyrke over grenselaget (speed-up). Til venstre er størstilt vindstyrke stor (22.5 m/s) og til høyre er den liten (10 m/s). Det er koter for speed-up på 0,2. Speed-up fra 1,0 og over er gitt ved heletrukne linjer og speed-up lavere enn 1.0 ved stiplede linjer. De sterkeste vindene (speed-up større enn 1,4) er farget oransje og de svakeste (speed-up mindre 0,4) er farget blå. Etter Barstad & Grønås (2005).

ganger bli dobbelt så stor som under vanlige atmosfæriske forhold. Når den storstilte vinden er svak, er vinden bestemt av lokale sirkulasjoner mellom varme og kalde flater. I nord er temperaturforskjellene mellom hav og land spesielt store. Om vinteren gir dette ofte vind ut fjordene og nordover langs kysten. I fjorder som Balsfjorden sør for Tromsø, står det gjerne vind utover fjorden gjennom store deler av vinteren.

De som bygger ut vindkraft vil ha så jevne vindforhold som mulig. Potensialet for vindkraft øker sterkt med økende vindstyrke (vindkraften som produseres er proporsjonal med vinden ganget med seg selv tre ganger). Stødig sterk vind kan noen steder i Norge gi mer kraft per mølle enn i Dan-

mark. Men visse storstilte vindretninger vil de fleste steder periodevis kunne gi vindskygger. Derfor må en som regel regne med store variasjoner i vinden over tid. Ekstrem vind vil typisk være 1,5 ganger sterkere på utsatte strøk i Norge enn i Danmark. Derfor må vindmøllene tåle større påkjenninger.

### Turbulensforhold

Vindmøller bør ikke utsettes for mye turbulens i lufta over lang tid. En grunn til det er at turbulens kan redusere levetiden til møllene. I Norge gir strøm over fjell og småstilt topografi en kilde til turbulens som en ikke har i Danmark. Turbulensforholdene varierer derfor mye mer. Det blåser mest ytterst på kysten og i fjellet. I lavlandet avtar vindstyrkene

som regel svært mye rett innenfor kysten. Om en for eksempel tar for seg øya Sotra utenfor Bergen, kan en vurdere å sette opp mølleparker på utsiden, helst over hav. På innsiden av Sotra ville trolig ingen sette opp møller fordi vindstyrken er mye svakere og turbulensen sterkere. En kunne vurdere å sette møller på høydedrag over øya der vinden gjerne er sterk. Men turbulensen ville lett bli vesentlig større enn over hav. Derfor må en fraråde vindmøller i slikt terreng.

Danskene setter helst vindmøller over hav, der vinden er sterkest og turbulensen minst. I Norge bør vi gjøre det samme og satse på flatt kystterreng. Planene til Hydro om å vindmøller til havs er en utmerket løsning både for miljø og for å få ut maksimal kraft av

vinden. Jæren og vestlandskysten opp mot Stad vil kunne egne seg noen steder for tradisjonell vindkraft, men det beste området er trolig den flate skjærgården i Trøndelag og Helgeland. Lengre nord vil det trolig være færre steder som egner seg, blant annet fordi kystområdene ofte er preget av øyer med bratte, høye fjell som gir mye turbulens. Langt mot nord og til fjells kan også få problemer med ising.

### Nasjonal plan

Øyene på kysten av Trøndelag og Helgeland er naturperler med rikt fugleliv. En bør likevel bygge ut vindkraft i disse områdene. Men spørsmålet er hva som kan gjøres for å verne så mye som mulig av naturen. En mulighet er oppretting av naturparker i visse områder. Til nå har planleggingen vært alt for tilfeldig. Videre utbygging av vindkraft krever en sterkere nasjonal ledelse og en nasjonal plan.

### Referanser

- Barstad I. & S. Grønås 2005. Southwesterly flows over southern Norway – mesoscale sensitivity to large-scale wind direction and speed. *Tellus* 57A, 136-152.
- Barstad I. & S. Grønås 2006. Dynamical structures for southwesterly airflow over southern Norway – Sensitivity to dissipation. Kommer i *Tellus* i januar.

### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi på Geofysisk institutt, UiB og med i styringsgruppen for RegClim.

## Tiltroen til klimamodellene styrket

Mye av usikkerhetene i klimamodellene knytter seg til tilbakekoplingsmekanismer, det vil si endringer på grunn av temperaturøkning som igjen påvirker temperaturen. En av de viktigste er endring i vanddampinnholdet i troposfæren ved endring av temperaturen (se artikkel av Kristjánsson, *Cicerone* 1-2005).

Alle benyttede klimamodeller gir en økning i vannmengden i troposfæren med økende temperatur. Siden vanddamp er en viktig klimagass, bidrar

dette til ytterligere temperaturøkning (positiv tilbakekopling). Det har imidlertid vært vanskelig å bekrefte en slik økning i den øvre troposfæren ved observasjoner. Klimaskeptikeren Richard Lindzen (se *Cicerone* 3-2005) har til og med hevdet at vanddampmengden i denne delen av troposfæren kan avta i et varmere klima.

Ved å benytte satellittobservasjoner av infrarød stråling har nå Soden og medarbeidere funnet hvordan mengden har

varierte i den øvre troposfære fra 1982 til 2004. De så på perioder med klar himmel siden strålingen påvirkes sterkt av skyer. De finner at observasjonene viser økning i vanddampmengden i meget god overensstemmelse med modellberegninger.

### Referanse:

- Soden, J. B. og medarbeidere, The radiative signature of upper tropospheric moistening. *Science* 310, 841-944.

Hans Martin Seip



# Temperatursvingninger i Atlanterhavet

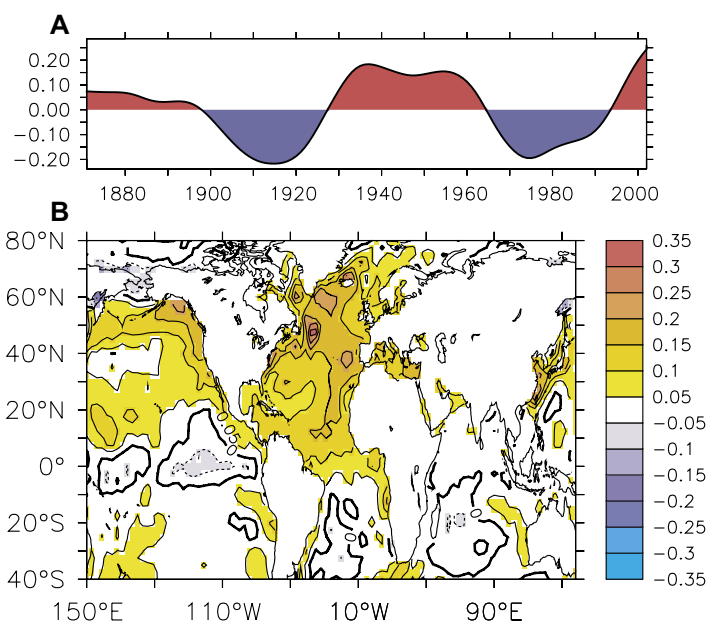
Variasjon i temperatur i Atlanterhavet blir knyttet til forekomsten av Sahel-tørken i Afrika, det nordamerikanske klimaet, europeiske hetebølger og også mot hyppigheten av tropiske sykloner i Atlanterhavet.

## Solfrid Sætre Hjøllo

Den atlantiske multi-dekadiske svingningen (Atlantic Multi-decadal Oscillation, AMO) er en langsom (over flere tiår) variasjon i observert overflate-temperatur i Nord-Atlanteren. Svingningen blir dokumentert av Delworth og Mann (2000), selv om det har vært kjent lenge før dette at temperaturen i Atlanterhavet svinger. AMO har vært knyttet til forekomsten av Sahel-tørken i Afrika, det nordamerikanske klimaet og europeiske hetebølger (Sutton og Hodson, 2005), og også mot hyppigheten av tropiske sykloner i Atlanterhavet. AMO beregnes fra globale, månedlige overflatetemperaturfelt (SST-sea surface temperature), korrigert for is, fra rundt år 1870, da termometeret kom i bruk. Is- og SST-dataene kommer i  $1^\circ \times 1^\circ$  romlig oppløsning fra det engelske værvarslingskontoret (Hadley-senteret), og har derfor fått det beskrivende navnet HadISST1. Variasjonene i SST beskrives ved den såkalte AMO-indeksen (figur 1, øverst), som er den tidsvarierende delen av et representativt SST-mønster i hele Atlanterhavet (figur 1, nederst). Varme perioder er karakterisert av positiv indeks, kalder perioder av negativ indeks. I begynnelsen av forrige århundre var Atlanterhavet kaldt,

mens vi nå ser ut til å være nær en topp i AMO-indeksen, altså med varmt overflatevann i Nord-Atlanteren. I figur 1b viser de mørke fargene at nordlige Nord-Atlanteren utmerker seg med store utslag, slik at selv om AMO-indeksen har global utbredelse har den særlig klare signal i disse områdene. Det ser ut som om AMO har en periode på cirka 65 år, men siden tidsserien er kort, er det vanskelig å slå fast om disse svingningene virkelig gjentar seg. Ved å benytte palaeoklimatiske avledede data (blant annet treinger og iskjerner) og modellsimuleringer som går lengre tilbake i tid, har en fått bekreftet at AMO virkelig er en naturlig klimasvingning med periode på 65-100 år.

AMO har blitt knyttet til variasjoner i den termohaline sirkulasjonen (THC), siden THC bringer med seg så mye varme at temperaturen i nordområdene kan endres med flere grader. Redusert THC vil gi et kaldere (men saltere) hav i nord. Knight m fl (GRL, 2005), benytter en 1400 år lang modellsimulering med konstant nivå på drivhusgassutslippene (for å isolere intern variasjon fra menneskepåførte). De finner at AMO og THC svinger i takt, og siden vi nå er nesten på topp i en AMO-syklus kan vi i løpet av et tiår forvente oss en gradvis reduksjon i THC. AMO er i tillegg knyttet til



A) AMO-indeksen: Avviket fra middeltilstanden i årlige SST-verdier for området 0-60grad N, 75-7.5 grad W for perioden 1871-2003. Tidsserien er glattet. Enhet på vertikalaksen er grad C.

B) Det romlige mønster av SST-variasjoner forbundet med AMO-indeksen i A). Enhet er grad C pr standardavvik. Fra Sutton og Hodson, 2005.

THC slik at om lag 50 år etter en topp i THC, som vi har i dag, kan vi statistisk sett oppleve en kald AMO-fase.

Det er foreslått flere sammenhenger mellom THC og AMO som kan gi en syklus med positive/negative faser. Sterk THC bringer mye varme mot nord (AMO positiv) men reduserer samtidig andre salte havstrømmer slik at nedsynkingen i nord reduseres og vi får en svekkelse

av THC etter en stund. Da blir havet kaldere (AMO negativ), men de salte strømmene gjenopptar sine baner og THC tar seg opp igjen. Det er også foreslått at den reduserte saltholdigheten etter en sterk THC-situasjon (positiv AMO-fase) skyldes forsterket vestavindsbelte og redusert fordampning.

I et nylig utkommet arbeid (Jacobs m fl, 2005) vises det at redusert THC forårsaker for-

sterket marin påvirkning og mer snø over Europa. Vanligvis tenker vi at marin påvirkning gjør klimaet mildere og våtere, men når havets temperatur er lav på grunn av redusert THC blir det altså kaldere. Kald luft holder dårligere på fuktighet enn varm luft, slik at luften blir tørrere, og deler av nedbøren faller som snø. Snødekke reflekterer mye av solinnstrålingen, og har derfor en selvforsterkende effekt: det blir enda kaldere.

De fleste klimamodeller viser redusert THC i et fremtidig klima påvirket av økt drivhusgassutslipp. Det er imidlertid ikke enkelt å skille fra hverandre global oppvarming og nedkjølings-effekten av redusert THC. Da vil det være nyttig å vite hvordan THC henger sammen med AMO, som er enklere å forutsi.

#### Referanser:

- Delworth og Mann, 2000: Observed and simulated multidecadal variability in the Northern Hemisphere. *Clim. Dyn.* (2000) **16**, pp 661-676
- Jacobs et al, 2005: Slow-down of the thermohaline circulation causes enhanced maritime climate influence and snow cover over Europe. *Geoph. Res. Letters* vol **32**, 2005
- Knight et al, 2005: A signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geoph. Res. Letters* vol **32**, 2005
- Sutton og Hodson, 2005: Atlantic Ocean Forcing of North American and European Summer Climate. *Science* vol **309**, 1.july 2005

#### Solfrid Sætre Hjøllo

(Solfrid.Hjollo@gfi.uib.no) er forsker ved Bjerknessenteret i Bergen, og arbeider i NOClm med studier av atlantisk innstrømming til de Nordiske Hav.

# Moderate endringer i vindklima

**I en ny brosjyre anslår forskningsprogrammet RegClim kun små endringer i vindklima for våre områder fram til år 2100. Er det noen motsetning mellom dette og at antall stormer har økt på våre bredder de siste tiårene? Vil mer fuktighet i en varmere atmosfære gi muligheter for flere orkaner?**

#### Sigbjørn Grønås

RegClim angir i sin nye brosjyre ([regclim.met.no](http://regclim.met.no)) moderate endringer i framtidig vindklima for våre kyster og havområder som grenser opp mot Norge. Resultatene kan illustreres av figur 1, som viser et scenario for endringer i antall tilfeller per år med vindstyrker over 15 m/s (nesten sterk kuling) for perioden 2071-2100 i forhold til 1961-1990. Oppover i Norskehavet avtar antall tilfeller med sterk vind eller holder seg uforandret. Unntaket er store deler av Nordsjøen som får en økning på over fire tilfeller per år; opp mot åtte flere tilfeller i Skagerrak (økning på 20 prosent). De heller små endringene er kanskje overraskende siden antall tilfeller med sterk vind har økt i våre områder de siste tiårene. Således har vi hatt flere orkaner enn tidligere inn over Nord-Europa de siste tiårene. Flere har gått inn i Nordsjøen, men stormaktiviteten har også vært stor i nord opp mot Barentshavet. Den beste statistikken om økende vind har en trolig fra Storbritannia. Gjennomsnittlig antall stormer (gales) per år for perioden 1961-1990 var her 12,5, og trenden i økningen de siste 40 år har vært på cirka fem stormer per år (Hulme m.fl. 2002). Sammenligner en med RegClims resultater i figur 1, ser

vi at økningen de siste 40 år er større enn for framtidig økning for kystene rundt Storbritannia. For nordvestkysten av Skottland gir RegClim således nesten ingen endring i antall tilfeller med sterk vind.

#### Frigjøring av latent varme kan gi sterk vind

Vi vet at over halvparten av utviklingen av de sterkeste lavtrykkene i våre områder skyl-

des frigjøring av latent varme når vanddamp kondenserer (Grønås 1995; Uccellini m. fl. 1999). Spesielt er den mest intense delen i kraftige lavtrykk forårsaket av frigjort kondensasjonsvarme (Hauge 2000). Det frigjøres mye latent varme i alle lavtrykk, men det er bare noen få som omsetter varmen til en sirkulasjon som øker vinden til orkans styrke. Vi har mangelfull kunnskap om ytre vilkår

Figur 1. Antall flere døgn med per år med vind sterkere enn 15 m/s. Resultater fra RegClim for perioden 2071-2100 for B2-scenariet i forhold til perioden 1961-1990 (se RegClims brosjyre, [regclim.met.no](http://regclim.met.no)).

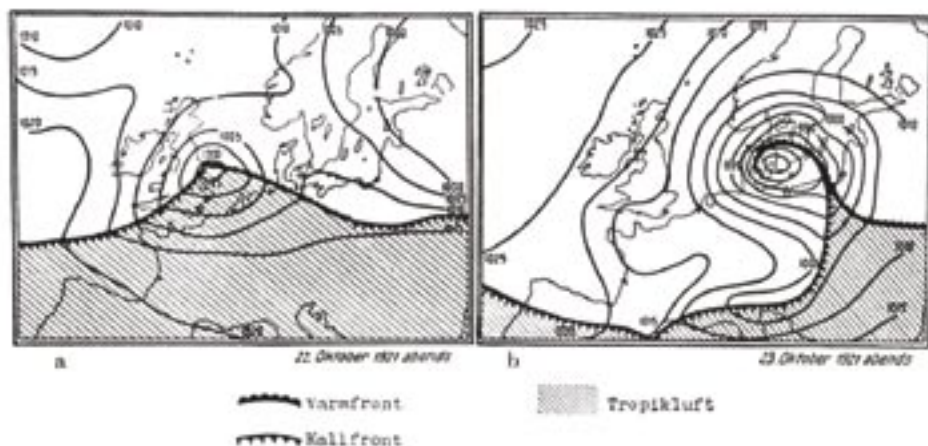




som må være tilstede for at dette skal skje, men et vilkår er en sterk jetstrøm i høyden som et resultat av sterke horisontale temperaturgradienter. En vet ennå ikke så mye om hvordan slike ytre forhold vil endre seg i framtiden, men det synes rimelig at jetstrømmene kan bli litt svakere. Dette resulterer trolig i litt færre og svakere lavtrykk i Norskehavet.

Det er grunn til å hevde at relativ fuktighet over hav vil endre seg i en varmere atmosfære (Trenberth 2005). Dette betyr at høyere sjøtemperaturer i framtiden vil gi mer latent varme tilgjengelig for å spinne opp den mest intense delen av kraftige lavtrykk. Derfor er det grunn til å tro at økt fuktighet kan gi enkelte spesielt sterke orkaner i framtiden når forholdene ligger til rette for å omsette latent varme til sirkulasjon. Et viktig spørsmål blir hvor ofte slike ytre meteorologiske forhold vil oppetre. Denne argumentasjonen ligner på den som føres for hvorfor tropiske sykloner kan bli sterkere under global oppvarming (se artikkel av Grønås i *Cicerone* 05-2005). Økt sjøtemperatur og mer fuktighet vil gi et økt potensial for kraftigere tropiske sykloner, men vi vet ikke hvordan andre nødvendige meteorologiske forhold vil endre seg. Det er god grunn til å studere slike spørsmål nærmere både for tropiske og utenomtropiske sykloner.

Lavtrykk på våre bredder utgjør den viktigste mekanismen for å transportere varme fra tropene mot polene for å opprettholde et stabilt klima på jorda. I en varmere og fuktigere atmosfære kan lavtrykkene bli mer effektive i å transportere latent varme mot polene. Da kan det tenkes at det ikke trengs fullt så mange lavtrykk for å opprettholde et stabilt klima. Det er mulig at dette kan forklare hvorfor det blir færre lavtrykk i Norskehavet ved slutten av århundret (figur 1). Når antall stormer har økt mer i våre områder de siste tiårene enn endringer i RegClims scenarier for framtiden, kan dette skyldes naturlige dekadefleksjoner eller at global oppvarming kanskje vil gi flere stormer i en overgangstid mot et varmere klima.



Figur 2. Lavtrykk over Danmark 22-23. oktober 1921. I a) er lavtrykket bare måtelig utviklet, mens i b), 24 timer senere, er det svært dypt og vinden har økt til storm og orkan rundt senteret. Et eksempel på en sommerorkan etter Bergeron (1949).

### Utenomtropiske sommerorkaner

Tropiske sykloner oppstår på sensommeren og høsten da sjøtemperaturene og fuktigheten i atmosfæren er på det høyeste. Antall lavtrykk i våre områder blir (litt forenklet) bestemt av hvor sterke jetstrømmene er og etter hvor mye fuktighet som er tilgjengelig som latent varme. I desember, januar har vi flest

Den kjente meteorologen Tor Bergeron fra Bergensskolen i meteorologi, kalte disse stormene for *utenomtropiske sommerorkaner* (selv om vindstyrken ikke nødvendigvis når orkan). Bergeron nevner cirka 10 tilfeller fra 1890 til 1950. I de siste tiårene har vi hatt noen få tilfeller i juli og august. Vi har et tilfelle fra Østersjøen i

**“Økt sjøtemperatur og mer fuktighet vil gi et økt potensial for kraftigere tropiske sykloner, men vi vet ikke hvordan andre nødvendige meteorologiske forhold vil endre seg.”**

lavtrykk og sterkest vind. På denne tiden er jetstrømmene sterke og tilgjengelig fuktighet er ennå relativt stor. Senere avtar både jetstrømmene og fuktigheten i atmosfæren og styrken på lavtrykkene avtar til et minimum i juni og juli. Sent på sommeren og om høsten er fuktigheten høyest, men jetstrømmene ennå ikke så kraftige. Men mye fuktighet resulterer i betydelig sterkere vind om høsten sammenlignet med sent på vinteren og våren.

Det fins en del eksempler på svært sterke lavtrykk i Nordsjøen og Østersjøen sent på sommeren og om høsten (figur 2), og i disse er frigjøring av latent varme den viktigste energikilden (Grønås m.fl. 1994).

1985 (Ölandsstormen; Kristjansson 1990) og et tilfelle over Nord-Tyskland i 1989 (Grønås m.fl. 1994).

Ut av mange hundre lavtrykk om sommeren og høsten er det bare noen få som kan karakteriseres som sommerorkaner. Vi vet ikke mye om betingelsene for at de skal dannes, dvs. de ytre meteorologiske forholdene som legger til rette for sterk sirkulasjon fra den frigjorte varmen. Når de dannes, blir de farlige, kanskje særlig på den tiden da mange fritidsbåter er i bruk. I RegClim har en ikke undersøkt spesielt om hyppigheten av sommersykloner vil endre seg i framtiden.

### Referanser

- Bergeron, T. 1949. De tropiska orkanernas problem. Svenska Fysikersamfundets publikasjon *Kosmos*, band 27, 123-160.
- Grønås, S., N.G. Kvamstø, E. Raustein 1994, *Tellus* 46A, 635.
- Grønås, S. 1995. *Tellus* 47A, 733.
- Hauge G. 2000. Hovedfagsoppgave i meteorologi, Geofysisk institutt, UiB.
- Hulme M. med flere 2002. Climate Change Scenarios for the United Kingdom. The *UKCIP02 Scientific Report*. University of East Anglia, Norwich, UK. 120pp.
- Kristjansson. J.E. 1990. *Tellus* 42A, 78-91.
- Trenberth, K. 2005. *Science*, 17 juni 2005.
- Uccellini L.W, P.J Kocin og J.M. Sienkiewicz 1999. In *The Life Cycles of Extratropical Cyclones*, Eds M. Shapiro og S. Grønås, American Meteorological Society, Boston.

### Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB og med i styringsgruppen for RegClim.

# Detaljerte modellresultater av sjøisen ved Svalbard

Sjøisen i Arktis er en viktig del av klimasystemet, men dagens klimamodeller avspeiler sjøisens fysiske prosesser dårlig. Resultater fra Storfjorden viser at vi nå er på god vei til å simulere essensielle prosesser i isen.

Lars H. Smedsrud, W. Paul Budgell, Alastair D. Jenkins og Bjørn Ådlandsvik

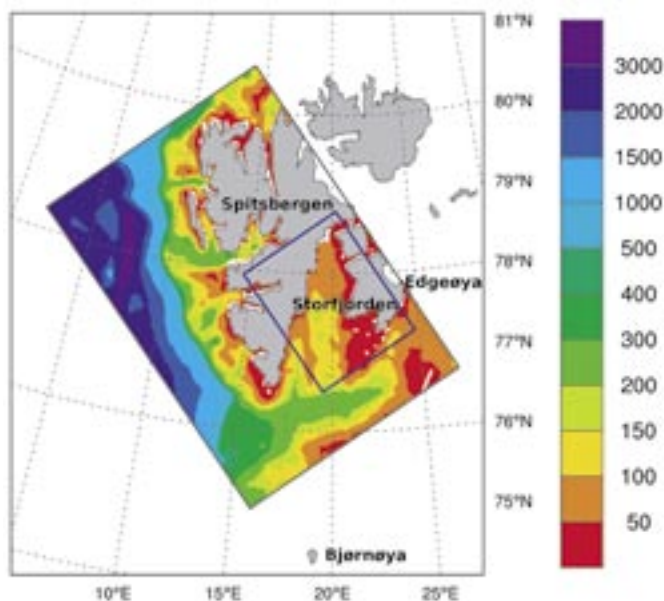
Isen i Arktis er en utfordring for forskere på mange måter. Det er først og fremst vanskelig å gjøre målinger av sjøisen, spesielt fordi norske forskningsmiljø ikke har en skikkelig isbryter. Det er også vanskelig å simulere sjøisen i datamaskiner. Det finnes mange numeriske modeller som simulerer havet, men det er ganske få som også kan simulere at havet fryser, og at man får dannet sjøis. Nå er akkurat de første resultatene med en modell for sjøis, som simulerer naturen med 2 km oppløsning, klare. Samme modell er tidligere brukt med en grovere oppløsning for hele Nord- Atlanteren (Budgell 2005).

## Vanskelig å måle i isen om vinteren

Vi vet lite om hvor raskt åpninger i den arktiske havisen fryser igjen, og hva som skjer i havet under isen mens det fryser. Den mest effektive frysingen skjer om vinteren når det er helt svart polarnatt, svært kaldt og vanskelig å jobbe i Arktis. Derfor er det så viktig å beregne disse prosessene, og se om de stemmer med de målingene som tross alt finnes. Storfjorden på Svalbard er et viktig studieområde siden det er områder midt i fjorden som er helt eller delvis uten is selv om vinteren. Dette kalles en polynya. En fin oversikt over feltaktiviteten i Storfjorden ble gitt i *Cicerone* 01-2002; "Danning av djupvatn i ein fjord på Svalbard".

## De første detaljerte resultatene er klare

I prosjektet Polar Ocean Climate Processes (ProClim) er vi nå i ferd med å forbedre datamodellen ROMS slik at den kan simulere sirkulasjon og dannelse av



Figur 1. Øygruppa Svalbard består blant annet av øyene Spitsbergen og Edgeøya. Det fargede området viser dybde i området hvor de detaljerte beregningene av sjøisen er gjort. Storfjorden er litt over 200 meter dyp, og den innerste firkanten viser området vi har valgt å vise resultatene fra her.

sjøis i en fjord på Svalbard (figur 1). De første resultatene fra 1. august 1999 og et år framover er nå klare, og viser at modellen egner seg godt for slike studier.

I Storfjorden la den første isen seg sent i oktober 1999, og det ble ikke isfritt før i slutten av juni 2000. Figur 2 viser hvordan ROMS beregner at sjøisen var i februar 2000. Det er vist gjennomsnittlig sjøistykkelse, som er et produkt av isdekket areal og tjukkelsen til den isen som er i dette arealet. Det vil med andre ord være en varierende del av cellene i modellen på 2\*2 km som er åpent vann. I polynyaen er isdekket areal 5-60 prosent, mens det på andre siden av fjorden er over 90 prosent. Sjøisen øker på samme måte i tjukkelse

opp mot 2-3 meter et stykke fra polynyaen.

## Validering av resultatene

Det er ikke helt enkelt å finne ut hvor gode resultatene i figur 2 er. De målingene det er lettest å sammenlikne med er satellittdata av isarealet med en oppløsning på 25 km, og i forhold til disse stemmer resultatene ganske bra. Det er også tatt noen få andre bilder av isforholdene, og i forhold til disse ser det ut til at polynya-området er ganske likt som i bildet, men at polynya åpningen skulle vært mer i nord-sør retning istedenfor øst-vest som i ROMS simuleringene. I forhold til de feltmålingene som finnes fra polynyaen (Smedsrud og Skogseth 2005) stemmer også resultatene kvalitativt



Illustrasjonsfoto: NOAA.

SJØIS. Forskere er i ferd med å forbedre en klimamodell slik at den kan simulere sirkulasjon og dannelse av sjøis i en fjord på Svalbard.

ganske godt, men det er fortsatt langt igjen til at modellen kan beregne observerte variasjoner over 20-30 meter på 0,1 - 0,4 meter tykk is.

**Åpen område i isen gjennom vinteren**  
Figur 3 viser bredde på polynyaen gjennom vinteren, dette er et gjennomsnitt på den måten at polynya-areale er delt på en gjennomsnittlig lengde av 48 km. Polynya-areale er areale med mindre enn 0,3 m tykk is, og som vist i Figur 2 er det to små polynyaer i tillegg

til den store midt på Edgeøya (Figur 1). Polynabredden fra modellen kan sammenlignes med en enklere modell som bare bruker observerte vindmålinger (Skogseth m.fl. 2004), og stemmer også ganske bra. I tillegg har vi nå beregninger av hvor tykk isen er, og hvor raskt den fryser i polynyaen gjennom året.

**De neste forbedringene i modellen**  
De neste skrittene blir nå å forbedre ROMS simuleringene ved at tidevannet også taes

med. Tidevannet kan være svært effektivt til å flytte isen fram og tilbake, og dermed øke frysingen. Etter det er det viktig at vi øker oppløsningen på vindfeltet som driver sjøis og havmodellen slik det ble beskrevet i *Cicerone* 06-2004; "Nye vinddata forbedrer havmodellar". Storfjorden er nå altså også blitt et numerisk laboratorium hvor det er mulig å undersøke mange av de viktige sjøisprosessene i Arktis.

#### Referanser:

- Budgell, P. (2005) Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region, towards dynamical downscaling, *Ocean Dynamics*, doi: 10.1007/s10236-005-0008-3.
- Skogseth, R. and Haugan, P. M. and Haarpaintner, J.(2004) Ice and brine production in Storfjorden from four winters of satellite and in situ observations and modeling, *Journal of Geophysical Research*, **109**, C10008, doi:10.1029/2004JC002384.
- Smedsrud, L. H. and Skogseth, R., (2005), Field measurements of Arctic grease ice properties and processes, sendt inn til *Cold Regions Science and Technology*.

#### Lars Henrik Smedsrud

(larsh@gfi.uib.no) er forsker ved Bjerknessenteret og Geofysisk Institutt, Universitet i Bergen og arbeider med sjøis i ProClim.

#### W.Paul Budgell

(Paul.Budgell@imr.no) er forsker ved Havforskningsinstituttet, Bergen og tilknyttet ProClim og RegClim, der han arbeider med havmodeller.

#### Alastair Jenkins

(Alastair.Jenkins@bjerknes.uib.no) er forsker ved Bjerknessenteret og arbeider i ProClim med småskalaprosesser og kobling av atmosfære-hav.

#### Bjørn Ådlandsvik

(bjorn@imr.no) er forsker ved Havforskningsinstituttet, Bergen og tilknyttet ProClim og RegClim, der han arbeider med havmodeller.

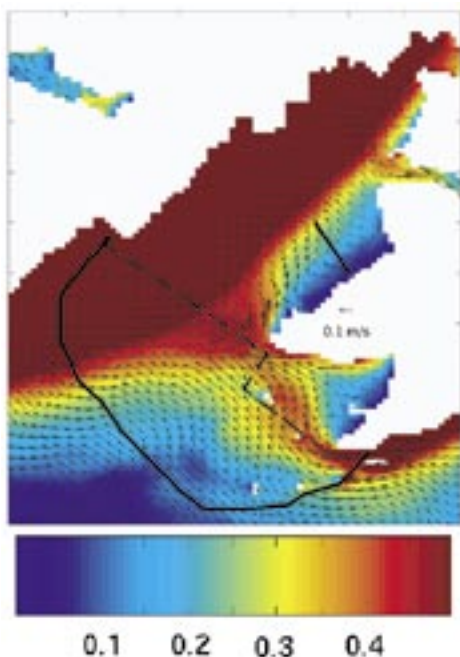
#### Relevante linker:

ProClim prosjektet  
[www.gfi.uib.no/ProClim/](http://www.gfi.uib.no/ProClim/)

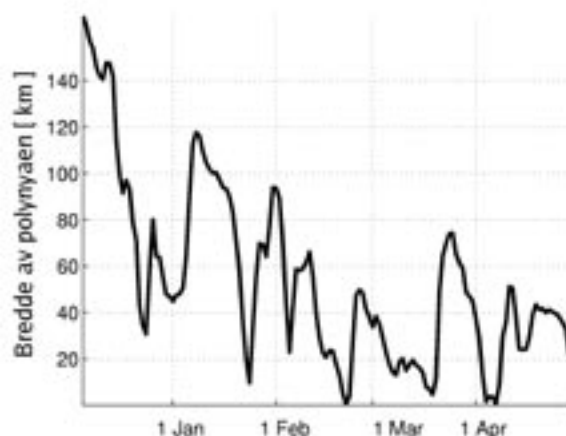
Bjerknes Senteret  
[www.bjerknes.uib.no](http://www.bjerknes.uib.no)

Rapport fra feltarbeidet  
[http://www.gfi.uib.no/~larsh/storfjorden/Report\\_2004.htm](http://www.gfi.uib.no/~larsh/storfjorden/Report_2004.htm)

Regional Ocean Modeling System (ROMS)  
<http://marine.rutgers.edu/po/index.php?model=roms>



Figur 2. Gjennomsnittlig sjøistykkelse i Storfjorden i februar 2000, fargeskalaen er i meter. Pilene angir gjennomsnittlig fart på sjøisen, og pilen på Edgeøya angir skalaen på 0,1 m/s. Den svarte tjukke rette streken angir en gjennomsnittlig bredde på polynyaen på 20 km. Den ytre streken angir område som betegnes som Storfjorden, og den tynne stiplede streken angir området vi har beregnet polynya bredden i gjennom vinterperioden i Figur 3.



Figur 3. Bredden på polynyaen i Storfjorden fra 1. desember 1999 til 30. april 2000. Det er her brukt en polynya-lengde på 48 km, så totalt polynya areal kan beregnes ved å multiplisere med denne lengden. Arealet er beregnet innenfor den stiplede linjen i figur 2.



**Postadresse:**

Postboks 1129 Blindern  
0318 Oslo

**Besøksadresse:**

Sognsveien 68, Oslo

**Telefon:**

22 85 87 50

**Telefaks:**

22 85 87 51

**E-post:**

admin@cicero.uio.no

Cicerone kommer ut med seks  
nummer i året. Abonnement er gratis.

**Arkiv:**

www.cicero.uio.no/cicerone

**Trykk:**

GAN Grafisk

**Opplag:** 4300

ISSN 0804-0508

Bladet er trykt på G-Print 115 gram  
miljøvennlig papir

**Returadresse:**

CICERO Senter for klimaforskning  
Postboks 1129 Blindern  
0318 OSLO

## Reports

2005:8, **Bang, Guri, Gørild Heggelund and Jonas Vevatne**, *Shifting strategies in the global climate negotiations*

2005:7, **Aaheim, H. Asbjørn and Karen Evelyn Hauge**, *Impacts of climate change on travel habits: A national assessment based on individual choices*

## Working Paper

2005:01, **Sygn, Linda**, *Climate vulnerability in Cuba: The role of social networks*

## Nytt på [www.cicero.uio.no](http://www.cicero.uio.no)

### Gir klimaendringene et ansikt

- Jeg ble født i en igloo. Vi tilbragte all tid utendørs bortsett fra når vi sov. Når man lever slik, vet man mye om klimaet, sier Jose A. Kusugak, leder for Inuit Tapiriit Kanatami. Inuit-jegere i nordlige Canada har gitt klimaendringene et ansikt på klimakonferansen i Montreal.

<http://www.cicero.uio.no/webnews.asp?id=10571>

### Debatt: Tvilen avblåst?

Det har i det siste fremkommet en del påstander i Cicerone (og andre steder) som viser at det fremdeles er en del misforståelser som er ute og går med hensyn til klimaproblematikken. Både FrP-politiker Korsberg og produsenten av "Dommedag avblåst", Lars Mortensen, har fremmet en rekke påstander som er feil, skriver Rasmus E. Benestad i denne artikkelen.

<http://www.cicero.uio.no/webnews.asp?id=10570>

### Klimaforhandlinger i Montreal: – Hva gjør vi med USA?

USAs delegasjon er ikke kommet til klimaforhandlinger i Montreal for å diskutere forpliktelser etter Kyoto-protokollens virkeperiode 2008-2012.

<http://www.cicero.uio.no/webnews.asp?id=10569>

### Utdyper kritikk av klimadokumentar

Lars Oxfeldt Mortensen gir meg en ypperlig anledning til å gå litt mer grundig til verks mot filmens faglige grunnlag, skriver Pål Prestrud.

<http://www.cicero.uio.no/webnews.asp?id=10566>

### Produsent svarer på kritikk av klimadokumentar

Produsenten bak den danske dokumentaren "Dommedag er avblåst", Lars Oxfeldt Mortensen svarer på kritikken fra CICERO-direktør Pål Prestrud.

<http://www.cicero.uio.no/webnews.asp?id=10565>

### – Pinlig dokumentar om klima på NRK

Nylig sendte NRK den danske dokumentaren "Dommedag er avblåst" som kritiserer noen av FN's klimapanelers (IPCC) konklusjoner. – Problemet med denne filmen er at den sprer desinformasjon og at den i stor grad tar opp forskningsspørsmål som det ikke lenger er debatt om, sier CICERO-direktør Pål Prestrud.

<http://www.cicero.uio.no/webnews.asp?id=10545>

## Klimakalender

### ÅPEN HØRING MED

### LAVUTSLIPPSUTVALGET:

19. januar 2006. Trondheim.

<http://www.lavutslipp.no/>

### "GREEN POWER 5"

INTERNATIONAL CONFERENCE  
AND EXHIBITION ON  
SUSTAINABLE POWER

DEVELOPMENT: 2. – 3. februar  
2006. New Dehli, India.

[http://www.indiacore.com/  
ic-conf/12-feb06-green-power/](http://www.indiacore.com/ic-conf/12-feb06-green-power/)

### ÅPEN HØRING MED

### LAVUTSLIPPSUTVALGET:

17. februar 2006. Oslo.

<http://www.lavutslipp.no/>

CARBON MARKET INSIGHTS  
2006 EVENT:

28. februar – 2. mars 2006.

København, Danmark.

<http://www.pointcarbon.com/>

CONFERENCE ON CLIMATE  
CHANGE TECHNOLOGY:  
ENGINEERING CHALLENGES  
AND SOLUTIONS IN THE 21ST  
CENTURY:

9. – 12. mai 2006. Ottawa,  
Canada.

<http://www.CCC2006.ca/>

EIGHTH INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON GREENHOUSE  
GAS CONTROL TECHNOLOGIES:

19. – 23. juni 2006. Trondheim.

<http://www.ghgt8.no/>