

Tony tenker stort



Foto: Reuters

Storbritannias statsminister Tony Blair viser vei i Klimapolitikken.

Storbritannias statsminister vil kutte landets utslipp av klimagasser med enorme 60 prosent. Selv er han nok ute av bildet når målet eventuelt nås i 2050.

Tony Blair snakker som en klimapolitikkers Winston Churchill – men klarer britene å sette opp nok vindmøller og strømsparende kjøleskap til å holde det han lover?

Side 3 og 4-5



Bråe klimaendringer

Klimaet under siste istid kunne endre seg brått, med en temperaturendring på opptil 16 grader i løpet av noen få tiår. Slike bråe endringer er også mulige i årene som kommer, men de blir neppe like dramatiske.

Side 23

Pollenvarsel

Forskere ved NORPAST bruker pollen til å finne ut hvordan klimaet var for mange tusen år siden.

Side 28

Store ord
Side 4

EU etter skjema
Side 6

Strengere kvotesystem
Side 7

Overdrevet oppvarming
Side 8

Liten klimatilpasning
Side 10

Gullstandard
Side 12

Liten virkning av Kyoto
Side 13

SAMSTEMT: Vetomakten Russland
Side 16

KLIMATEK: Skip lastet med CO₂
Side 18

Gjødsling av havet binder lite CO₂

Resultater fra forsøk med havgjødning for å øke algenes binding av CO₂ tyder på at metoden ikke er særlig effektiv.

I 1988 publiserte havforskeren John Martin en hypotese om at veksten av planteplankton i havet ble begrenset av tilgjengeligheten av jern. Siden planteplankton tar opp CO₂, har det vært foreslått at en kan øke opptaket fra atmosfæren og dermed bidra til å minske konsentrasjonen av drivhusgasser, ved å gjødsle havområder med jern. Kommerielle foretak har allerede tatt interesse for ideen siden noen beregninger antydte kostnader på bare 1 – 2 dollar per tonn fjernet karbon, noe som er svært lavt sammenliknet med for eksempel skogplanting (se artikler av Buesseler og Boyd og av Schiermeier). Forskere flest er imidlertid skeptiske, blant annet fordi de er redd havgjødning kan ha mange uønskete effekter, for eksempel økt forekomst av giftige alger. Resultater av et stort felt-eksperiment omtalt i artikler i *Nature* i desember og i *Science* i april i år støtter opp om skepsisen. Et forskerteam spredde jernsulfat i havet sør for New Zealand. Dette førte til en planteplankton-oppblomstring som strakte seg over 200 kilometer. Eksperimentet bekreftet at gjødning av havet med jern kan gi økt karbontransport ned til mer enn 100 meters dyp. Transporten var imidlertid bortimot hundre ganger mindre effektiv enn tidligere anslag basert på laboratorieundersøkelser. Eksperimentet tyder også på at det kan oppstå uønskete bivirkninger. Forskerne fant betydelig økt utslipp av metylbromid fra havet til atmosfæren, et stoff som bidrar til nedbrytning av ozon i stratosfæren. Også utslippene av isopren som deltar i viktige reaksjoner i atmosfæren, økte kraftig. Resultatene er foreløpige, men dersom de bekreftes, er ikke gjødning av havområder med jern noen god metode for å begrense økningen av karbondioksid i atmosfæren.

Referanser

- R. Dalton, Ocean tests raise doubts over use of algae as carbon sink. *Nature* 420 (2002) 722.
- Q. Schiermeier, The oresmen, *Nature* 421 (2003) 109-110.
- K.O. Buesseler and P.W. Boyd. Will ocean fertilization work? *Science* 300 (2003) 67-68.

Hans Martin Seip

Innhold

Synspunkt: Store forventninger	3
Store planer fra Tony Blair	4
EUs drivhusgassutslipp øker	6
EU-parlamentet vil utvide kvotehandelen	7
Kraftsparing i norsk industri vil redusere CO ₂ -utslippene	7
Har IPCC overdrevet fremtidig temperaturøkning?	8
Klimatilpasninger lar vente på seg	10
Setter strengere krav for CDM	12
Forskningsrådet satser på klima	12
Virkningene av Kyoto-protokollen: Kan gi et par prosent lavere utslipp	13

SAMSTEMT

Tror Russland vil redde Kyoto – til slutt	16
---	----

KLIMATEK

Mitt skip er lastet med CO ₂	18
---	----

KlimaProg

RegClim: Fokuserer på risiko når klimaet endres	20
RegClim: Risiko for bråe klimaendringer	23
RegClim/NOClm: Bråe klimaendringer ved utgangen av istiden	26
NORPAST: Bruk av pollen til å rekonstruere fortidens klima	28
ProClim: Polare klimaprosesser under lupen	30
NOClm: Atlanterhavet er et gigantisk varmelager	31

Cicerone 3/03

Redaksjon:

Andreas Tjernshaugen (Ansv. red.)
Pål Prestrud
Petter Haugneland
Steffen Kallbekken

Leserinnelegg

Korte innlegg til *Cicerone* sendes med e-post til
cicerone@cicero.uio.no.

Skriv helst ikke over 2000 tegn (inkludert mellomrom).
Redaksjonen vil prioritere korte innlegg, men kan selvsagt
ikke garantere spalteplass.

Ønsker du å abonnere gratis på Cicerone?

e-post: 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

Store forventninger

Foran Irak-krigen ble Storbritannias statsminister mobbet i avisspaltene som president Bushs lydige puddel. Kanskje ønsket han å rette opp det inntrykket da han i februar lanserte en ambisiøs plan mot utslipp av klimagasser – med tydelig brodd mot sin allierte på den andre siden av Atlanteren. Målet for planen er 60 prosent lavere utslipp av klimagasser i 2050.

Er dette målet troverdig? Ikke i den forstand at Tony Blair selv kan holde det han lover. I 2050 er han neppe i live. Allerede i 2020, fristen for å nå et delmål om 20 prosent lavere utslipp, vil nok dagens regjeringsmedlemmer stort sett være pensjonister. Rimeligvis kan planen heller ikke gjøre nøyaktig rede for hvordan målene skal nås, selv om det blant annet legges opp til storstilt utbygging av fornybar energi. Ingen vet hvordan det britiske samfunnet ser ut om flere tiår.

Fordelen med slike storslåtte mål er likevel at de får oss til å heve blikket så vi får øye på fremtiden. Det kan trenge. Klimaproblemet er så mye mer langsiktig enn andre politiske utfordringer at det krever litt annerledes tenkning. Langsiktige mål kan være et nyttig signal om retningen på politikken, så sant de følges opp av troverdig handling.

Hittil har klimapolitikken stort sett hatt kortere tidshorison. Rundt 1990 satte Norge og mange andre rike land seg som mål at utslippsveksten skulle snus slik at utslippene var tilbake på nivået fra 1989 eller 1990 innen år 2000. Målet ble bekreftet i Klimakonvensjonen fra 1992 – men allerede i 1995 erklærte norske myndigheter at målet ikke ville bli nådd for Norges del. De første klimamålene ble ikke fulgt opp av noen realistisk plan for hvordan de skulle settes ut i livet. Men de satte en målestokk for landenes innsats, noe som la et visst moralsk press på myndighetene. Det kan ha bidratt til at Kyotoprotokollen, med sine bindende krav om lavere utslipp fra de industrialiserte landene i perioden 2008-2012, ble vedtatt i 1997.

Avtalen kan være nyttig som et første skritt, men den er ikke så mye mer. På side 13 i denne utgaven av *Cicerone* finner du resultater fra en økonomisk analyse som viser at Kyotoprotokollens virkning på de globale utslippene av klimagasser blir høyst beskjeden. Nå finnes det riktignok argumenter for at avtalen praksis kan gjøre større forskjell enn artikkelen konkluderer med. For det første har avtalen også en politisk effekt. Et viktig eksempel: Selv om USA ikke deltar i Kyotoprotokollen, kan avtalen ha stor betydning for landets politikk. Går Kyoto-samarbeidet i vasken kan lufta gå ut av mange av de klimapolitiske initiativene som nå verserer i Kongressen og på delstatsnivå. For det andre føler myndighetene i en rekke land seg forpliktet gjennom protokollen til å gjennomføre tiltak ut over bare kvotehandel. For det tredje kan Kyotoprotokollen – og utsiktene til at den blir fulgt opp av nye avtaler – bidra til at investeringer til en viss, beskjeden grad vris mot teknologi med lavere utslipp. Siden investeringer i for eksempel kraftverk og bygninger har levetid på flere tiår, kan en slik vridning ha virkning langt ut over perioden 2008-2012.

Men i alle tilfeller er Kyotoprotokollen bare en sped begynnelse. En plan for å motvirke farlige klimaendringer må ta sikte på å unngå for høye konsentrasjoner av klimagasser i atmosfæren mange tiår inn i fremtiden. Det interessante med britenes initiativ er at det er det første forsøket på å knytte en klimapolitisk strategi direkte til slike langsiktige mål. Det er noe å legge merke til når forhandlingene om Kyotoprotokollens arvtaker starter opp – senest i 2005.



Andreas Tjernshaugen, Informasjonsleder ved CICERO Senter for klimaforskning

Store planer fra Tony Blair

I februar i år la Storbritannias statsminister Tony Blair fram det mest ambisiøse klimapolitiske initiativet noen regjering hittil har kommet med. Innen 2050 skal Storbritannia kutte sine utslipp av klimagasser med hele 60 prosent.

Steffen Kallbekken og Jonas Vevatne

Klima- og energiplanen følger opp anbefalingene fra både EU og en statlig britisk utredning om at 60 prosent reduksjon i utslippene er nødvendig for å stabilisere CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren på 550 liter per millioner liter luft (ppm). Det er dobbelt så høy konsentrasjon som før den industrielle revolusjonen startet. Planen presenterer skritt mot en framtidig lavkarbonøkonomi, men søker også å finne løsninger på Storbritannias kommende rolle som energiimportør. For innen tre år vil petroleumsp produsenten Storbritannia være en nettoimportør av gass, og innen 2010 må de også importere olje.

Det har vært lite debatt omkring Blairs forslag. Det skyldes kanskje at 2050 synes noe fjernt for så vel politikere som velgere. De senere års hyppige justeringer av miljøavgifter og endringer i virkemidlene i klimapolitikken, understreker derimot det prekære behovet for å meisle ut langsiktige mål og stabile virkemidler. Dersom selskaper skal ta teknologisk risiko ved sine investeringsbeslutninger er de avhengige av stabile rammebetingelser.

Blairs plan utpeker 2020 som en merkestein og et konkret steg videre etter Kyoto-protokollens første forpliktelsesperiode (2008-12). Da skal det kunne vises til reell framgang med 20 prosent reduksjon i utslippene.

Steffen Kallbekken

er forsker ved CICERO
(steffen.kallbekken@cicero.uio.no).

Jonas Vevatne

er forsker ved CICERO
(jonas.vevatne@cicero.uio.no).



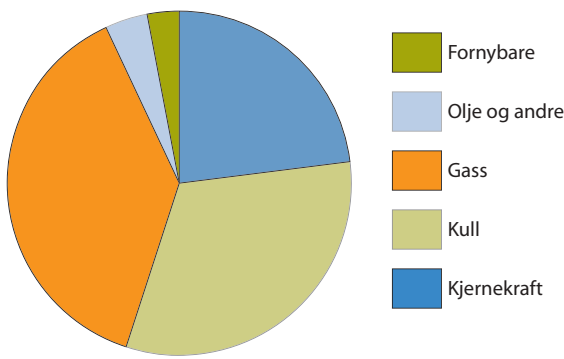
Foto: GE Wind Energy

Allerede i 2020 skal 20 prosent av elektrisiteten være basert på fornybar energi, mot bare 3 prosent i dag. Planen legger spesiell vekt på at Storbritannia har et stort, og hittil uutnyttet, potensial for offshore vindkraft.

I et brev til EU-kommisjonens president Romani Prodi, oppfordrer Statsministrene Tony Blair og Gøran Persson EU til å ta føringen i klimaspørsmålet, og legge om til en lavkarbonøkonomi. EU bes om å forplikte seg til 60 prosent kutt i klimagassutslippene innen 2050. Blair og Persson understreker betydningen av et kraftig politisk signal for å styrke satsningen på klimateknologi og mener derfor at Kommisjonens første steg bør være å utarbeide en handlingsplan for introduksjon av ny miljøteknologi.

Hvordan nå målet?

For å nå Blairs ambisiøse klimamål, må energibruken reduseres samtidig som bruken av fornybar energi økes betraktelig. Planen beskriver et stykke på vei hvordan dette skal oppnås. Det går tydelig fram at regjeringen har stor tro på at de riktige økonomiske insentivene skal sikre investeringer i grønn teknologi, og at Storbritannia bør ligge i fronten av denne utviklingen. For å gjennomføre planen skal regjeringen gi industrien og investorene tydelige og stabile politiske ramme-



Britisk elektrisitetsproduksjon i 2002. Ifølge energiplanen skal andelen fra fornybare kilder øke til minst 30-40% i 2050! Økningen skal først og fremst gå på bekostning av kull – dersom ikke karbonlagring kan gjennomføres.

betingelser. De vil bruke både markedet og regulering, men så langt det lar seg gjøre vil de bruke prismetanismen, som de mener gir størst fleksibilitet til å finne de beste måtene å redusere klimautslippene på.

Blairs plan legger stor vekt på kvotehandel som et middel til å sikre utslippsreduksjoner til minste kostnad. Storbritannia har allerede innført et system for kvotehandel og vil fra 2005 ta del i EUs system. Ved å sette et tak på utslippene, skaper de tydelige insentiver for investeringer i energieffektivitet og renere teknologi til laveste kostnad. Storbritannia skal jobbe for at EUs system for kvotehandel skal bli mer omfattende (flere utslipp fra flere sektorer). Storbritannia har allerede innført en klimaavgift på bruk av gass, kull, elektrisitet og LPG. Planen signaliserer bruk av avgifter også i framtida for utslipp som ikke dekkes av kvotehandel.

Energieffektivitet

”Den billigste, reneste og tryggeste måten å møte våre mål i energipolitikken på er å bruke mindre energi”, står det i planen. I tillegg til kvotehandel og andre økonomiske virkemidler, satses Storbritannia også på regulering gjennom tøffere standarder for bygninger, produkter, i hjemmet (ENØK), på arbeidsplassen og i offentlig sektor. Blant annet skal de i 2005 revidere de tekniske standardene for

bygninger, og sette høyere krav til energieffektivitet. I EU skal Storbritannia kjempe for høyere standarder for energieffektivitet for forbrukerevarer, slik som kjøleskap og PC-er.

Regjeringen vil støtte forsk-

ning og utvikling og innovasjon, både for å utvikle nye langsiktige alternativer (slik som hydrogen som energibærer), og for å øke bruken av nye teknologier (slik som fornybar energi og energieffektiv teknologi). Et nytt nasjonalt senter for energiforskning skal opprettes av Forskningsrådene.

Fornybar elektrisitet

Kraftproduksjonen må skje med lavere utslipp av karbon, og fornybar energi vil derfor spille en sentral rolle. For å nå målet om en 60 prosent reduksjon innen 2050, beregner de at minst 30-40 prosent av elektrisiteten må produseres av fornybare energikilder. Et av de viktigste tiltakene for å nå dette målet, er å øke den økonomiske støtten til fornybar energi. Allerede i 2020 skal 20 prosent av elektrisiteten være basert på fornybar energi, mot bare 3 prosent i dag.

Planen legger spesiell vekt på at Storbritannia har et stort, og hittil uutnyttet, potensial for offshore vindkraft. Regjeringen håper på en hurtig vekst i denne sektoren, men ser for seg at andre fornybare energikilder som bølge- og tidevannskraft vil ha en viktigere rolle på litt lengre sikt. Brenselceller ses på som et særdeles interessant alternativ på lang sikt. Planen legger derfor opp til at Storbritannia skal ligge i fronten for utviklingen av brenselcelleteknologi.

Storbritannia skal imidlertid ikke gå bort fra dagens energikilder, som hovedsakelig er gass og kull. Det legges stor vekt på potensialet til energieffektive kombinerte kraft- og varmeverk fyrt med gass. Kull står fortsatt for en tredjedel av Storbritannias kraftproduksjon, men planen sier at ”dersom kull skal spille mer enn en marginal rolle i energiforsyningen etter 2015, må produsentene finne lønnsomme måter å håndtere konsekvensene av utslipp av karbondioksid på.”

“Vi vil ikke ha noen virkelig sikkerhet dersom planeten raseres av klimaendringer.”

Tony Blair.

En mulighet er å ”fange og lagre” karbon. Dersom karbonlagring kan gjennomføres, kan det også gi bedre utnyttelse av Storbritannias oljeresurser (ved å bruke trykket fra CO₂-gassen som pumpes ned i reservoarene til å presse ut mer olje). Spesielt interessant er det å føre utslippene fra kullkraftverk ned i oljereservoarer. Planen legger opp til raskt å undersøke hva som må til for å få i gang et demonstrasjonsprosjekt.

I følge planen ligger ikke forholdene til rette for å satse på kjernekraft. Det skyldes de økonomiske problemer som kjernekraften i Storbritannia har i dag og avfallsproblematikken, men denne muligheten holdes likevel åpen: Regjeringen foreslår ikke å bygge nye kjernekraftverk, men vil heller ikke legge ned eksisterende kraftverk ”for tidlig”.

Transport

Transportsektoren står for en fjerdedel av karbonutslippene. Regjeringen forventer fortsatt transportvekst, og verken vil eller kan bremse denne veksten. De fremhever imidlertid muligheten for å redusere disse utslippene gjennom bedre og renere biler og drivstoff. Planen legger derfor opp til et samarbeid med bilindustrien, der innovasjon igjen står i sentrum. Men Blair vil også bruke skattesystemet for å gi de riktige insentivene. Blant annet har bilavgiften blitt endret fra en flat avgift til en avgift som er differensiert etter utslipp av CO₂. På kort sikt er målet å produsere bedre biler som bruker mindre energi, og også redusere karbonutslippene ved å bytte til gass eller biobrensel. På lang sikt er håpet at bilene skal bruke hydrogen som brensel i brenselceller – noe som gir null utslipp av klimagasser fra bilene.

- Vilt optimistisk

Blairs planer betegnes av enkelte i miljøbevegelsen som ”vilt optimistisk”. Selv om tidshorisonten er så lang at han aldri kan stilles til regnskap for måloppnåelsen, er initiativet prisverdig fordi det setter et langsiktig reduksjonsmål som er mer i overensstemmelse med anbefalingene fra FNs klimapanel enn målene i Kyoto-protokollen eller målene for andre lands nasjonale klimapolitikk. Kanskje kan det være enklere å overkomme særinteresser og barrierer for en mer effektiv klimapolitikk ved å fokusere på langsiktige mål. Problemet med en slik plan er som The Guardians Paul Brown poengterer at energihvitteboka ”har høye ambisjoner, men dårlig med konkrete målsetninger, og mangler finansieringen som trengs for å kunne levere alternativ energi”.

Department of Trade and Industry (DTI) (2003): Our energy future – creating a low carbon economy, <http://www.dti.gov.uk/energy/whitepaper/>

EUs drivhusgassutslipp øker

Selv med en nedgang i Tysklands og Storbritannias drivhusgassutslipp, økte EU-landenes samlede utslipp i 2001 med en prosent.

Petter Haugneland

Det europeiske miljøbyrået (EEA) opplyser at 10 av 15 EU-land er langt fra å nå Kyotomålet. Bare Tyskland, Storbritannia, Frankrike, Sverige og Luxemburg er i rute.

- EU beveger seg lengre fra å nå sine forpliktelser, og spesielt medlemsstater som ikke er i rute med å nå sine mål, har det travelt med å innføre ytterligere tiltak, sier EUs miljøkommisær Margot Wallström til nyhetsbyrået Reuters.

Danmark er et av landene som er langt ifra å nå sine forpliktelser. Danmarks miljøvernminister Hans Christian Schmidt (V) sier til sitt forsvar at de viktigste virkemidlene i EUs klimapolitikk, som for eksempel kvotehandel, ikke er iverksatt ennå.

- Når kvotemarkedet settes igang fra 2005 vil vi se markante fremskritt i statistikken, sier Schmidt til Berlingske Tidende.

- Klimapolitikken gir resultater

I Storbritannia tar regjeringen nedgangen i sine utslipp som et tegn på at deres klimapolitikk gir resultater. Utslippene har falt med 3,5 prosent de siste tolv månedene. Men mesteparten av de industrielle kuttene kommer fra redusert produksjon og nedleggelse i stålindustrien som har opplevd en alvorlig krise i det siste.

Storbritannias drivhusgassutslipp i 2002 lå 9 prosent under 1990-nivået, ikke langt unna 12,5 prosent kuttet som landet har forpliktet seg til å nå i perioden 2008 til 2012. Fallet har kommet til tross for en 30 prosents økning i BNP de siste 12 årene.

Nedgangstider og mildvær

Andre industriland rapporterer om ned-



EUs miljøkommisær Margot Wallström mener at medlemsstater som ikke er i rute med å nå sine mål, har det travelt med å innføre ytterligere tiltak.

gang i utslippene av klimagasser. Fallet skyldes i stor grad økonomiske nedgangstider og mildvær.

Canada opplevde i 2001 et fall i sine drivhusgassutslipp for første gang siden 1991, delvis på grunn av varmt vær og en tregere økonomisk vekst, opplyser canadiske myndigheter. Utslippene falt med 1,3 prosent, men Canadas utslipp ligger fortsatt 26 prosent over utslippsnivået som landet har forpliktet seg til å nå innen 2012 ifølge Kyotoprotokollen.

Lavere utslippintensitet

Økonomien vokste med bare 1,4 prosent i 2001, mot en økning på 4,7 prosent året før da drivhusgassutslippene økte med 3,4 prosent. Nivået på utslippintensiteten, eller utslipp per produserte enhet, har sunket i det siste tiåret, men på grunn av økonomisk vekst har utslippene likevel økt. - Selv om en mild vinter hjalp, viser tallene at vi kan ha en økonomisk vekst og samti-

dig redusere utslippene av drivhusgasser, sier Canadas miljøvernminister David Anderson til Canadian Press.

Canadas utslippstall for 2002 er ikke klar før senere i år, og da vil det vise seg om nedgangen i 2001 er starten på en trend eller bare et resultat av tilfeldige hendelser som det ikke er sannsynlig vil gjenta seg.

USAs drivhusgassutslipp falt med 1,2 prosent i 2001, og landet ligger nå 11,9 prosent over 1990-nivået, selv om president George W. Bush har trukket landets tilslutning til Kyotoprotokollen.

I Norge gikk utslippene av drivhusgasser ned med 2,5 prosent i 2002. Nedgangen skyldes særlig redusert produksjon og nedleggelse i ferrolegerings- og magnesiumindustrien, ifølge SSB og SFT. I tillegg var fjoråret varmere enn normalt i Norge, noe som også førte til mindre utslipp på grunn av fyring.

Petter Haugneland

er informasjonskonsulent ved CICERO
(petter.haugneland@cicero.uio.no).

EU-parlamentet vil utvide kvotehandelen

Kvotedirektivet som EU-landenes miljøvern-ministere ble enige om i desember i fjor, skal til høring for andre gang i EU-parlamentet i begynnelsen av juli. Utfallet av høringen vil kunne påvirke utformingen av Norges kvotesystem.

Petter Haugneland og Jonas Vevatne

EUs kvotedirektiv beskriver reglene for et kvotesystem for handel med utslipps-tillatelser av klimagasser. EU-parlamentet ønsker i hovedsak et strengere kvotesystem, og kom i den første høringen med en rekke forslag til endringer til direktivet. Det ble blant annet foreslått å sette en begrensning på antall kvoter fra Kyotoprotokollens ordninger for prosjektsamarbeid - Den grønne utviklingsmekanismen (CDM) og Felles gjennomføring - som kan brukes i EUs interne kvotesystem. Hensikten er å prioritere nasjonale utslippsreduksjoner. Parlamentet foreslo også at andre drivhusgasser enn bare CO₂ skal inkluderes så sant disse utslippene kan måles på en tilfredsstillende måte. I tillegg foreslår EU-parlamentet at fem prosent av utslipps-

kvotene skal fordeles gjennom auksjonering allerede fra starten i 2005.

I EU-parlamentets andre høring skal det voteres over om Ministerrådet har tatt nok hensyn til disse endringsforslagene. Om EU-parlamentet ikke godtar Ministerrådets vedtak, kan det verste fall bli forhandlinger mellom partene i en såkalt forliksprosedyre. Om dette skjer, er det usikkert hvor lang tid det tar før kvotedirektivet er ferdigbehandlet. Men siden det haster med en avgjørelse, er det rimelig å anta at begge parter vil være villige til å strekke seg langt for å få en rask avgjørelse.

Norges kvotesystem avhengig av EU

Mange av punktene i EUs kvotesystem som ikke er helt avklart ennå, vil også være viktige for Norges utforming av sitt kvotesystem. Særlig viktig er spørsmålet om hvor mange klimagasser som skal

inkluderes i systemet, om det vil omfatte aluminiums- og kjemisk industri, og om de enkelte landene kan inkludere flere bransjer på egen hånd. Det antas at regjeringen vil komme med et forslag til lovhjemling og nærmere beskrivelse av detaljer for utformingen av et nasjonalt kvotesystem i løpet av året. Dilemmaet for regjeringen er på den ene siden å kunne tilpasse seg EUs system, samtidig som tiden er knapp, siden det norske kvotesystemet også skal settes i gang i 2005.

Under et besøk i Norge i april sa EUs miljøkommisær Margot Wallström at det fra EUs side blir ansett som ønskelig at Norge deltar i et framtidig kvotehandels-system. Hun påpekte at kvotedirektivet lå fast, men at de må se på fleksibiliteten og tilpasningsmåten til dette. Wallström er overbevist om at en skal finne løsninger for Norge også.

DEBATT

Kraftsparing i norsk industri vil redusere CO₂-utslippene

Kristen Knudsen, Cand. Oecon

Cicerone 2-2003 omtaler utviklingen av ARP-prosessen, en ny prosess for aluminiumsmelting. Prosessen vil ikke bare bli lønnsom, men fordi den i stor grad dreier seg om energieffektivisering, kan den også gi reduserte CO₂-utslipp. Det er derfor svært positivt dersom utviklingsarbeidet blir kronet med hell. Men jeg må arrestere *Cicerone* der bladet resonnerer omkring hvor mye prosessen kan bety i reduserte klimagassutslipp etter hvert som den gradvis slår ut dagens Hall-Héroult-prosess:

ARP-prosessen lavere elkraftbehov vil gi opp til 37 prosent reduksjon i CO₂-utslipp, forutsatt, som *Cicerone* sier, at elektrisiteten kommer fra kullkraftverk. Greitt. Men så sies at det ikke vil bli reduserte utslipp av drivhusgasser fra norsk aluminiumsindustri som tar prosessen i bruk "siden Norge får mesteparten av sin elkraft fra utslippsfri vannkraft". Det hevdes at på verdensbasis er det bare der elforbruket kommer fra kullkraftverk at man får store utslippsreduksjoner.

Cicerones fremstilling undervurderer sterkt ARP-prosessen's potensial for reduserte klimagassutslipp. Det skyldes særlig at bladet ikke trekker inn at aluminiumsverk for det meste får sin elkraft fra et elkraftnett. Reduserte kraftbehov betyr mindre behov for elkraftproduksjon fra de marginale produsentene i det aktuelle nettet. Ofte er det kullkraftverk som er marginale produsenter, bare sjelden vannkraftverk eller kjernekraftverk. Konkret innebærer dette at redusert kraftbehov til norske aluminiumsverk betyr mindre kullkraftproduksjon i Danmark eller på kontinentet.

Drøyt 70 prosent av aluminiumsindustriens globale elkraftforbruk kjøpes i et kraftnett. Litt under halvparten av de knapt 30 prosent av elkraftforbruket som leveres fra industriens egne kraftverk, er vannkraft. Utvilsomt ville også mye av denne kraften alternativt vært tilgjengelig for alternative formål som trenger elektrisitet.

Unntaket fra hovedregelen er avsidet aluminiumsverk som får elkraft fra dedikerte lokale vannkraftverk. Globalt kan

dette neppe dreie seg om mer enn 1/10 av aluminiumsindustriens elkraftforbruk. Men – om denne kraften ikke har alternativ anvendelse, gir ARP-prosessen's energieffektivisering slike sterke insentiv til å bygge ut kapasiteten. Gjennom markedet for aluminium vil dette gå på bekostning av andre al-verk. Da får vi effekten her også! Den dagen ARP-prosessen har slått Hall-Héroult-prosessen helt ut, kan globalt CO₂-utslipp per tonn aluminium kanskje være redusert med omtrent tre tideler.

Løpende norsk energi- og klimadebatt har ikke evnet å skille mellom

- 1) at norsk vannkraft er et viktig bidrag til lavere-enn-ellers klimautslipp ved bruk av elkraft,
- 2) at hver gang det forbrukes mer elektrisk kraft i Norge (og i andre land) øker bruken av fossile brensler, noe som gir klimautslipp.

Før dette skillet ligger til grunn ved politiske beslutninger, har Norge ingen relevant klimapolitikk.

Har IPCC overdrevet fremtidig temperaturøkning?

FNs klimapanel (IPCC) har nylig blitt kritisert for å bruke metoder som overdriver hvilken vekst vi kan vente i utslippene av klimagasser. Diskusjonen om metodevalg er viktig, men den forandrer ikke IPCCs konklusjon om klimaendringer som et stort problem i fremtiden.

Knut H. Alfsen, Bjart Holtsmark, Bård Romstad og Kristin Rypdal

I sin siste hovedrapport fra 2001 anslår FN's klimapanel (IPCC) at den globale oppvarmingen på grunn av menneskeskapte klimagassutslipp kan komme til å bli på mellom 1,4 og 5,8 grader Celsius fra 1990 til 2100. Til grunn for dette anslaget ligger scenarier for befolkningsutvikling og økonomisk vekst i ulike regioner i verden og antagelser om sammenhengen mellom økonomisk vekst og utslipp.

Det siste halvåret har klimapanelet blitt kritisert av økonomene Ian Castles, tidligere sjef ved Australias nasjonale statistiske byrå og David Henderson, tidligere sjefsøkonom i OECD. Castles og Henderson har flere poenger. Blant

annet mener de utslippsfremskrivningene lider av at de ikke bygger på historiske tilbakeblikk. I så fall er det ikke første gang økonomer gjør den feilen, men kritikken blir ikke uberettiget av den grunn. Konkret peker de på at enkelte av scenariene viser en økonomisk vekst i dagens utviklingsland de neste hundre år som er så rask at den helt savner motstykke i verdenshistorien.

Kjøpekraft

Men et annet hovedpoeng i kritikken fra Castles og Henderson er at man har brukt gjeldende valutakurser som grunnlag for å sammenligne bruttonasjonalprodukt i de ulike landene. Imidlertid kan man for en månedslønn i et u-land få kjøpt betydelig mer mat og andre varer i eget land enn i et rikere land. Det vil si at denne metoden får fattige land til å framstå som fattigere enn de egentlig er. Om IPCC i stedet hadde brukt BNP korrigert for forskjeller i kjøpekraft (prisnivåene, såkalte Purchasing Power Parities, PPP) ville gapet mellom fattige og rike land blitt mindre. Dette inntektsgapet er sentralt, fordi IPCC legger til grunn at en sentral drivkraft i den økonomiske vekstprosessen i de fattige delene av verden nettopp er inntektsgapet. Det er nærliggende å tenke seg at inntektsnivået i u-landene etter hvert vil konvergere mot inntektsnivået i de rike landene. Ved bruk av gjeldende valutakurser i stedet for PPP vil man dermed overdrive den sannsynlige økonomiske veksten i de fattige landene. Og i henhold til Castles og Henderson overdriver man dermed også den sannsynlige utslippsveksten i disse landene.

Energieffektivitet oppveier

Kritikerne har rett i at det antagelig er mer fornuftig å bruke BNP basert på kjøpekraft i framskrivningene. Men etter vår mening har denne kritikken likevel en helt avgjørende svakhet. Utslippene per produsert enhet er høyere i utviklingsland (og tidligere østblokkland) enn i de rikeste landene. På samme måte som det er naturlig å anta at de fattige landene etter hvert vil hente igjen de rike landenes økonomiske forsprang, er det også naturlig å anta at utslippene pr. produsert enhet vil nærme seg hverandre. Det Castles og Henderson overser er at bruk av BNP basert på markedsrate ikke bare overdriver fattigdommen i verden, men den overdriver også hvor lite energieffektive man er i de fattige landene. Ved bruk av PPP vil man se at potensialet for energieffektivisering i de fattige landene er mindre enn det IPCC har lagt til grunn. Tar vi hensyn til begge disse forholdene viser det seg at valg av mål på BNP faktisk er uten betydning.

På tross av at vi mener kritikken bygger på sviktende grunnlag, har vi sett hva slags effekt det vil ha på IPCCs konklusjoner om fremtidig temperaturøkning om man baserer seg på kjøpekraftkorrigert BNP. Vi har da antatt at man i 2100 skal ha de samme relative BNP-forskjeller mellom land som i IPCC-scenariene. Vi har derimot ikke endret veksten i energieffektiviteten i de fattige landene. I og med at det i IPCC-scenariene var lagt til grunn at også disse skulle konvergere med energieffektiviteten i de rike landene, innebærer våre forutsetninger her at de fattige landene i 2100 blir mer energieffektive enn de rike landene.

Knut H. Alfsen

er forskningsdirektør ved SSB og seniorrådgiver ved CICERO (knut.alfsen@cicero.uio.no).

Bjart Holtsmark

er forsker ved SSB (bjart.holtsmark@ssb.no).

Bård Romstad

er forsker ved CICERO (bard.romstad@cicero.uio.no)

Kristin Rypdal

er forsker ved CICERO (kristin.rypdal@cicero.uio.no)

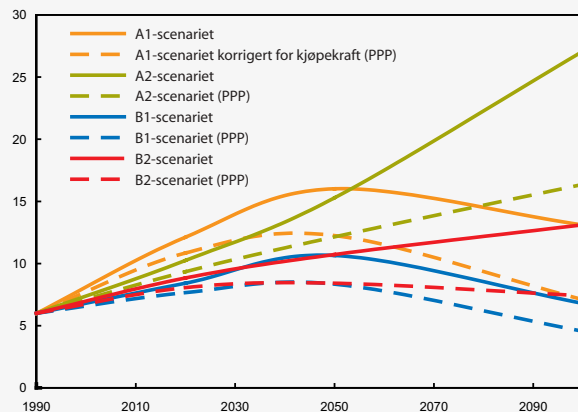
De ulike utviklingsscenarienes virkning på 1) CO₂-utslipp, 2) konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren og 3) endring i global temperatur beregnet med en klimamodell. De heltrukne linjene viser resultater ut fra fire av IPCCs scenarier. De stiplede linjene viser de samme scenariene korrigert for kjøpekraft (PPP).

IPCCs utslippsscenarioer bygger på ulike forutsetninger om befolkningsvekst, økonomisk vekst, teknologiske fremskritt og energibruk. Disse drivkreftene avgjør langt på vei de menneskeskapte utslippene av klimagasser. De fire scenariene som benyttes her representerer et mindre spenn mellom de høyeste og laveste utslippene enn de 40 scenariene som brukes i den store IPCC-rapporten. Derfor blir også forskjellen mellom de høyeste og laveste verdiene for temperaturøkningen mindre.

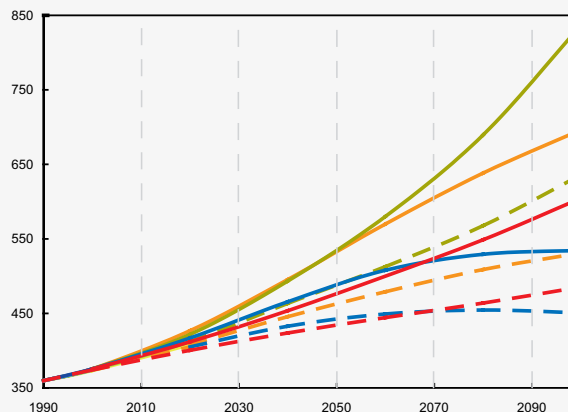
Beregninger

Figur 1 viser forskjellen mellom CO₂-utslippene i 2100 når de er beregnet ut fra BNP basert på valutakurs og kjøpekraft (PPP) for fire standardscenarier fra IPCC. Forskjellen mellom utslippene i 2100 er på mellom 40 og 50 % (avhengig av scenario). Betyr dette eventuelt at IPCC har beregnet en tilsvarende for høy fremtidig temperaturøkning? Vi har brukt CICEROs enkle klimamodell for å beregne CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren (Figur 2) og temperatur (Figur 3) for de samme scenariene og med de to ulike antagelsene om BNP. Mens IPCC beregnet en temperaturøkning for disse fire scenariene på mellom 2,0 og 4,0 grader i forhold til 1990, vil temperaturøkningen være 1,5-3,0 grader om man legger til grunn BNP basert på kjøpekraft (og ser bort ifra forskjeller i energieffektivitet). Årsaken til at effekten på temperatur ikke blir større er at CO₂ akkumuleres i atmosfæren, det vil si at historiske utslipp også har en sterk effekt på fremtidig temperaturøkning. Det er også verdt å merke seg at disse resultatene faller inn i de usikkerhetsintervallene IPCC har angitt. Diskusjonen om valg av metode for utslippsframskrivingene er absolutt viktig, men er ikke av betydning for IPCCs konklusjon om klimaendringer som et stort problem i fremtiden.

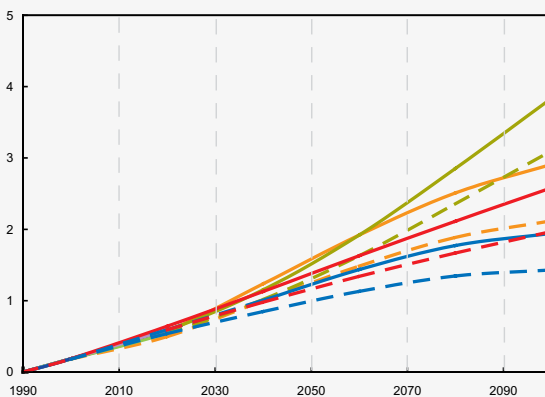
1) CO₂-utslipp (Gigatonn karbon)



2) CO₂-konsentrasjon (ppm, liter per millioner liter)



3) Temperaturendring (°C)



EU med minstekrav til energiskatt

Etter seks år med forhandlinger er et EU-direktiv om harmonisering av energibeskatningen endelig vedtatt. Medlemslandenes finansministere ble i mars enige om felles minstandarder for avgifter på fossile brenslere. For første gang innfører EU dermed felles retningslinjer for beskatning av kull og naturgass. I tillegg blir eksisterende minstesatser for avgifter på oljeprodukter hevet.

Minstekrav til energiavgiftene skal være et av flere virke-

midler som bidrar til å begrense forbruk av fossile brenslere, og dermed CO₂-utslipp. Men minstesatsene er så lave, og unntakene så mange, at det knapt blir noen økning i energiavgiftene i dagens medlemsland. Derimot kan minstesatsene få en viss effekt i landene som etter planen skal innlemmes i EU fra neste år. Direktivet kan også bli rammeverket for senere skjerpinger av energibeskatningen.

Klimatilpasninger lar vente på seg

Tilpasning til klimaendringer er i overraskende liten grad på dagsordenen der man kunne vente spesielt engasjement: I forsikringsbransjen, sivil beredskap, miljøvernforvaltningen og kommunenes planlegging.

Carlo Aall og Kyrre Groven, Vestlandsforskning

Det er konklusjonen i en fersk rapport fra Vestlandsforskning om klimatilpasning i Norge. I de tilfellene der slike institusjoner arbeider spesielt med klimatilpasning legges hovedfokus på ekstreme værbegivenheter, mens tilpasning i forhold til de mer gradvise og langsiktige klimaendringene i liten eller ingen grad er fanget opp.

Tilpasning nødvendig

Effektiv klimatilpasning rører ved kompliserte samfunnsstrukturer, og vil måtte iverksettes på tvers av etablerte sektorgrenser. Videre er det sannsynlig at *kommunene* vil få en viktig rolle i et slikt sektorovergripende arbeid, ikke minst i kraft av sin posisjon som planleggingsmyndighet. Det er bakgrunnen for at studien tar for seg *tverrsektorielt orienterte* systemer som også er representert på *lokalt* nivå. Hensikten med studien har vært å beskrive dagens arbeid med relevans for klimatilpasning og diskutere mulighetene for å styrke arbeidet med klimatilpasning i de fire undersøkte institusjonelle systemene.

Carlo Aall

er forsker ved Vestlandsforskning
(carlo.aall@vestforsk.no).

Kyrre Groven

er forsker ved Vestlandsforskning
(kyrre.groven@vestforsk.no).

Utslippsreduksjon og tilpasning er to strategier som lett oppfattes som motsetninger. Studert i en lokal planleggingssammenheng blir det tvert i mot klart at de to tilnærmingene må utvikles parallelt for å sikre best mulig effekt. Kyotoavtalen alene vil ikke kunne redusere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren; til det trengs det langt strengere utslippsforpliktelser. Det er derfor en økende erkjennelse internasjonalt av at vi neppe vil klare å unngå klimaendringer, og at innsatsen når det gjelder klimatilpasning derfor må øke, uansett hvilket ambisjonsnivå vi velger i den utslippsorienterte delen av klimapolitikken. Både den proaktive (det vil si den forebyggende) og reaktive (for eksempel beredskap i forhold til naturkatastrofer) innsatsen innenfor klimatilpasning bør derfor styrkes.

Forsikringsbransjen mest aktiv

Av de fire institusjonelle systemene vi har undersøkt er *forsikring* det systemet som har den *bredeste* inngangen til klimapolitikken. Her står både klimatilpasning og utslippsreduksjoner på dagsorden, i det minste om vi inkluderer den internasjonale reassuransindustrien (selskapene som forsikrer andre forsikringsselskaper). Motsatt viser det seg at *miljøvernforvaltning* er det systemet som i *minst* grad har fanget opp strategier som eksplisitt retter seg inn mot klimatilpasning. En viktig årsak til dette er trolig at en her har vurdert det som uheldig å sette spørsmålet om klimatilpasning høyt på dagsorden, fordi man har vært redd for å miste fokus på årsakene til klimaendringene. Dette er holdninger som ser ut til å endres

internasjonalt. Det offentlige *beredskaps-systemet* har så langt vist lite interesse for følgene av endret klima, men er likevel det av våre fire institusjonelle systemer som rent faktisk har den mest *omfattende* virksomheten med direkte relevans for klimatilpasning. Kommunenes beredskapsarbeid er særlig knyttet til planlegging. Beredskapshensyn skal innarbeides både i den ordinære arealplanlegginga, gjennom risiko- og sårbarhetsanalyser og kriseplanlegging. Det er derfor nære koblinger mellom beredskapsarbeid og *kommuneplanlegging*.

Utsiktene til hyppigere og mer omfattende naturskader kan føre til krav om at forsikringstakere skal sikre egne verdier i større grad enn i dag. Mens forsikringsnæringa så langt har vært forbeholden med erstatningsreduksjon overfor vanlige forsikringstakere, er det flere eksempler på regresskrav overfor kommuner i skadesaker der det i strid med plan- og bygningsloven er tillatt bygging i naturskadeutsatte områder – særlig nær vassdrag og i kvikkleireområder. Forsikringsnæringa har varslet at de vil skjerpe praksisen på dette området. En viktig utfordring for kommunene knytter seg til deres ansvar som eier av ledningsnett for skader som oppstår pga brudd på eller tilstopping av vann- eller avløpsrør. Problemer med underdimensjonert eller tilstoppa avløp kombinert med store nedbørmengder vil kunne øke som følge av klimaendringer. Dette kan utløse store skader, særlig i byområder, som kommunen vil stå økonomisk ansvarlig for.

Internasjonalt er forsikring mot naturkatastrofer *lite* utbredt. Likevel represen-



EKSTREME VÆRBEGIVENHETER: Under Stormflommen på Østlandet i 1995 stilte Heimevernet og Forsvaret opp med sandsekker.

Foto: Signe Dons / Aftenposten.

terer naturskader en alvorlig påkjenning på forsikrings- og reassuransens nærings- og økonomi, med kraftig vekst i skadeerstatningsbeløp den siste mannsalderen. Store naturkatastrofer på første halvdel av 1990-tallet skjerpet interessen for klimaendringer i forsikringsindustrien, men bare et lite mindretall av primærforsikringsselskap og reassurandører opptre proaktivt i forhold til disse utfordringene. Det foregår en debatt om hvorvidt det er mulig å etablere levedyktige forsikringsordninger mot skader ved klimaendringer. Effektiv tilpasning til endret klima vil trolig være en forutsetning for at forsikring mot naturskader skal kunne fortsette i dagens form dersom vi i framtida får vesentlig hyppigere og alvorligere naturkatastrofer.

I løpet av 1990-tallet endret beredskapsarbeidet i Norge karakter fra å være krigsorientert til å bli mer sivilt orientert. Dette må vi se i lys av tre forhold: Den sikkerhetspolitiske situasjonen etter at jernteppet falt; utvikling av en stadig mer kompleks og sårbar infrastruktur; og to omfattende naturkatastrofer på første halvdel av 1990-tallet: Nyttårsorkanen i 1992 og storflommen på Østlandet i 1995. Slik sett er beredskapssystemet et

interessant eksempel på institusjonell endring som implisitt kan knyttes til klimaendringer. St.meld. nr. 17 (2001-2002), som skisserer grunnlaget for dagens beredskapspolitikk, gir bare en summarisk omtale av klimaendring som samfunnsikkerhetsproblem. Likevel opplyser Direktoratet for sivil beredskap at dette er et tema myndighetene er opptatt av, og som en har ønske om å forske på.

Lokalnivået viktig

Det lokale nivået spiller en viktig rolle i klimapolitikken. Dette kan i utgangspunktet synes som et paradoks, all den tid klimaproblemet er et globalt fenomen og klimapolitikk gjerne knyttes til internasjonale politiske prosesser. Likevel er det flere forhold som peker i retning av det lokale som et avgjørende nivå. Et sentralt poeng er det som i internasjonal litteratur om klimatilpasning betegnes som "the issue of up- and downscaling". I dette ligger at de faktiske effektene av klimaendring lett kan "kamoufleres" om man ikke har et tilstrekkelig lokalt fokus. Et annet poeng som understreker viktigheten av det lokale er *medvirkning*. Spørsmålet om lokal medvirkning har stått sentralt i kommuneplanlegginga og miljøvernforvaltninga i flere

tiår, men også innen beredskap har medvirkning i form av bistand fra frivillige organisasjoner i krisehåndtering vært viktig. Medvirkning tjener to viktige formål i arbeidet med klimatilpasning: Det er et virkemiddel for å gjennomføre effektive proaktive og reaktive tiltak, og medvirkning er en viktig kanal for dialog mellom myndigheter og relevante aktører.

Det lokale nivået er selve fundamentet i beredskapsarbeidet. Det samme gjelder for kommuneplanlegging. Også i forsikringa er det lokale nivået viktig. Dette gjelder selvsagt først og fremst den direkte kontakten med kundene, men etter hvert også i økende grad spørsmålet om innsamling av informasjon om lokale forhold. Det siste forholdet er kanskje ikke fullt utviklet ennå, men signaler om økt grad av differensiert forsikringspremie ut fra forskjeller i risiko gjør det rimelig å forvente at informasjon om lokale variasjoner i risiko vil bli viktigere for forsikringssystemet. I miljøvernforvaltninga har staten lenge vært det avgjørende elementet, men det siste tiåret har kommunene fått en stadig viktigere rolle. Arbeidet det siste tiåret med lokale Agenda 21-prosesser og lokale klimaplaner

viser at kommunene også kan sette globale miljøproblemer på dagsorden. Framheving av det lokale forvaltningsnivåets ansvar i klimapolitikken betyr ikke at ansvaret kan overlates til det lokale nivået. Poenget her er at det kan være fruktbart å ta et lokalt utgangspunkt som et *supplement* til det dominerende nasjonale og internasjonale fokus.

Gjennomgangen av de fire tversektorielt orienterte institusjonelle systemer avslører at klimatilpassningsutfordringer knyttet til *naturressursbaserte næringer* i stor grad faller utenfor disse systemenes virkeområde. De styres i stor grad gjennom sektorlovgivning og egne sektordepartementer. De fire undersøkte systemene retter seg i større grad inn mot styring av den *fysiske infrastrukturen*. Som følge av dette er våre fire systemer også bedre egnet til å fange opp klimatilpassningsproblemer i andre næringer som industri, handel og tjenesteproduksjon. Gitt at våre fire institusjonelle systemer er de som kommer til å være de mest sentrale i arbeidet med klimatilpasning, er dette en uheldig situasjon ut fra antakelsen at de naturressursbaserte næringene er særlig utsatt for negative konsekvenser av eventuelle klimaendringer.

Gjør tilpasning stuerent!

Bare få tilløp til utforming av en bevisst tilpasningsstrategi så langt kan tyde på at arbeid med klimatilpasning i større skala vil la vente på seg. Hva er så de avgjørende utfordringene når det gjelder å styrke arbeidet med klimatilpasning? Vi kan i alle fall trekke fram tre utfordringer: Den første består i å få til en tettere kobling mellom klimapolitikken og arbeidet med klimatilpasning. I dette ligger blant annet å gjøre klimatilpasning "stuerent" i en miljøpolitisk sammenheng. Den andre består i å plassere et institusjonelt ansvar for tilpasning i forhold til de *gradvise klimaendringene*; ikke som i dag der det som er av oppmerksomhet er konsentrert om tilpasning til økt forekomst av ekstreme værbevisenheter. Den tredje hovedutfordringa er å styrke samarbeidet mellom de fire institusjonelle systemene. En mulighet kan være å gjøre lokal sektorovergripende beredkapsplanlegging lovpålagt og å legge denne forma for planlegging inn under plan- og bygningsloven. Regjeringa har varslet at et lovforslag om kommunal plikt til overordnet beredkapsplanlegging vil bli lagt fram. Det er også tatt initiativ til å styrke utdanningen i beredkapsplanlegging gjennom etablering av et eget masterstudium ved Høgskulen i Volda. Videre bør myndighetene vurdere å utvide dagens ordning med konsekvensutredninger etter plan- og bygningsloven til systematisk å omfatte konsekvenser i forhold til framtidige klimaendringer. Det bør også være aktuelt å vurdere samordning av det administrative ansvaret for beredskap, kommuneplanlegging og miljøvern i kommunene.

Artikkelen er basert på en rapport skrevet som del av det felles instituttprogrammet "Climate Change in Norway: An Analysis of Economic and Social Impacts and Adaptations" mellom CICERO, ProSus, Vestlandsforskning og Stiftelsen for næringslivsforskning.

Setter strengere standard for CDM

Miljøorganisasjonene mener reglene for Den grønne utviklingsmekanismen (CDM) i Kyotoprotokollen ikke er strenge nok. Nå har WWF tatt initiativet til sitt eget regelverk, som de har døpt Gullstandarden.

Steffen Kallbekken

Mark Kenber i WWF inviterer bedrifter som skal kjøpe seg utslippstillatelser for klimagasser gjennom Den grønne utviklingsmekanismen (CDM) til å betale litt ekstra. Belønningen er en garanti for at man virkelig har bidratt til utslippsreduksjoner og bærekraftig utvikling i u-land.

Gullstandard

Den grønne utviklingsmekanismen (CDM) i Kyotoprotokollen skal redusere industri-landenes kostnader ved å gjennomføre protokollens krav om reduserte utslipp. CDM gir industriland (Anneks B-land) muligheten til å kjøpe billige utslippsreduksjoner ved å finansiere tiltak som reduserer utslippene av klimagasser i u-land. Tiltakene skal samtidig bidra til bærekraftig utvikling i landet der de blir gjennomført. Regelverket for å få godkjent CDM-prosjekter ble nylig ferdig utarbeidet, men foreløpig er ingen prosjekter godkjent.

Miljøbevegelsen har lenge kritisert reglene for godkjenning av CDM-prosjekter for å ikke være strenge nok til å garantere verken reelle utslippsreduksjoner, eller at prosjektene bidrar til bærekraftig utvikling i u-landene. For å bidra til strengere kvalitetskontroll har WWF tatt initiativet til å utvikle en strengere standard, som de kaller Gullstandarden. De er for øyeblikket i ferd med å trekke med

andre miljøorganisasjoner i arbeidet med å utvikle standarden.

Finnes det er marked?

Så sant myndighetene tillater det, kan private selskaper selv kjøpe seg utslippstillatelser gjennom CDM. Kenber håper det vil være mulig å få en høyere pris for kreditter fra prosjekter som lever opp til kravene i Gullstandarden, og som dermed har større troverdighet. Muligheten for å oppnå en høyere pris vil trolig være avgjørende for om Gullstandarden vil bli en suksess, for den vil unektelig føre med seg høyere kostnader til godkjenningen av prosjekter.

- Det kan være interesse i det private næringslivet for en slik standard, bekrefter Geir Høiby i Næringslivets hovedorganisasjon (NHO). Høiby mener det avgjørende er om Gullstandarden virkelig kan overbevise om at den garanterer prosjekter av en høyere miljømessig standard enn det som ellers finnes i markedet. Dersom CDM-markedet blir omfattende tror han at ikke WWF vil ha kapasitet til å godkjenne noen stor del av prosjektene, og at det derfor også vil finnes gode prosjekter som ikke er godkjent av WWFs Gullstandard.

Mer om saken:

<http://www.cicero.uio.no/div/cdm.html>

Forskningsrådet satser på klima

Norges forskningsråd (NFR) er under omorganisering. I en egen divisjon for strategiske satsinger blir Miljø, energi og bærekraftig utvikling blir et av fire avdelinger. Klimaforskningen blir en sentral del av dette satsingsområdet, og vil deles i to programmer: Forskning om klimaendringer, deres effekter og tilpasning til et endret klima skal samles i programmet NORKLIMA: Klimaendringer og konsekvenser for Norge. Det nye programmet vil være en sammenslåing av de tre pågående programmene KlimaProg, KlimaEffekter og den store fondssatsingen Polar klimaforskning. Energiteknologi og samfunnsmessige

rammebetingelser og virkemidler i klima- og energipolitikken blir tema for forskningsprogrammet Fremtidens rene energisystem - FremRen. Dette opplyste NFRs Terje Mørland på NFRs store konferanse om klimaforskning i april.

Norklima-programmet som skal startes opp fra 2004, var hovedtema for konferansen. Forskningen som havner under Norklima, har i år et budsjett på om lag 80 millioner. NFR tar sikte på en budsjettvekst på 30 millioner, sa direktør Christian Hambro. Som grunnlag for programmet skal det lages en klimaforskningsrapport i løpet av høsten med en grundig vurdering av status.

Virkningene av Kyoto-protokollen:

Kan gi et par prosent lavere utslipp

Kyoto-protokollen kan gi en global utslippsreduksjon i størrelsesordenen en til to prosent i forhold hvor store utslippene ville være uten avtalen. Det antyder nye beregninger fra Statistisk sentralbyrå (SSB).

Bjart Holtsmark

USA blir ikke med på Kyoto-protokollen, i hvert fall ikke i første forpliktelsesperiode. Med andre ord er den dominerende kjøperen i et mulig fremtidig kvotemarked ute av markedet. Nå ser det også ut til at Australia følger i USAs fotspor, og dermed svekkes sannsynligvis etterspørselen i kvotemarkedet ytterligere. Dermed må Russland, Ukraina og de andre øst-europeiske landene med store mengder overskuddskvoter i stor grad basere seg på salg til EU og Japan. Samtidig har EU forlatt sitt krav om begrensninger i den frie bevegelsen av kvoter over landegrensene. Resultatet kan bli at markedet flommer over av kvoter som omsettes til en meget lav pris. Miljøeffekten av avtalen kan bli tilsvarende liten. Ray J. Kopp ved instituttet *Resources for the Future* har (kanskje betegnende) karakterisert Kyoto-protokollen uten USA som stol-leken når det er like mange stoler som barn i selskapet - det blir mye marsjering, men ellers skjer det ingenting. I denne artikkelen belyses hvilken grad Kopp har rett. Alt i alt skal vi se at han trolig overdriver en del.

Resultatene bygger på de nyeste utslippsscenarioene fra USAs energidepartement og beregninger med en økonomisk modell for det internasjonale kvotemarkedet og energimarkedene. Beregningene begrenser seg til å se på CO₂. Det utgjør selvsagt en feilkilde, men data for de andre



Vi kan fortsette som før: Kyoto-protokollen kan komme til å øke bensinprisen med fire til åtte øre.

klimagassene som omfattes av Kyoto-protokollen er såpass utilgjengelige og usikre at de fleste tilsvarende analyser har samme begrensning. Resultatene er nærmere beskrevet og dokumentert i Discussion paper nr. 349 utgitt av Statistisk sentralbyrå, se www.ssb.no.

Utslippsscenarioene

USAs energidepartement (DOE) publiserer jevnlig utsikter for energimarkedene og scenarier for utslippsutviklingen for klimagassen CO₂. I den siste oppdateringen fra 2002 presenterer DOE tre sce-

narier for utslippsutviklingen - et scenario med lav vekst, ett med medium vekst, og ett med høy vekst. På denne måten får man et visst inntrykk av usikkerheten man må operere med. I beregningene som presenteres i denne artikkelen legges det til grunn at disse tre scenariene gir tre ulike prognoser for hvordan utslippsutviklingen blir dersom Kyoto-protokollen ikke gjennomføres og at det i det hele tatt ikke gjennomføres nye utslippsreducerende tiltak av vesentlig omfang. Disse scenariene vil jeg omtale som business-as-usual-scenariene (BAU-scenariene).

Bjart Holtsmark

er forsker ved SSB (bjart.holtsmark@ssb.no).

De industrialiserte landene som har utslippskrav i Kyoto-protokollen, kalles *Anneks B-landene* fordi de er listet opp i Anneks B i Kyoto-protokollen (*Anneks I-landene* er de industrilandene som er listet opp i Anneks I i Klimakonvensjonen. Det er noen forskjeller mellom disse listene). Utslippene fra Anneks B-landene i 2010 i hvert av de tre scenariene fra DOE er presentert i figur 1. Figur 1 viser også de respektive landenes samlede utslippskvoter i Kyoto-protokollen. Figur 2 viser så underskudd eller overskudd på kvoter i respektive land og regioner. Selv om det er liten grunn til å tro at USA og Australia vil ratifisere Kyoto-protokollen, inkluderer figurene disse to landenes kvoter i henhold til avtalen man ble enige om i 1997. Ved å sammenligne den samlede kvoten for Anneks B-landene og disse landenes BAU-utslipp i 2010, kan man slutte seg til hvor stor nettoetterspørselen etter kvoter vil bli. Dersom USA og Australia hadde blitt med, ville de samlede kvotene vært vesentlig mindre enn BAU-utslippene. Ikke minst ville USA hatt et meget stort underskudd på kvoter.

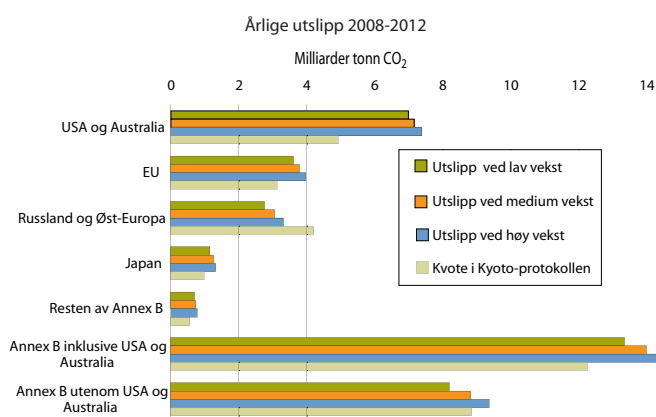
Etter at disse to landene har trukket seg, er bildet annerledes. Da blir det et netto underskudd på kvoter bare i tilfellet med høy vekst. Underskuddet på kvoter blir i dette tilfellet på om lag 500 millioner tonn CO₂, som tilsvarer knapt 2 prosent av globale CO₂-utslipp. I alternativene med lav og medium vekst, blir det et netto overskudd av kvoter, jf. de nederste søylene i figur 1.

Overskuddet på kvoter henger sammen med situasjonen i Russland og de andre tidligere kommando-økonomiene. Under kommunismen hadde disse landene en politikk som innebar en høy grad av energiløsning. Energiforbruk pr. produsert enhet i disse landene lå derfor over dobbelt så høyt som i OECD-området. Etter kommunismens sammenbrudd og etter hvert som man har innført større grad av markedsbaserte energipriser i disse landene, har energiforbruket naturlig nok falt raskt. I prognosene fra USAs energidepartement legger man derfor til grunn at BAU-utslippene i de tidligere kommando-økonomiene i 2010 vil ligge på mellom 65 og knapt 80 prosent av den samlede tildelte utslippskvoten. Følgelig kan disse landene eksportere store mengder kvoter uten å måtte gjennomføre noen utslippsreducerende tiltak hjemme. Man snakker ofte om 'varm luft' (*hot air*) eller overskuddskvoter.

Hvordan blir kvotemarkedet?

Figur 1 og 2 gir en indikasjon om at et internasjonalt kvotemarked under Kyoto-protokollen kan bli preget av at det i første rekke blir omsatt overskuddskvoter. Omsetningen over landegrensene kan bli betydelig, men denne omsetningen vil altså i liten grad bli motsvart av utslippsreducerende tiltak.

Figur 1. Utslipp i 2010 uten gjennomføring av utslippsreducerende tiltak. Utslippskvoter under Kyoto-protokollen. Milliarder tonn CO₂.



Kilde: USAs energidepartement

En nøkkelfaktor er hvorvidt alle overskuddskvotene til syvende og sist blir lagt ut for salg. Det er i første rekke to grunner til at land kan komme til å holde tilbake overskuddskvoter. For det første kan slike kvoter fritt spares til en senere forpliktelsesperiode, dersom landene blir enige om nye forpliktelser for tiden etter 2012. Dersom det i 2008 eller senere i forpliktelsesperioden 2008-2012 blir sannsynlig eller helt klart at det blir nye forpliktelser fra 2013, vil dette kunne initiere sparing av kvoter. I tillegg til mer politiske hensyn, vil omfanget av denne sparingen bli bestemt av hva som er en forventet kvotepris i den neste forpliktelsesperioden og den usikkerheten som er knyttet til denne prisen. Omfanget av sparing er det i dag derfor ikke mulig å si så mye fornuftig om. Men store land med mye overskuddskvoter vil også kunne komme til å holde tilbake kvoter for å presse opp kvoteprisen i den første forpliktelsesperioden. I praksis snakker vi da i første rekke om Russland. Det er dette motivet for å holde tilbake overskuddskvoter som det fokuseres på i denne artikkelen.

I det følgende presenteres beregninger av kvoteprisen og omsetningen i et fremtidig kvotemarked der de Anneks B-landene som tilhørte Sovjetunionen (FSU) for enkelhets skyld behandles som én aktør på kvotemarkedet. Jeg forutsetter at FSU-landene opptrer slik at deres inntekter i kvotemarkedet blir størst mulig. Det innebærer at en del av overskuddskvotene blir holdt tilbake. De andre landene forutsettes å ta kvoteprisen for gitt og tilpasse seg slik at deres marginale kostnad til utslippsreduksjoner blir lik kvoteprisen. Når jeg i det følgende benytter uttrykket 'utslippsrettighet' mener jeg en rett til å slippe ut én million tonn CO₂.

Den grønne utviklingsmekanismen

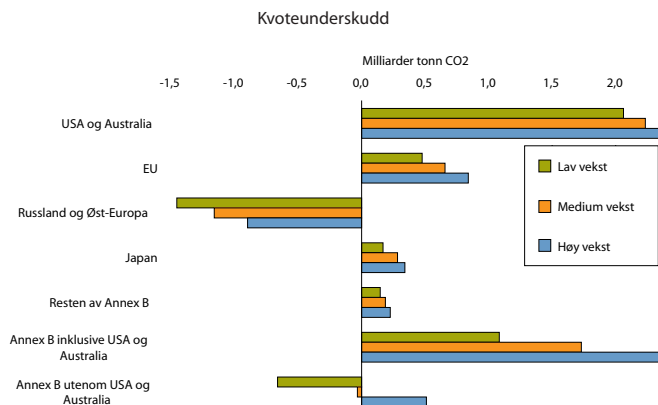
(CDM), som gir utslippsrettigheter til de som finansierer klimaprojekter i u-land, blir en viktig faktor på tilbudssiden i kvotemarkedet. Dette tilbudet er inkludert i beregningene og senker kvoteprisen og svekker Russlands markedsrett betydelig. Den grønne utviklingsmekanismen er modellert ved å anta at utviklingslandene har nasjonale kvoter som er like deres BAU-utslipp, og kan delta i internasjonal kvotehandel. Det er vanskelig å si om en slik forenklet modell for denne mekanismen gir for høyt eller for lavt tilbud av kvoter fra u-landene i forhold til det som eventuelt blir realiteten.

Det analysen ikke sier noe om er hvordan et motiv om å spare kvoter til en senere forpliktelsesperiode kan komme til å påvirke landenes adferd. Dersom det blir utsikter til en høyere kvotepris i andre forpliktelsesperiode enn i første, kan det komme til å redusere tilbudet og å øke etterspørselen etter kvoter i første forpliktelsesperiode. Har man tro på en mer effektiv avtale for en ny forpliktelsesperiode, kan det med andre ord tale for at kvoteprisen her blir for lavt anslått.

Med de nevnte forutsetningene gir beregningene en kvotepris på 28 kroner pr. utslippsrettighet dersom medium vekst legges grunn. Med lav vekst og høy vekst blir kvoteprisen henholdsvis 18 og 35 kroner. Til sammenligning la man i St. meld. nr. 15 (2000-2001) Norsk klimapolitikk til grunn en kvotepris på 40 kroner pr. utslippsrettighet.

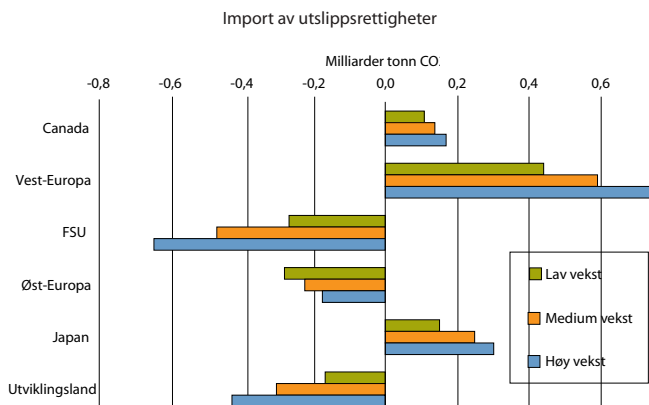
Strømmene i kvotemarkedet er vist i figur 3. Søylene på venstre side av aksene viser eksport av utslippsrettigheter, mens søylene på høyre side viser import. FSU er den største selgeren. Ved medium vekst selger FSU 470 millioner utslippsrettigheter. Til sammenligning har FSU i dette scenariet overskuddskvoter tilsvarende

Figur 2. Underskudd på kvoter. Milliarder tonn CO₂. Minus betyr overskudd av kvoter.



Kilde: USAs energidepartement/Statistisk sentralbyrå

Figur 3. Salg av utslippsrettigheter over landegrensene i første forpliktelsesperiode. Milliarder tonn CO₂.



Kilde: Statistisk sentralbyrå

ende 976 millioner tonn CO₂. FSU sitter altså igjen med 506 millioner utslippsrettigheter som ikke slippes ut på markedet i første forpliktelsesperiode. Ved lav vekst har FSU vesentlig mer overskuddskvoter (1197 millioner), og for å forsvare prisnivået sparer FSU i dette alternativet hele 929 millioner utslippsrettigheter. Ved høy vekst har derimot FSU 776 millioner utslippsrettigheter og holder tilbake 'bare' 131 millioner av dem.

De lave kvoteprisene innebærer at konsekvensene for energimarkedene blir forholdsvis begrensede, i hvert fall når det gjelder olje- og gassmarkedet. I Vest-Europa faller gass- og oljeforbruket med mindre enn én prosent. Kullforbruket påvirkes derimot vesentlig mer. Avhengig av valg av scenario faller kullforbruket i for eksempel Vest-Europa med mellom 5 og 10 prosent.

Den globale utslippsreduksjonen forsterkes av at FSU utøver markedsrett. Med medium vekst faller de globale utslippene med 440 millioner tonn CO₂ i forhold til BAU. De tilsvarende tallene med lav og høy vekst er 250 millioner og 600 millioner tonn CO₂. Noe av det paradoksale er at i ingen av de tre scenariene finner det sted noen utslippsreduksjoner i Russland, hvor potensialet for rimelige utslippsreduksjoner er stort.

Hvor sikre er beregningene?

Det er relevant å stille spørsmål ved usikkerheten i denne typen beregninger. For å belyse usikkerheten, har jeg også gjort beregninger med andre forutsetninger knyttet til hvor raskt energietterspørselen responderer på prisendringer. Dersom energiforbruket faller sterkt ved en liten prisøkning, det vil si at etterspørselen er elastisk, trekker det i retning av en lav kvotepris. Er derimot etterspørselen uelastisk, blir kvoteprisen høyere.

For å belyse hvor mye dette betyr, har jeg både fordoblet og halvert alle etterspørselstetisitetene for energi. På den måten spenner man over et rimelig usikkerhetsintervall. Ved en fordobling av etterspørselstetisitetene får vi omtrent en halvering av kvoteprisene. Tilsvarende gir en halvering av etterspørselstetisitetene omtrent en fordobling av kvoteprisene. Alt i alt varierer altså kvoteprisanslagene mellom 10 og 70 kroner. Det er altså fortsatt ganske stor grad av usikkerhet knyttet til hva som er et sannsynlig prisnivå for kvoteprisen dersom Kyoto-protokollen trer i kraft.

Konklusjon

Det er knapt fem år til Kyoto-protokollens første forpliktelsesperiode starter, så sant avtalen trer i kraft. Og følgelig kan man begynne å se sannsynlige konturer av et

fremtidig internasjonalt kvotemarked. Men det er mange usikre faktorer som gjør at det er vanskelig å gi særlig presise anslag for kvoteprisen og dermed kostnadene ved å gjennomføre protokollen. En sentral usikkerhetsfaktor er om det kommer i stand en effektiv avtale om en ny forpliktelsesperiode fra 2013. En slik avtale vil kunne ha sterk virkning på kvoteprisen.

Men det er også mange andre usikre faktorer. Det er ikke minst usikkert hvor stort energiforbruket vil være i de ulike berørte landene i første forpliktelsesperiode. Dermed blir både miljøvirkningen og kvoteprisen usikker. Det er videre usikkert hvor raskt tilbud og etterspørsel etter

energi påvirkes av endrede priser. Det forsterker usikkerheten knyttet til kvoteprisen.

Men ut fra det vi i dag vet, ser det ut til at Kyoto-protokollen i første forpliktelsesperiode kan komme til å gi en global utslippsreduksjon i størrelsesorden 1-2 prosent i forhold hvor store utslippene ville være uten denne protokollen. Kvoteprisen ser ut til å bli liggende et sted i intervallet 20 - 35 kroner pr. tonn CO₂. Det tilsvarer en økning i prisen på for eksempel bensin i størrelsesorden 4 til 8 øre pr. liter. For forbrukerne er dette altså ikke dramatisk. Det er det heller ikke for produsentene av olje og gass, som neppe vil oppleve et prisfall på produsentprisen mye over 0,5 prosent.

Annonse

NYHETER ENERGIFORSKNING

www.emba.no



Tror Russland vil redde Kyoto – til slutt

- Russland ville ha avvist Kyotoprotokollen tidligere om myndighetene hadde hatt et klart ønske om å trekke seg fra klimasamarbeidet, tror Arild Moe, konstituert direktør ved Fridtjof Nansens Institutt (FNI).

Petter Haugneland

Hvis Russland ratifiserer (godkjenner) Kyotoprotokollen vil avtalen automatisk tre i kraft og bli bindende. Hvis russerne avstår, er avtalen derimot død. Det er konsekvensen av en paragraf som krever deltakelse fra land som sto for minst 55 prosent av industrilandenenes CO₂-utslipp i 1990. Det har lenge hersket tvil om Russland vil ratifisere Kyotoprotokollen, og i tilfelle når dette vil skje.

- Om Russland hadde hatt et klart ønske om å trekke seg fra det internasjonale klimasamarbeidet, ville det optimale tidspunktet for dette ha vært rett i etterkant av at USA trakk seg. Da ville amerikanerne fått skylda for at Kyotoprotokollen ikke ble noe av. Nå er Russland satt i søkelyset, og det vil være en større politisk belastning å trekke seg i dag, mener FNI-direktøren.

Uthalingstaktikk

I internasjonal sammenheng vil et klart nei til Kyotoavtalen kunne føre til et dårligere forhold til EU og Japan, mens USA vil kunne se positivt på dette. Omvendt vil

USA like dårlig å bli satt på sidelinjen om Russland ratifiserer.

- Det tryggeste for Russland kan være å utsette avgjørelsen lengst mulig, selv om også dette kan gjøre forholdet til EU og Japan dårligere etter hvert. Det er denne taktikken det kan se ut som om Russland fører nå, selv om innenrikspolitisk dragkamp også betyr mye, tror Moe.

Internasjonalt press

Russland har fått økt oppmerksomhet som et nøkkelland for at Kyotoprotokollen skal kunne settes ut i livet, etter at USA trakk seg fra samarbeidet. EU har lagt sterkt press på Russland for å få landet til å ratifisere raskest mulig. Blant annet sendte unionen i vinter miljøkommissær Margot Wallström sammen med to av miljøvernministrene i EUs leder-troika til Moskva for å legge press på myndighetene i Russland, uten at de mottok positive signaler fra russisk side.

I motsatt retning kan man se tegn på at USA ønsker et bilateralt samarbeid på siden av Kyotoprotokollen. I januar var USAs sjefsforhandler, Harlan Watson, i Moskva og underskrev en avtale om et



Arild Moe, konstituert direktør ved Fridtjof Nansens Institutt (FNI), har sett på Russlands rolle som vetomakt i klimaforhandlingene etter at USA trakk seg fra Kyotoprotokollen i 2001.

bilateralt klimasamarbeid med Russland.

Lav prioritet

Moe mener det er viktig å ikke overdrive effekten av presset fra EU og USA.

- Klimapolitikken er ikke veldig høyt oppe på den politiske dagsordenen for tiden, særlig ikke i USA. Heller ikke Russland har klima høyt oppe på lista over viktige politiske saker. Russlands president, Vladimir Putin har ikke engasjert seg særlig i internasjonalt miljøsamarbeid. Han har ved et par anledninger uttrykt en viss støtte til Kyotoprotokollen, men ikke sterkere enn at han kan trekke denne støtten tilbake om han finner dette hensikts-

Samfunnsfaglige studier av energi, miljø. og teknologi

Forskningsprogrammet SAMSTEMT har som hovedmål å utvikle samfunnsfaglig kunnskap om energi, miljø og teknologi som kan gi grunnlag for utformingen av en politikk for bærekraftig utvikling på energiområdet. Programmet omfatter tre relativt brede hovedtema: Energimarkeder og energibruk, Teknologiske valg, energiplanlegging og infrastruktur, og Internasjonale miljøavtaler og klimapolitikk.

SAMSTEMT vil informere om prosjekter i programmet på egne sider i *Cicerone*. Programstyremedlem Aarne Røvik er ansvarlig for sidene, som blir utarbeidet av CICERO på oppdrag fra SAMSTEMT.

Mer om programmet: www.program.forskningsradet.no/samstemt/



messig, presiserer Moe.

Vetomakt

FNI's fokus på Russland inngår i et forskningsprosjekt som ser på betingelser for et effektivt klimaregime. Hovedfokus er på ulike politiske, juridiske og økonomiske virkemidler, både straff og belønning, som kan bidra til å få land til å overholde sine forpliktelser i et eventuelt klimaregime. I tillegg utfører FNI studier av nøkkelaktører som USA, EU, Kina og Russland. Prosjektet blir støttet av Norges forskningsråds SAMSTEMT-program som finansierer samfunnsfaglige studier av energi, miljø og teknologi. I slutten av mai arrangerte SAMSTEMT et seminar om internasjonale miljøavtaler og klimapolitikk. Her orienterte blant andre FNI-direktøren om Russlands rolle som vetomakt i klimaforhandlingene.

Usikre økonomiske fordeler

Kyotoprotokollen er til nå offisielt godkjent (ratifisert) av over hundre land. Etter at USA trakk seg fra Kyotoprotokollen i 2001, ble Russlands godkjenning nødvendig for at den internasjonale avtalen skal tre i kraft. De fleste har forventet at Russland skal bli med, først og fremst fordi landet etter all sannsynlighet vil tjene økonomisk på avtalen. Utslippene har falt kraftig siden kommunismens sammenbrudd, og landet kan dermed selge utslippskvoter som blir til overs. Siden 2001 har de kortsiktige økonomiske fordelene i forbindelse med Kyotoprotokollen blitt mer usikre for Russland, og på samme tid har oppmerksomheten om landet og dets forhandlingsstyrke i de internasjonale klimaforhandlingene økt.

Følger pengesekken

- Det er ingen hemmelighet at Russland i utgangspunktet var skeptisk til å forplikte seg til utslippsreduksjoner, men da de ulike fleksible mekanismene kom på banen under forhandlingene i Kyoto i 1997, ble russerne mer positivt innstilt til et forpliktende klimasamarbeid, sier Moe.

Da USAs president George



Foto: NATO

Russlands president, Vladimir Putin har ikke engasjert seg særlig i internasjonalt miljø samarbeid, men har uttrykt en viss støtte til Kyotoprotokollen ved et par anledninger.

W. Bush trakk landet fra avtalen, forsvant plutselig de store inntektene som Russland hadde forventet fra handel med utslippskvoter mellom de to landene. Godkjenningen av protokollen ble etter dette et mer kontroversielt tema blant russiske politikere.

- Etter at USA trakk seg fra samarbeidet, har de økonomiske interessene kommet tydeligere fram. I det siste har russerne ønsket mer forpliktende tilsagn om kjøp av kvoter for å endelig ratifisere avtalen, siden de økonomiske fordelene er mer usikre, mener Moe.

Innenrikspolitisk dragkamp

En russisk godkjenning av Kyotoprotokollen vil også føre med seg interne omorganiseringer som noen institusjoner vil nyte godt av, mens andre vil tape. Myndighetsorganene som er involvert i den nasjonale og internasjonale klimapolitikken vil øke sin innflytelse på bestøtning av andre.

- Til å begynne med ble klimaproblemet sett på som en forsknings- og miljøutfordring, og derfor fikk den føderale tjenesten for hydrometeorologi og miljøovervåking (Roshydromet) en ledende rolle i utformingen av Russlands klimapolitikk. Dette myndig-

hetsorganet har imidlertid ikke kompetanse og autoritet nok til å innføre og håndheve en eventuell russisk deltagelse i klimasamarbeidet under Kyotoprotokollen. Etter hvert har økonomiske og energipolitiske spørsmål dominert klimapolitikken, og derfor ønsker det russiske økonomiministeriet å overta lederrollen. Det er derfor intern strid om hvem som skal ha nøkkelrollen i en eventuell innføring av den klimapolitikken Kyotoprotokollen legger opp til, forteller Moe.

Lobbyvirksomhet

I tillegg kommer lobbyvirksomhet fra private industriområder.

- I den russiske industri-sektoren er det elektrisitets- og gassindustrien som har engasjert seg mest for å ratifisere Kyotoprotokollen, fordi de forventer et stort marked gjennom Kyotomekanismene. Den antatt sterkeste lobbygruppen i landet, oljeindustrien, har foreløpig ikke vært særlig med i diskusjonen. Om den skulle engasjere seg, er det mulig at den vil gå i mot ratifisering av Kyotoprotokollen, slik som den internasjonale oljebransjen gjorde i begynnelsen av klimaforhandlingene. Men modernisering av oljeselskapene og innslag av utenlandsk

eierskap kan bety at industrien ikke vil opptre enhetlig i dette spørsmålet, og at noen selskaper vil innta en positiv holdning til ratifisering, slik som flere internasjonale oljeselskaper har gjort de siste årene, mener Moe.

Klimaskeptikere

Forskningsmiljøene i Russland er heller ikke enige om verdenssamfunnet virkelig står overfor en menneskeskapt global oppvarming.

- Det er en betydelig klimaskepsis i Russland. Mange stiller seg tvilende til konklusjonene fra FN's klimapanel om at vi står overfor en menneskeskapt global oppvarming. På den store internasjonale klimakonferansen som skal arrangeres i Moskva i september, ser det ut til at "klimaskeptikerne" vil komme til orde i betydelig grad. Mange har hatt et håp om at Russland vil benytte denne konferansen til å annonsere at de vil ratifisere Kyotoprotokollen. Men siden det er en konferanse som i betydelig grad fokuserer på alternativer til konklusjonene fra FN's klimapanel, kan dette virke som et urealistisk håp, avslutter Moe.

Mitt skip er lastet med CO₂

Statoil og flere samarbeidspartnere undersøker mulighetene for å frakte karbondioksid (CO₂) på skip til aktuelle lagringsplasser. Målet er å finne løsninger som koster rundt 10 dollar per tonn CO₂.

Petter Haugneland

I diskusjonen om bygging av gasskraftverk i Norge, er CO₂-håndtering blitt kanskje det viktigste temaet. CO₂-håndtering betyr at CO₂ fra kraftproduksjonen blir "fanget", eller separert fra avgassene for å hindre at den slippes ut i atmosfæren og bidrar til global oppvarming.

Lagring og frakt

Gassen må på en eller annen måte lagres, og en aktuell mulighet er å bruke olje- og gassreservoarer i Nordsjøen. Siden store gasskraftverk naturlig nok må bygges på land, vil det være nødvendig å frakte gassen fra kilden til lagringsstedet.

- Ved å bruke skip til å frakte CO₂ fra kilden til lagringsstedet, vil man ha en mer fleksibel løsning i forhold til for eksempel å legge rørledninger. Et skip kan hente CO₂ fra mer enn en kilde, og det er også større mulighet til å tilpasse kapasiteten til behovet. Særlig i starten kan det være ønskelig med en forsiktig satsing for å

bygge opp markedet for frakt av CO₂, forklarer prosjektansvarlig Svein Inge Eide i Statoil.

Mange fordeler

Et skip har også mulighet til å hente CO₂ fra flere små og mellomstore kilder, mens investeringer i rørledninger typisk krever store anlegg både ved kilde og lagringssted. Rørledningstransport av CO₂ vil derimot sannsynligvis være den billigste metoden for korte avstander og dersom transportert volum er svært høyt.

- Olje- og energidepartementet ble i forkant av fremleggelsen av gassmeldingen i 2002 informert om prosjektet for skipstransport, og omtalte det i gassmeldingen som en mulig fraktmetode for CO₂, forteller Eide.

Takler svingninger i behovet

I enkelte tilfeller kan til og med problemet CO₂ bli en ressurs, om man bruker gassen som trykkstøtte i oljeutvinningen (se *Cicerone* 4-2002). Ved å bruke CO₂ i stedet for vann eller naturgass til å presse ut olje,

kan man øke den totale mengden som blir utvunnet fra et oljefelt med opptil fem til ti prosent. De mengdene CO₂ som trengs for dette vil typisk komme fra ulike kilder på land.

Om CO₂ skal brukes til trykkstøtte vil det i løpet av produksjonstiden til et oljefelt være behov for varierende mengder CO₂. I et nytt felt, vil behovet være lite de første årene, og øke etter hvert som oljeutvinningen finner sted. En typisk kilde for CO₂, som for eksempel kull- og gasskraftverk, produksjon av naturgass eller annen industri, vil ha en konstant produksjon av CO₂, mens mottaker vil ha varierende behov. Også her vil det være fordeler med skipsbasert transport i forhold til rørledninger. Ved økt behov kan et oljefelt motta CO₂ til trykkstøtte fra flere kilder.

Ubegrenset lagringsplass

- I Nordsjøbassenget har man nesten ubegrenset med lagringsplass for CO₂. I teorien kan man lagre all den CO₂ som det er mulig å "fange" fra hele Europa. Likevel er det viktig å understreke at slik lagring må prøves ut gradvis. Statoil er ledende blant



Foto: Statoil

Statoil bruker sin erfaring med skipsfrakt av flytende naturgass til å se på frakt av flytende CO₂. Det kan også bli mulig å bruke samme skip til kombinerte fraktoppdrag.

oljeselskapene når det gjelder offshore lagring av CO₂ med sin erfaring fra Sleipner feltet hvor det årlig lagres over en million tonn CO₂ i undergrunnen. Selskapet er i gang med en totalvurdering av mulighetene for å lagre CO₂ i større mengder under havbunnen, men en endelig avgjørelse er ikke tatt ennå, understreker Eide.

- Videre er bruk av CO₂ for å øke oljeutvinningen ikke er prøvd ut i Nordsjøen ennå, men i USA er denne metoden for økt oljeutvinning allerede utbredt på land, fortsetter han.

Han legger også til at investeringskostnadene for frakt av CO₂ er relativt høye. I et typisk tilfelle vil investeringene ligge rundt 150 millioner dollar for investeringer i skip og anlegg for behandling av gassen etter fanging, nedkjøling, lagring og for lasting og lossing.

Fraktes som nedkjølt væske

Utviklingsprosjektet har valgt å se på frakt av CO₂ som er nedkjølt til flytende form. Gassen nedkjøles til rundt - 50 °C slik

at den blir flytende. Når den er lastet over til fraktskipet, er det viktig å ha systemer om bord som forhindrer at væsken går over til gass eller fast form (tørris).

- Siden vi har erfaring med frakt av flytende naturgass, var det naturlig å se på frakt av CO₂ i væskeform. Dette kan også gjøre det mulig å bruke samme skip til kombinerte fraktoppdrag. Vi har satt som mål for prosjektet å kunne finne løsninger som koster i størrelsesorden 10 dollar per tonn CO₂ for selve frakten til Nordsjøbassenget og forbehandling av gassen. Men selve separasjonen er ikke inkludert i dette beløpet. Dette er et ambisiøst mål, men foreløpig har vi håp om å få dette til, fortsetter Eide.

Vurderer ulike scenarier

Forskningsprosjektet er et samarbeid mellom Statoil, Navion, SINTEF Energiforskning, Vigor, og Norges Forskningsråds KLIMATEK-program som støtter prosjektet med 5,1 millioner kroner

over to år. Målet er å vurdere tekniske løsninger, investeringsbehov og driftskostnader for tre ulike scenarier som varierer med hensyn til avstand, CO₂-mengde, CO₂-kilde og beliggenhet på lagringsstedet. Prosjektet fokuserer på energi- og kostnadseffektive systemer. Utviklingsprosjektet skal etter planen være ferdig i desember 2003. Om prosjektet viser seg å være teknisk gjennomførbart, kan man starte med videre prosess for å beslutte utvikling og bygging av de nødvendige fasilitetene. I prosjektbeskrivelsen ser man for seg at det kan være mulig å starte opp med frakt av CO₂ i begynnelsen av 2006, altså i god tid før Kyoto-protokollen trer i kraft i 2008. Dersom en vesentlig del av CO₂-mengden skal komme fra Norge, forutsettes selvsagt at det bygges gasskraftverk eller liknende store utslippskilder i Norge innen den tid.

Men Statoil fokuserer ikke spesielt på gasskraftverk som kilde for CO₂ i første omgang.

- Den billigste CO₂-en kommer fra industrielle kilder

som har mer konsentrert CO₂. Dersom et transportsystem etableres med utgangspunkt i denne typen kilder, vil dette kunne komme til nytte i håndteringen av CO₂ fra gasskraftverk på et senere tidspunkt, fortsetter Eide.

Internasjonal kvotepris

Også kostnadene for denne måten å håndtere CO₂ på er viktig. Selv om prosjektet oppnår målet med en kostnad på omlag 10 dollar per tonn CO₂, kommer kostnadene for å separere CO₂ fra avgassene på et kraftverk eller andre kilder i tillegg. Det vil da sannsynligvis bli billigere å kjøpe utslippskvoter fra utlandet. Men i følge Kyoto-protokollen skal kjøp av kvoter bare være et tillegg til egne utslippsreduksjoner. Avhengig av hvor strengt myndighetene tolker denne regelen, kan prosjektet være et viktig bidrag for å oppnå reell utslippsreduksjon innenlands.



Forskningsprogram om klima og klimaendringer

<http://program.forskningsradet.no/klimaprog/>

RegClim Fase III:

Fokuserer på risiko når klimaet endres

Med RegClim er norsk kompetanse på klima-modellering blitt bygget opp. Resultatene forbereder for studier av virkninger av klimaendringer i Norge, men det er i de neste fire årene at fruktene av kompetanseoppbyggingen virkelig kan høstes.

Trond Iversen, *RegClim*

Fra begynnelsen i 1997 har RegClim studert mulighetene for klimaendringer i Nord-Europa og tilgrensende havområder, i tråd med intensjonene i tildelingene fra Miljøverndepartementet til Norges Forskningsråd. Det daværende programstyret for studier av endringer i klima og ozonlag ønsket en koordinert utvidelse av eksisterende aktiviteter og kompetanse, i overensstemmelse med anbefalingene fra en internasjonal evaluering av programmets 10 første år.

RegClim har hittil gitt norske myndigheter og allmennhet de første svarene på hvordan en menneskeskapt global oppvarming *kan* slå ut regionalt hos oss. Betydelig kompetanse er bygget opp

innen klimamodellering, regionalisering av klimascenarier og forståelse av prosesser i klimasystemet. Mye av kompetansen er svært ung og fordelt på få personer, og det skal lite til for å miste mye. Samtidig som det skal høstes viktige direkte anvendbare resultater, prioriteres også dedikerte forskningstema.

Fase III av RegClim vil i betydelig høyere grad enn i tidligere faser høste fruktene av at prosjektet koordinerer aktiviteter ved flere institusjoner. Hovedfokus er beregninger av forandret risiko når klimaet endres. Dette gjøres ved å tallfeste ulike kilder til usikkerheter i beregninger i vår region. Av kilder til usikkerhet studeres tilfeldige variasjoner i regionale luft- og havstrømmer, variasjoner i den vertikale omveltning i Atlanterhavet, og den direkte og indirekte usikkerhet knyttet til de storstilte strømmene i Atlanterhavet og

til direkte og indirekte påvirkning av partikkelforurensning. Endelig beregnes hvilke endringer i pådrivene på atmosfæren som mest effektivt utløser klimaendringer i vår region.

I årene som kommer vil mye klima-modellering også foregå utenfor RegClim. Nye doktorgrader vil hovedsakelig bli rekruttert utenfor RegClim, men for det meste omkring de modellene som RegClim benytter.

Redusert usikkerhet om regionale klimaforandringer

RegClims sluttprodukt skal være beregnede scenarier for Norges klima som egner seg til bruk for virkningsforskning og konsekvensvurderinger. Man vet at det vil koste mye å redusere utslippene av klimagasser slik at påvirkningen av klimaet reduseres så det monner. Til sammenlikning vet vi lite om de kost-

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker naturvitenskapelig forskning som sikter på å øke forståelsen av klimasystemet og klimaendringer. Programmet hører inn under Norges forskningsråd og finansierer blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene AerOzClim, NOCLim, NORPAST og RegClim.

KlimaProg har sin egen redaksjon for å informere om forskningen i samarbeid med CICERO Senter for klimaforskning, og har egne sider i hvert nummer av tidsskriftet *Cicerone*.



Figur 1. Klimascenarienes spiral: En samfunnsstruktur forårsaker utslipp som påvirker atmosfærens strålingsbudsjett. Dette "strålingspådrivet" kan gi klimaendringer som virker inn på miljøet med konsekvenser for ressurser og mennesker, og som påvirker den samfunnsstrukturen som forårsaker utslippene, osv. osv. RegClim bidrar mest med resultater til de blå boksene.

nadene en menneskeskapt klimaendring kan føre med seg.

Det er derfor en betydelig fare for at det kan bli tatt politiske avgjørelser som gir utilsiktede konsekvenser. Illustrasjonen av klimascenarienes spiral understreker dette (figur 1). Ufullstendig viten om konsekvensene kan presse fram samfunnsendringer som kan forsterke konsekvensene. Figuren viser også at mens virkninger og konsekvenser av klimaendringer vil merkes regionalt, skaper de samfunnsmessige forholdene globale klimapådriv. Kostnadene ved å redusere klimagassutslipp vil ventelig belaste andre regioner enn dem som skånes mest ved reduserte klimaendringer. Dette kan sette internasjonalt diplomati på en utfordrende prøve.

RegClims fokus er Nord-Europa, tilgrensende havområder og deler av Arktis. Klimaet i denne regionen skiller seg ut fra andre regioner på samme breddegrad ved at det er relativt mildt og lite havis. Særlig basert på indirekte data for jordas klima i prehistorisk tid (paleoklimatologi), fryktes det at store endringer i denne situasjon kan oppstå i et perspektiv på 50 til 100 år. Å undersøke om menneskets påvirkning av drivhuseffekten kan utløse en svekkelse av de varme havstrømmene i Norskehavet og Barentshavet er betimelig. RegClims beregninger hittil tyder ikke på at slike drastiske konsekvenser er sannsynlig det nærmeste århundret.

For regionale klimaendringer er det viktig å undersøke bidrag til strålingsbalansen som har sterke regionale kontraster. Mens drivhusgassene blandes

jevnt i atmosfæren er partikkelforurensning kortlivet og varierer sterkt regionalt. Partikkelens relative bidrag til absorpsjon og spredning av solstråling varierer også med underlagets refleksjonsevne (albedo), som er svært kontrastrik. De indirekte virkningene via skyer og nedbør ser ut til å være større enn den direkte, men er knyttet til prosesser i skyer som tradisjonelt er mangelfullt beskrevet i klimamodeller.

Både forholdene i våre nære havområder og aerosolpartikkelens påvirkning er blant de mest usikre komponentene i dagens klimamodeller (se for eksempel siste IPCC-rapport fra 2001). I tillegg til å beregne regionale nedskaleringer av globale klimascenarier fra kjente internasjonale forskningssentre, planlegger derfor RegClim å fortsette arbeidet med å snevre inn usikkerhetene på disse fagfeltene.

Endret risiko for ekstremt vær

Når vi snakker om klimaendringer, tenker vi ofte på endringer i jordas gjennomsnittlige temperatur. Regionalt vil imidlertid endringer i nedbør og vind ofte være viktigere. Særlig interessant er en eventuell økt risiko for ekstremt vær. Hittil har RegClim kunnet tallfeste tendenser mot økt variasjonsbredde i vår regions vær. Dette gir seg uttrykk i økt hyppighet av det som i dagens klima er årets sterkeste døgn- og uke-nedbør eller maksimale vindstyrke.

Dette er bare et første skritt på veien mot å anslå endringer i "ekstreme ekstremer", eller i ekstreme nedbørmengder

Fakta om RegClim Fase III

En videreføring av RegClim som startet høsten 1997, for perioden 1. januar 2003 – 31. desember 2006.

Finansiert av Norges Forskningsråd med 5,25 millioner kroner per år. Betydelige IT-ressurser som CPU-tid og datalagring på nasjonale tungregneanlegg, vil komme i tillegg.

Prosjektet har en faglig rådgivingsgruppe bestående av:

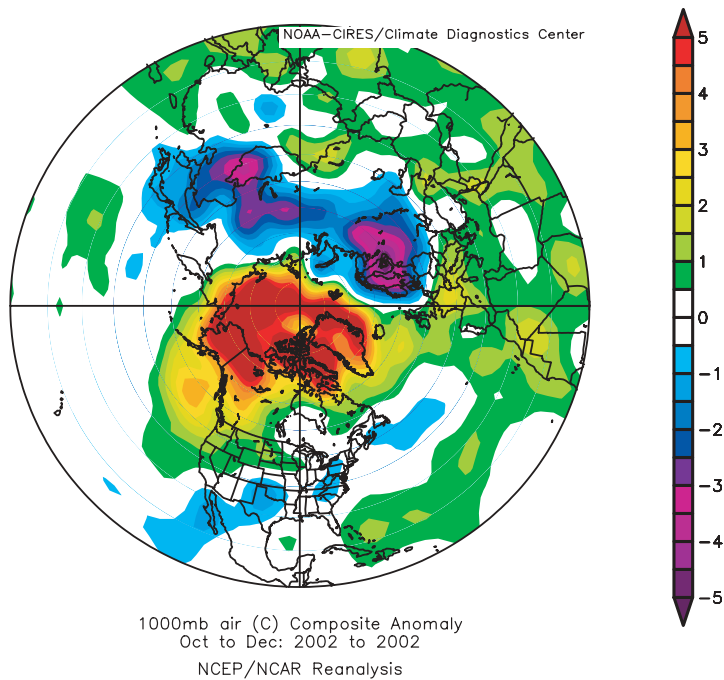
- Professor Erland Källén, Universitetet i Stockholm, og
- Professor Ulrich Cubasch, Freie Universität, Berlin.

5 institutter er med:

- Meteorologisk Institutt (koordinator)
- Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo
- Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen
- Havforskningsinstituttet
- Nansensenteret for miljø og fjernmåling

akkumulert over lengre perioder (måned, sesong). Ved å bruke data fra de 19 globale klimamodellene som refereres i IPCC, viste Palmer og Räisänen (*Nature*, 2002, Vol. 415, s. 512) en mer enn fire-doblet fare for store nedbørmengder over vintersesongen i Nord-Europa etter en dobling av atmosfærens CO₂-innhold.

Ekstremstatistikken til Palmer og Räisänen er ikke basert på nedskalerte data og mangler detaljer for å skille ut landsdeler i Norge. Hittil har RegClim publisert ett scenario med dynamisk nedskalerte beregninger fra Max-Planck-instituttet i Hamburg (MPI). (Dynamisk nedskalering tar utgangspunkt i beregninger fra en global klimamodell og beregner regionale utslag ved hjelp av en regional klimamodell med mer nøyaktig beskrivelse av prosessene i det aktuelle området; se Benestad i *Cicerone* 3-2001). Dette scenariet anslår endringer i 20-års værstatistikk over en periode på 50 år. 20 år er ikke nok til å si noe om



Figur 2. Klimavariasjonene er sterkt regionale: Denne analysen av gjennomsnittlig temperatur i lufta like over bakken for perioden oktober-desember 2002 (vist som avviket i grader Celsius fra normalperioden 1961-1990) viser at i Norden og det nordlige Eurasia var det betydelig kaldere enn normalt. Dette var ikke representativt for den nordlige halvkule. Spesielt kan man merke seg at store deler av Arktis var betydelig varmere enn normalt. Globalt var 2002 det nest varmeste året siden målingene med termometer startet, kun forbigått av 1998 da vi hadde El Niño.

ekstrem sesongnedbør. Da trengs flere nedskaleringer av globale beregninger, og dette blir viktig i RegClims nye fase.

Naturlige regionale variasjoner

En annen grunn for å øke bredden i datagrunnlaget er å sikre at mest mulig av de naturlige regionale variasjonene er omfattet. Vår regions klima påvirkes sterkt av regionale strømningsmønstre i atmosfæren, som på en tidsskala fra år til tiår påvirkes betydelig av forholdene i havet. Norges topografi og nærhet til Nord-Atlanteren og Arktis gjør at landsdelenes klima er spesielt følsomme for

hvilke regionale strømningsmønstre som er framherskende.

Værsituasjonen her til lands siste høst og vinter er et eksempel på at det er betydelig større regionale enn globale klimavariasjoner (figur 2). Vi har hatt en "god gammeldags vinter", kanskje med unntak av kystområder på Vestlandet og nordover der det har vært mildere. Dette kalde været er ikke globalt representativt.

Menneskeskapte endringer av drivhuseffekten vil neppe gi oss totalt nye strømningsmønstre, men snarere at noen av strømningsstypene vil opptre

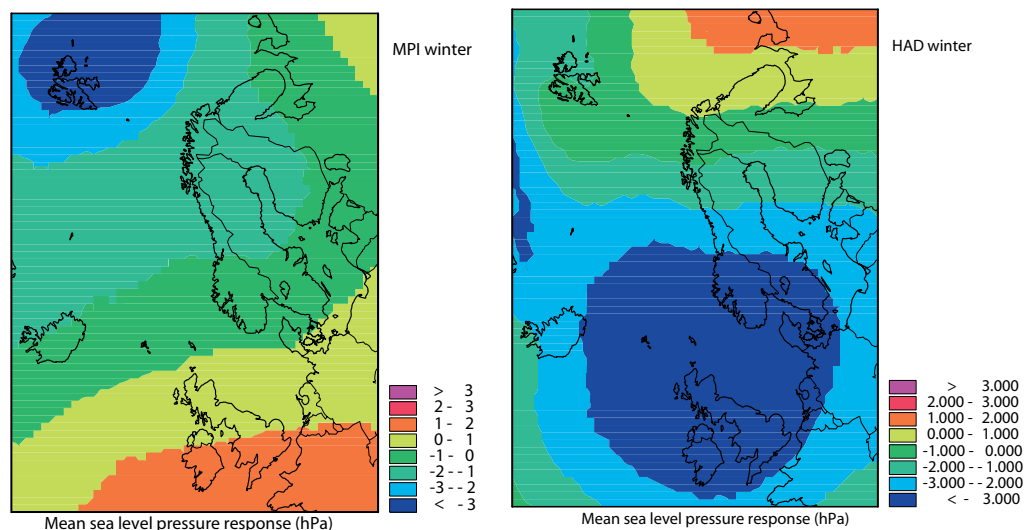
oftere og andre sjeldnere. For Norge kan dette bety sterke kontraster mellom landsdelenes klimaforandringer. Tatt i betraktning at det er betydelige naturlige variasjoner i regionale strømningsmønstre over perioder på 10 år og lenger, kan vi ikke forvente at 20-års-statistikken i RegClims dynamisk nedskalerte MPI-scenario dekker opp hele variasjonsbredden i landsdelenes klima.

Ser vi for eksempel på et annet globalt klimascenario fra Hadley-senteret, viser dette en mulighet for et annet fremherskende strømningsmønster enn det MPI-scenariet ga (figur 3). Dette betyr ikke at det ene scenariet nødvendigvis er riktigere enn det andre, men at kun ett scenario alene gir et fullstendig bilde.

Planlagte beregninger

RegClim bruker også empiriske metoder for nedskalering som et alternativ. Empirisk nedskalering tar utgangspunkt

Figur 3. Ulike klimamodeller beregner forskjellige endringer i regionale mønstre for luftstrømmene som følge av menneskeskapt økning av drivhuseffekten. Forskjellene kan skyldes tilfeldige "kaotiske" variasjoner og at prosesser beregnes ulikt uten at det automatisk kan antas at en modell er bedre enn andre. Her vises en beregnet endring i vinterens gjennomsnittlig bakketrykk over en 50-års periode til venstre (fra Max-Planck-instituttet) og over en 100-års periode til høyre (fra Hadley-senteret). Situasjonen til venstre er symptomatisk for de milde vintrene de siste 10-15 år, mens den til høyre likner på forholdene høsten 2000. (Laget av Jan Erik Haugen, met.no).



i statistiske sammenhenger mellom storstilte klimamønstre og regionalt/lokalt vær. Slik nedskalering av et større sett av globale scenarier har understreket nødvendigheten av å inkludere et bredt utvalg (ensemble) av klimascenarier for å dekke bredden i de naturlige regionale klimavariasjonene. Både dynamiske og empiriske metoder skal brukes og kombineres i den nye fasen av RegClim. Usikkerheten i vår kunnskap vil tallfestes ved å nedskalere beregninger fra ulike globale modeller.

Ensemblet av nedskalerte scenarier skal kompletteres ytterligere med globale studier der 1) havstrømmene i Nord-Atlanteren og 2) aerosolpartiklers påvirkning settes i fokus. På disse områdene har RegClim spesiell

kompetanse, og det kan forventes at RegClims resultater vil være bedre på disse feltene enn de fleste andres. Ved også å nedskalere disse vil vår viten om klimaendringer i vår region bli vesentlig styrket.

Nyutvikling

Helt nytt i RegClim vil bli nedskalering i de øverste vannlagene i våre nære havområder. Dette har som mål å forberede for virkningsstudier for livet i havet, og inkluderer mulige endringer i forholdene for våre fiskerier. Mye av de samme typer nedskaleringer som planlegges i atmosfæren vil også bli gjort for disse havområdene.

RegClim har begynt å utvikle en regional klimamodell som kobler

atmosfæren, havis og de øverste lagene i havet. Formålet er å bedre de globale scenariene med særlig vekt på Arktis. Klimaendringer i og nær Arktis er nært knyttet til endringer i isdekket. I de aller fleste globale klimamodeller er havis modellert med store feil. Dette skyldes ikke nødvendigvis modellering av is i seg selv, men hvordan de koplede modellene oppfører seg som en enhet. Dårlig romlig oppløsning, særlig i havet, er trolig en medvirkende årsak, som en koplet regional klimamodell kan forbedre.

Trond Iversen

er professor i meteorologi ved Institutt for Geofysikk, UiO og prosjektleder for RegClim (trond.iversen@geofysikk.uio.no).

Risiko for bråe klimaendringer

Kan en global oppvarming destabilisere klimasystemet på en lignende måte som ved slutten av siste istid? Bråe klimaendringer er antakelig mulige i årene som kommer, men utslagene kan neppe bli så store som den gangen.

Sigbjørn Grønås,
RegClim

Klimaet under siste istid var ustabil og gjennomgikk store variasjoner, kalt *Dansgaard-Oeschgersvingninger* (DO-svingninger), med perioder på ca 1000 – 1500 år (se artikkel av Grønås og Nesje i *Cicerone* 2/2001). Mesteparten av variasjonene skjedde som plutselige klimaendringer (8 til 16 °C på Grønland) over kanskje bare et tiår eller to. Til sammenligning har klimaet i vår mellomistid *holosen* (siste 10 000 år) vært mye mer stabilt, men med mindre klimavariasjoner som f.eks. *den lille istid* (ca 1400 – 1850 AD) og ørkendannelsen i Sahara (ca 5000 år siden). Forholdene er illustrert i figur 1 (og figur 1 side 26), som blant annet viser temperaturvariasjoner basert på oksygenisotoper i iskjerner

fra Grønlands innlandsis. Vi merker oss spesielt den siste DO-svingningen under *ynge dryas*, ved utgangen av istiden.

Klimamekanismer

I våre dager er som kjent en menneskeskapt global oppvarming på gang, forårsaket av økt drivhuseffekt. Betydelige klimaendringer er ventet for kommende hundre år med store mulige konsekvenser for natur og samfunnsliv. Et stort spørsmål er om den globale oppvarmingen kan gjøre klimaet mer ustabil med raskere endringer enn vi har hatt i holosen inntil nå. I så fall har vi mye større grunn til bekymring for framtidens klima enn med en stabil og jevn endring.

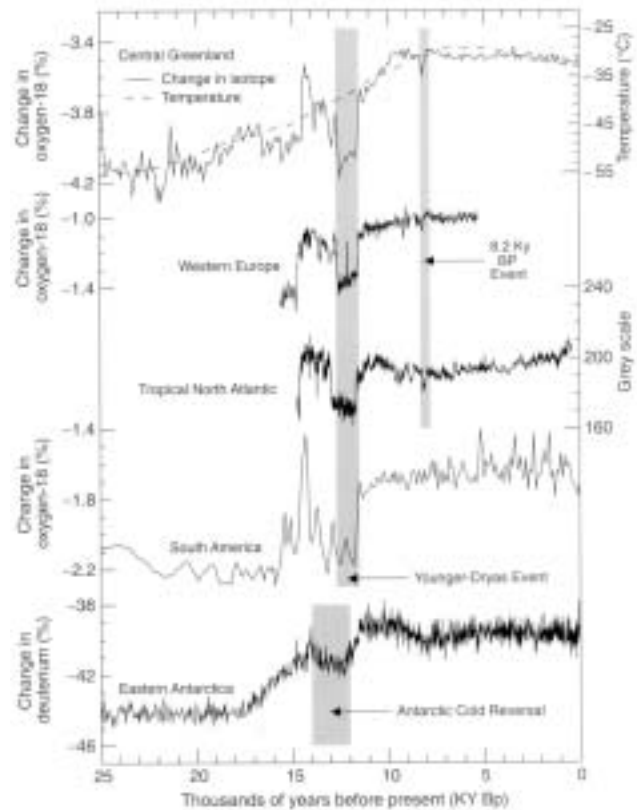
En tenker seg at bråe klimaendringer skjer når klimasystemet tvinges til å overstige visse terskler. Utløsningen skjer gjerne ved en ytre påvirkning av klimasystemet, slik som endring i solak-

tiviteten eller økt drivhuseffekt. Overstigning av en terskel starter en overgang til en ny klimatilstand med en hastighet bestemt av klimasystemets indre prosesser. Overgangen skjer hurtigere enn endringene i de ytre pådriv som forårsaket utløsningen. Selv et svakt pådriv over lang tid forårsaket av endringer i jordas baneparametre (se artikkel i *Cicerone* 2/2003 av Mangerud), kan for eksempel utløse bråe endringer. Når terskler overskrides og endringer settes i gang, settes mekanismer i gang som kan forsterke disse endringene. Et eksempel er klimaendringen i Sahara, som hadde sin årsak i at solstrålingen om sommeren langsomt ble svakere, noe som svekket den afrikanske monsunen. Tørken førte til at vegetasjonen døde. Det førte til redusert fordampning - noe som igjen forsterket tørken. Andre klimaprosesser bidrar til å spre endringene globalt. Forutsigbarheten for endringer når kli-



Foto: NOAA

Issmelting som følge av global oppvarming vil trolig skje mer jevnt over tid i forhold til tidligere perioder. Bildet er av ishylla Ross i Antarktis.



Figur 1. Klimavariasjoer fra siste istid gjennom holosen. De ulike skalene antas å variere i takt med lokal temperatur. De grå områdene viser hendelsen for 8200 år siden, yngre dryas og perioden kalt *Antarctic Cold Reversal*. Figur 2.24 i IPCC (2001).

masystemet nærmer seg terskler, er langt mindre enn for jevnere klimaendringer.

Bråe klimaendringer ved utgangen av istiden

De bråe klimaendringene ved utgangen av istiden hadde en slik langsom utløser, nemlig en forsterkning av solstrålingen om sommeren ved polene. De store ismassene begynte å smelte. Havsirkulasjonen ble radikalt endret på kort tid når pulser med smeltevann til havet overskred visse terskler; store og bråe klimaendringer fant sted.

Med havsirkulasjonen mener vi *den termohaline sirkulasjon*, som har sin viktigste utbredelse i Atlanterhavet. I dagligtale blir den noe feilaktig referert til som "Golfstrømmen". Sirkulasjonen har to stabile tilstander, den vi har i dag, med en kraftig sirkulasjon som fører store varmemengder mot polene i overflaten, og en tilstand uten en slik sirkulasjon, som medfører betydelig kaldere klima på våre bredder (se artikkel av Hjøllø i *Cicerone* 2/2002 og artikkel side 26). Store pulser med ferskvann kan gi en overgang mellom de to stabile fasene og

således store klimaendringer på kort tid.

Smeltevannet dannet ofte store innsjøer, gjerne demt opp av isen selv. Slike demninger kunne bryte, og de raskeste klimavariasjonene hadde trolig sammenheng med slike hendelser, da uvanlig store vannmasser ble tilført havet over kortere perioder. En kjent slik hendelse under yngre dryas var *Smeltevannspuls 1A*, som for ca 14600 år siden fikk havet til å stige 20 m på mindre enn 500 år (40 mm per år, se artikkel side 26). Mens en tidligere har knyttet pulsen til Nord-Amerika, mener en nå at den kan ha vært knyttet til Antarktis. En brå endring med mye varmere klima (se figur 1) fant sted på våre breddegrader da pulsen førte til en igangsetting av den termohaline sirkulasjonen til dagens tilstand. En mye kortere hendelse skjedde i holosen for ca 8200 år siden, da en mener at svære oppdemte innsjøer over Nord-Amerika, som var rester av vann fra istiden demt opp av isen selv, på kort tid - kanskje et år - rant ut i Labradorhavet (se artikkel av Grønås og Nesje i *Cicerone* 1/2000). Klimaet ble kaldere over store deler av kloden for en

periode på ca 200 år, men utslagene var ikke så store som under yngre dryas. Modellberegninger tyder på at klimaendringen skyldtest en svekkelse av den termohaline sirkulasjonen, men uten at sirkulasjonen opphørte.

Ferskvann til havet under global oppvarming

Pådrivet fra økt drivhuseffekt skapt av mennesker er mye større og bygger seg opp mye raskere enn de langsomme pådrivene skapt av endringer i jordas bane rundt sola. Mulige endringer av dagens klimastabilitet kan være knyttet til flere klimaprosesser, hvor trolig ikke alle er identifiserte. Mye av forskningen til nå har vært knyttet til om den termohaline sirkulasjonen kan endres radikalt, slik som under istiden.

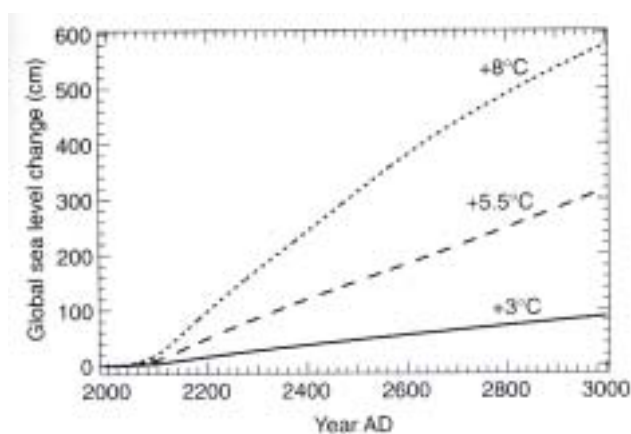
Det fins fortsatt is som kan smelte og renne ut i havet. For eksempel inneholder Grønlandsisen vann tilsvarende 6 meters økning i havnivået. I Antarktis er potensialet langt større, men en mener at bare mindre deler kan smelte som følge av global oppvarming. Til sammen fins det kanskje vann tilsvarende 10 m

i havet som kan smelte innen de første tusenårene. Smelting i dag vil trolig skje mer jevnt over tid og uten lignende pulser som under yngre dryas. En eventuell tidsskala for smeltingen er minst 2 000 år (figur 2 fra IPCC-rapporten *Climate Change 2001 - The scientific basis*, www.ipcc.ch, kapittel 11). Dette utgjør en heving av havnivået på mindre enn 3 mm per år. Under yngre dryas skjedde det ingen dramatiske klimaendringer ved så små endringer i mengden smeltevann. Smelting av is i dagens klima kan etter alt å dømme ikke endre havsirkulasjonen radikalt. Klimasystemets tilstand i dag er således langt fra den en hadde under yngre dryas. Derfor kan en ikke trekke analogier fra den gang for å vurdere stabiliteten i dagens klimasystem. I Norge har professor emeritus Kåre Pedersen, ved Institutt for Geofysikk, UiO, lenge hevdet dette.

Det er mer nærliggende å undersøke om økt nedbør og fordampning kan gi økt tilførsel av vann til havet. Klimamodellene viser en økning i global nedbør med ca 25 mm per år ved en dobling av CO₂-innholdet i atmosfæren (IPCC 2001). Dette er en del, men balanseres av økt fordampning. Globalt vil det derfor ikke bli tilført havet mer enn det lille som smelter. Men endringene i nedbør og fordampning vil variere mye regionalt, for eksempel ventes nedbøren å øke mest i tropene og på høye breddegrader. Dette kan føre til økt avrenning til havet i visse regioner. For eksempel vil mer nedbør over Sibir føre mer vann til havet i Arktis. Det er også ført argumenter for at havet i tropene kan bli mer salt på tross av økningen av nedbøren. Siden det gjerne er endringer i tetthet mellom pol og ekvator som teller for sirkulasjonen, anser en det som mulig at den termohaline sirkulasjonen kan svekkes. Noen resultater med enkle klimamodeller antyder at den termohaline sirkulasjonen kan bli mer ustabil, men uten at den blir slått av. I så fall kan vi få bråe klimaendringer, men uten de store utslag som under siste istid.

Havsirkulasjonen trolig stabil

Det er altså lite som tyder på at "Golfstrømmen" vil gjennomgå så store variasjoner at den kan nå sitt andre stabile leie, med liten transport av varme mot nord. Hvordan stemmer dette med den reduserte havsirkulasjonen som klimamodellene viser under global oppvarming, og reduksjonen en mener har funnet sted i Nord-Atlanteren gjennom de siste 50 år? Modellene gir ulike svar, de fleste viser en reduksjon på ca 25 % fram mot år 2100 (IPCC 2001). Målinger fra Norskehavet på værskipet Mike antyder en reduksjon



Figur 2. Beregnet smelting av Grønlandsisen – uttrykt ved endring i havets nivå – for neste 1000 år for tre ulike oppvarmings-scenarier. Tallene som markerer hver av de tre kurvene er oppvarming (årlig middeltemperatur) ved år 3000. De tre scenariene er beregnet i enkle kopled klimamodeller hvor drivhusgassene holdes konstant fra år 2130. Figur 11.16 i IPCC 2001.

på 20 % over de siste 50 år (Hanssen, Turrell & Østerhus i *Nature*, 411, 21. juni 2001). Det er vanskelig å vite om de observerte variasjonene representerer naturlige variasjoner eller om de er et resultat av global oppvarming. Videre er det vanskelig å vite hvor representative de er for den termohaline sirkulasjonen. Modellresultatene er også vanskelige å vurdere, fordi de enda ikke har god oppløsning av havet og dets prosesser. Bergen Climate Model har en relativt velutviklet havmodul. Et nytt ensemble av kjøring med denne modellen til en dobling av CO₂, gjennomført innenfor RegClim-prosjektet, viser i motsetning til de fleste modellene bare små endringer i havsirkulasjonen (ennå upubliserte resultater).

Resultatene fra Bergen styrker RegClims konklusjoner slik de er uttrykt i vår siste brosjyre (www.regclim.met.no), om at havsirkulasjonen ikke påvirkes så mye under global oppvarming, og at drivhusoppvarming vil oppveie effekten av en eventuell reduksjon av THC i våre områder. Selv om vi utelukker slike voldsomme utslag en hadde under yngre dryas, kan vi likevel ikke utelukke mindre, men alvorlige nok endringer knyttet til den termohaline sirkulasjonen og vekselvirkning mellom atmosfære og hav, f.eks gjennom El Niño/Den sørlige svingning eller dannelsen av store avvik i havets saltinnhold mellom Island og sørspissen av Grønland (se artikkel av Grønås og Hjøllø i *Cicerone* 4/2002). I tillegg fins det andre mekanismer som kan gi lignende bråe endringer. Enhver slik klimaendring i framtiden kan få store og uforutsette virkninger.

Bedre modeller nødvendig

Beregninger av klimascenarier for de neste hundre år med kompliserte klimamodeller indikerer en global oppvarming med mange alvorlige regionale endringer, men uten at klimasystemets stabilitet synes å bli endret radikalt. Dette kan virke beroligende, men en må huske at modellene ennå har betydelige svakheter. For eksempel har de som regel kunstige korreksjoner for å balansere vekselvirkning mellom hav og atmosfære, korreksjoner som stabiliserer klimavariasjonene.

Det er viktig å intensivere forskningen knyttet til klimasystemets stabilitet og bråe klimaendringer. Trolig er det bare forskning med kompliserte klimamodeller som kan gi oss de svarene vi trenger. Den viktigste delen av denne forskningen vil bestå i å forbedre klimamodellene slik at de får fram bråe endringer med større nøyaktighet. Da kan modellene i større grad brukes for å anslå risiko for bråe framtidige endringer både regionalt og globalt. Det er mange forskere som eksperimenterer med dagens klimamodeller og som skaffer indirekte målinger om fortidens bråe klimavariasjoner, men alt for få tar på seg den møysommelige jobben med å forbedre modellene. Denne delen av forskningen bør få større prioritet.

Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor ved Geofysisk institutt, UiB, tilknyttet Bjerknessenteret for klimaforskning og med i ledergruppen for RegClim.

Bråe klimaendringer ved utgangen av istiden

Ved utgangen av siste istid skjedde det en brå oppvarming på våre breddegrader. Årsaken var store mengder smeltevann fra Antarktis som satte i gang de store havstrømmene i Atlanterhavet.

Sigbjørn Grønås,

RegClim

og Solfrid Sætre Hjøllo,

NOClim

Under siste istid var iskappene ved polene så store at havets nivå på det meste var 120 meter lavere enn i dag. Ved utgangen av istiden, for omkring 19 000 år siden ved inngangen til perioden *eldre dryas*, startet en storstilt smelting av isen, trolig utløst av en langsom økning av solstrålingen ved polene om somrene fordi jordas bane endret seg (se artikkel av Mangerud i *Cicerone* 2/2003). Til tider dannet det seg svære innsjøer med smeltevann, demt opp av

isen. Disse innsjøene kunne briste og gi relativt kortvarige pulser med ferskvann til havet. Slike vannmengder kunne påvirke havsirkulasjonen, den vi gjerne kaller *den termohaline sirkulasjon*, som er viktigst i Atlanterhavet og der overflatedelen i dagligtale noe upresist blir kalt "Golfstrømmen". Sirkulasjonen har to stabile tilstander: "på" slik som i dag da nordatlantisk dypvann (NADW) dannes og store varmemengder transporteres mot Arktis; eller "av", da dannelse av NADW og varmetransporten mot nord opphører (se artikkel av Hjøllo i *Cicerone* 2/2002). En har lenge ment at veksling fra "på" til "av" kan oppnås ved at store ferskvannspulser tilføres havet. Nyere forskning tyder på at slike pulser også kan sette i gang sirkulasjonen fra "av" til "på", men bare dersom pulsen er

knyttet til Antarktis (Weaver m fl 2003).

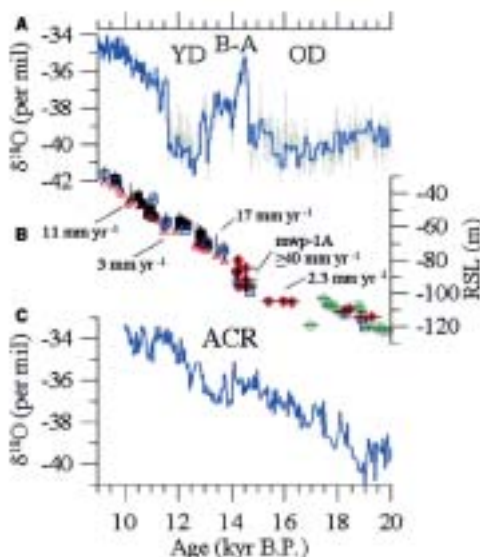
En stor puls med ferskvann

En markant puls med smeltevann ved utgangen av siste istid kalles *mwp-1A*. Den varte i litt mindre enn 500 år, og førte til at havets nivå steg med om lag 20 meter. Tidfestingen er alltid usikker når en går så langt tilbake i tid. Til nå har en ment at pulsen startet noen hundre år etter en markant varm periode, kalt *Bølling-Allerød*, som startet brått for omkring 14 600 år siden (figur 1). En har også ment at pulsen var knyttet til de store iskappene over i nord; Fennoskandia (Skandinavia/Finland/Kola) og Nord-Amerika (Laurentideiskappen). Det er antatt at når ferskere vann blir tilført Nord-Atlanteren, så svekker det den termohaline sirkulasjonen. Derfor har en til nå brukt pulsen til å forklare kaldere klima gjennom *yngre dryas* i tiden etter Bølling-Allerød (figur 1).

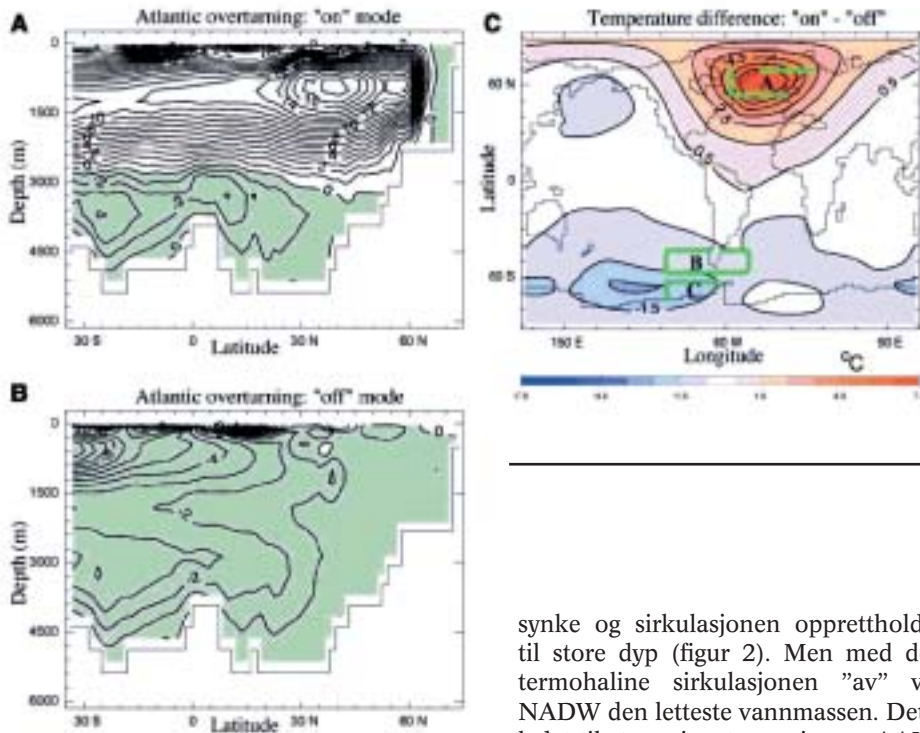
Nye paleoklimatologiske undersøkelser indikerer imidlertid at starten av *mwp-1A* kom tidligere, det vil si omtrent samtidig eller litt før oppvarmingen i Bølling-Allerød. Videre fins det indikasjon på at pulsen først og fremst kom fra Antarktis og ikke så mye fra iskappene i nord.

Eksperiment med klimamodell

Dette ledet Weaver m fl til å gjøre omfattende eksperimenter med en klimamodell som omfatter både atmosfæren og verdenshavene, for å studere klimaendringer som følge av en puls lik *mwp-1A* fra Antarktis. Først gjorde de eksperimenter som viste at modellen får fram de to stabile tilstandene, og de demonstrerte at det kreves store endringer i tilførselen av ferskvann



Figur 1. Klimaendringer (endring i mengden av oksygenisotopen O-18, som er proporsjonal med temperatur) og endringer i havnivået gjennom perioden eldre dryas. A. Endring i oksygen-18 fra iskjerner fra Grønlandsisen. OD: eldre dryas, B-A: Bølling-Allerød, YD: yngre dryas. B. Havets relative nivå i meter. Tallene gir gjennomsnittlig årlig smelting for periodene: fra 19 til 14,6 tusen år siden, 14,6 til 14,1, 14,1 til 12,9, 12,9 til 11,6 og 11,6 til 6 tusen år. C. Endring i oksygen-18 fra iskjerner fra Antarktis. ACR: Antarctic Cold Reversal. Etter Weaver m fl (2003).



Figur 2. Sirkulasjonen i modellen til store dyp i Atlanterhavet målt i Sverdrup (SV: en million kubikkmeter per sekund). A. Tilstand med termohaline sirkulasjon "på". B. Sirkulasjonen i tilstand "av". C. Temperaturforskjell i lufta mellom de to tilstandene. På figuren er tre områder A, B og C merket, hvor smeltevann ble tilført i eksperimentene. Etter Weaver m fl (2003).

(eller eventuelt fordampning) for å få havsirkulasjonen ut av de stabile leiene. Den termohaline sirkulasjonen i de to tilstandene, og forskjellen mellom dem i lufttemperaturen ved overflaten er vist i figur 2. De store temperaturforskjellene kommer som ventet i våre områder, men vi merker oss også store utslag i sør med motsatt fortegn.

De identifiserte to hovedvannmasser på stor skala i tillegg til NADW som viktige for den termohaline sirkulasjonen: bunnvann i Antarktis (AABW) og antarktisk vann på midlere (intermediære) dyp (AAIW). Med den termohaline sirkulasjonen "på" fant de at tettheten til NADW lå mellom tetthetene for AABW og AAIW. Slik kan NADW

synke og sirkulasjonen opprettholdes til store dyp (figur 2). Men med den termohaline sirkulasjonen "av" var NADW den letteste vannmassen. Dette ledet til større innstrømming av AAIW til Atlanteren og en kompensierende utstrømning av salt vann i overflaten. Dette gav en ytterligere reduksjon i tettheten til NADW.

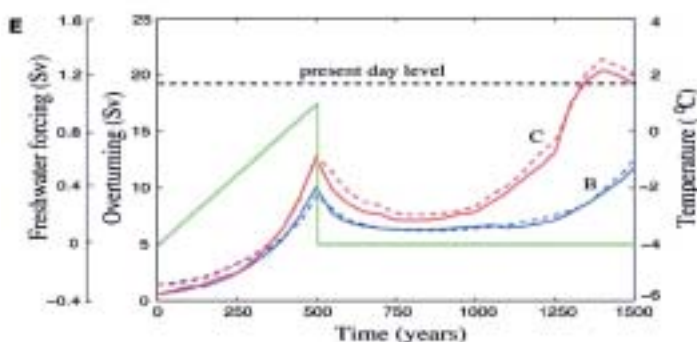
Fra "av" til "på"

I et eksperiment startet de med dagens stabile tilstand med den termohaline sirkulasjonen "på" som utgangspunkt. Ved å tilføre tilstrekkelig med ferskvann i Nord-Atlanteren oppnådde de en overgang til tilstanden "av", som trolig rådet før Bølling-Allerød satte inn. Så gjorde de et eksperiment hvor de tilførte en ferskvannspuls svarende til mwp-1A i Antarktis, i områder der AAIW ble dannet i modellen. De diskuterer to eksperiment hvor plasseringen av området for pulsen er litt ulik (se figur 2). Pulsen var lineær i 500 år, for så å bli slått av. Resultatet er vist i figur 3, som viser ferskvannspulsen, styrken på havsirkulasjonen

(overturning) og temperaturavvik i våre områder. Etter 500 år var den termohaline sirkulasjonen "på" i begge eksperimentene, men sterkere i det ene enn det andre. Temperaturen ble økt tilsvarende i nord og avtok omtrent like mye i sør (avkjølingen ikke vist i figur 3). Dette førte til at sirkulasjonen knyttet til AABW ble svekket. Når ferskvannspulsen ble borte, ble dannelsen av NADW først redusert, men uten å bli borte. Omtrent 500 år senere økte dannelsen av NADW og styrken på sirkulasjonen. I et av eksperimentene ble dagens styrke på den termohaline sirkulasjonen nådd (figur 3).

Forklaring på klimaendringer

Eksperimentene og data om økning i havets nivå fikk forfatterne til å gi følgende forklaring på klimaendringene ved utgangen av istiden: Isen startet å smelte i eldre dryas fra omkring 19 000 år siden, havet steg med ca 2,3 mm per år i flere tusen år og den termohaline sirkulasjonen var stabil i tilstanden "av". Med pulsen mwp-1A steg havet med 40 mm per år over 500 år. Dette medførte



Figur 3. Tidsforløpet for smeltevannspulsen (grønn kurve), maksimalstyrke på den termohaline sirkulasjonen (Sv, heltrukne kurver) og endring i lufttemperatur over havet i nord (stiplede kurver; 45 grader vest til 9 grader øst; 58,5 til 65,7 grader nord) for de to eksperimentene med ferskvannspuls ved Antarktis (røde kurver område C og blå kurver område B, se figur 2). Etter Weaver m fl (2003).

at AAIW ble lettere enn NADW, noe som satte den termohaline sirkulasjonen "på". Følgen ble den bråe oppvarmingen i nord i Bølling-Allerød og avkjølingen i Antarktis (Antarctic Reversal, ACR, se figur 1). Gjennom Bølling-Allerød steg havet med ca 17 mm per år, mindre enn under pulsen, men betydelig mer enn i eldre dryas. Det meste av vannet kom naturlig nok i nord, og en tror at svært mye av det kom gjennom St. Lawrence til Labradorhavet. Den termohaline sirkulasjonen ble svekket, men ikke så mye at den gikk over i stabil tilstand "av". Reduksjonen forklarer imidlertid kaldere klima i nord gjennom yngre dryas. Klimaendringen reduserte igjen tilførselen av smeltevann til havet, som nå var bare 3 mm per år. Smeltevann som tidligere gikk ut St. Lawrence, tok andre leier. Den termohaline sirkulasjonen økte, og det ble ganske brått varmere igjen for omkring 11 600 år siden. Denne siste oppvarmingen markerte slutten på yngre dryas. Havnivået steg med om lag 11 mm per år gjennom resten av istiden, men uten at dette fikk større virkning på den termohaline sirkulasjonen. Klimaet stabiliserte seg.

Vil skape debatt

Arbeidet til Weaver m fl vil nok skape debatt. For det første er ikke alle paleoklimatologer enige i tidfestingen av pulsen mwp-1A. Oseanografer kan ha vansker med deres forklaringer på den termohaline sirkulasjonen og at de utfordrer det tradisjonelle synet på Nord-Atlanteren som den mest følsomme arena for klimapåvirkninger. Siste ord om det ustabile klimaet ved utgangen av istiden er ikke sagt.

Referanse

• A.J. Weaver, O.A. Saenko, P.U. Clark, J.X. Mitrovica. *Science*, 14. mars 2003.

Sigbjørn Grønås

(sigbjorn@gfi.uib.no) er professor ved Geofysisk institutt, UiB, tilknyttet Bjerknes-senteret for klimaforskning og med i ledergruppen for RegClim.

Solfrid Sætre Hjøllo

er forsker ved Bjerknes senter for klimaforskning i Bergen og fagsekretær i NOClim (Solfrid.Hjollo@gfi.uib.no).

Bruk av pollen til å rekonstruere fortidens klima

Alle planter er avhengige av klimaet rundt seg. Når klimaet endres vil også vegetasjonen forandre seg. Rester etter planter som har vokst i et område kan finnes igjen i innsjøsedimenter og dermed fortelle oss hvordan vegetasjon og klima har endret seg siden siste istid.

Anne E. Bjune, Sylvia M. Peglar
og John Birks,

NORPAST

Hvert år spres utallige pollenkorn, eller blomsterstøv, ut i lufta fra urter, busker og trær i våre omgivelser, til plage for noen og til nytte for andre. De ulike plantartene har pollenkorn med forskjellig utseende og disse gjenkjennes i mikroskop, noen til en bestemt art, andre til en gruppe av arter. Det betyr at pollenet som spres kan gi oss et bilde av den floraen og vegetasjonen som finnes på et sted til en bestemt tid. Siden sammensetningen av plantene er bestemt av økologiske og klimatiske forhold, gir pollenet også et bilde av disse forholdene. Pollen fra en hannplante som mislykkes i sin ferd mot å pollinere en hunnplante kan bli en del av avsetninger i vann og i myrer - der pollenet bevares godt i det oksygenfrie miljøet. Det er grunnlaget for de historiske analysene av vegetasjon og klima gjennom pollenanalyse.

Forhold mellom pollen og klima

Ved at de ulike plantenes økologiske og miljømessige toleranse og artenes optimale levekår i dag er kjent, kan man rekonstruere fortidens miljø og klima ved å studere polleninnholdet i avsetninger. Ut fra den statistiske sammenhengen mellom dagens vegetasjon, og dermed dagens pollenproduksjon, og dagens klimaforhold, beregner vi hvilke klimaforhold man kan vente der man finner en bestemt sammensetning av pollen. Vi antar at de ulike planteslagenes krav til klimaet på voksestedet har vært de samme tidligere som de

er i dag. Dermed kan vi beregne fortidens klima ved å undersøke pollensammensetningen. Denne metoden kan gi en kontinuerlig rekonstruksjon av fortidens klima på steder der man kjenner alderen på de ulike lagene i avsetningene ved hjelp av radiokarbondatering (C14), og har mange pollenprøver fra en sedimentkjerne eller en torvprofil.

Fordelen ved å bruke pollen til klimarekonstruksjoner, er at de finnes i store mengder og mange arter blir representert i sedimenter. Men polleninnholdet representerer ikke alltid hele vegetasjonen, og vi kan ikke alltid gå ut fra at dobbelt så mange pollenkorn for eksempel betyr dobbelt så mange individer av en art. Mengden av ulike typer av pollen i avsetningene avhenger nemlig av hvor store mengder pollen de ulike artene produserer, om de spres med vind, vann eller dyr, og også hvor gode oppbevaringsforholdene i avsetningen er. En annen viktig faktor er plantenes faktiske avstand gjennom tid til lokaliteten som undersøkes. Pollen som spres med vinden kan transporteres over store avstander. Eksempelvis er det funnet store mengder furupollen i moseprøver fra Svalbard, der avstanden til nærmeste furuskog er flere tusen kilometer. Pollen som spres med vann og dyr vil kun transporteres over korte avstander, og funn av disse artene i fossile prøver viser deres tilstedeværelse i den lokale floraen, mens vindspredt pollen gir et bilde av den regionale floraen.

Rekonstruksjon av klima

Sammenhengen mellom pollen og klima er beregnet ut fra overflateprøver fra innsjøsedimenter hentet i deler av Norge med ulikt klima. Datasettet omfatter

Bjørkepollen



Furupollen



Foto: Jan Berge.

Bilder av pollen fra bjørk (*Betula pubescens*) og furu (*Pinus sylvestris*) tatt med skanningelektronmikroskop.

både fuktige kystområder i vest og tørre områder i de øst, og både sørlige og nordlige deler av landet. Ved hjelp av en statistisk teknikk som kalles regresjonsanalyse har vi beregnet hvilke temperaturer og andre klimaforhold som gir størst mengder av hver pollentype – såkalte *optimalverdier*. Disse verdiene danner utgangspunkt for rekonstruksjonen av fortidens klima. Fossile pollenkorn finnes i de dypere lagene fra sedimentprøver eller torvprofiler. Etter preparering og identifikasjon av de fossile pollenkornene, gjøres rekonstruksjon av ulike *klimaparametre* som temperatur, vind eller nedbør i fortiden. Rekonstruksjonen bygger på de beregnede optimalverdiene.

Bjørnfjelltjørn – et eksempel

Fra innsjøen Bjørnfjelltjørn, som ligger like øst for Narvik, ca. 510 moh, har innholdet av pollen og andre planterester som frø, frukter og bladfragmenter (makrofossiler) blitt analysert fra en sedimentkjerne. Endringene i polleninnholdet viser hvordan vegetasjonen, og dermed også klimaet har endret seg gjennom tid, fra området ble isfritt etter siste istid og fram til i dag. Rett etter at isen forsvant var området dominert av en pionerflora med ulike vierarter, einer, lyng, reinrose og gress. Etter en tid utviklet både klima, vegetasjon og jordsmonn seg og gav muligheter for treslag som bjørk, furu og gråor til å etablere seg i området. I den siste tiden av holosen kommer også gran

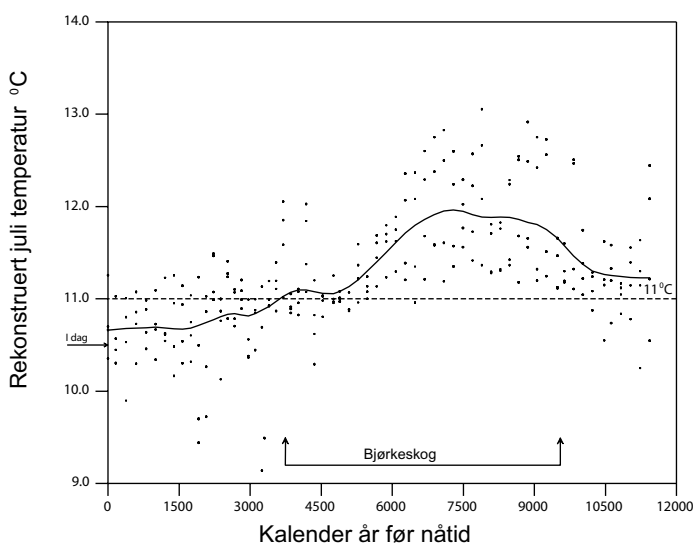
til området rundt Bjørnfjelltjørn. Figur 1 viser rekonstruksjonen av julitemperatur fra Bjørnfjelltjørn basert på polleninnholdet i innsjøsedimentene. Kurven viser en høyere tempertur enn dagens i den tidligste halvdel av holosen, med temperaturoptimum (~ 12°C) mellom 9500 og 5000 kalenderår før nåtid. Perioden fram til i dag karakteriseres av en synkende julitemperatur fram mot dagens temperatur. En måte å bekrefte rekonstruksjonen på, er å se på større planterester som finnes i sedimentene. Makrofossiler av for eksempel trebjørk (*Betula pubescens*) viser at trærne vokste helt lokalt, og at det i dette området må ha vært varmere enn 11°C i juli, som er den temperaturen trebjørk krever for å blomstre og sette frø. Den stiplede linjen på figur 1 viser 11°C og den heltrukne linjen nederst i figuren viser perioden der makrofossiler som frukter og rakeskjell fra trebjørk er funnet. Perioden der disse er funnet stemmer overens med perioden da det var varmere enn 11°C rundt Bjørnfjelltjørn i juli, og makrofossilene bekrefter dermed temperaturrekonstruksjonen som er gjort ut i fra polleninnholdet.

Bruk av pollen i klimastudier

Dette er en metode for å rekonstruere fortidens klima som har lang tradisjon i Skandinavia og går tilbake til Lennart von Posts foredrag i Oslo og Stockholm i 1916. Metoden ble senere utviklet av Knut Fægri og Johs. Iversen under arbeidet med *Textbook of Pollen Analysis*, en bok som har kommet i flere utgaver siden den første i 1950 og som står sentralt den dag i dag. I det siste har pollen vært benyttet i flere studier av fortidens klima (bl. a. Birks & Birks 2003, Bigler m.fl. 2002, Birks & Peglar, upublisert) gjennom rekonstruksjoner av gjennomsnittlig juli- og januartemperatur, og årlige nedbørmengder. Spesielt rekonstruksjonen av julitemperatur har vist gode resultater sammenlignet med andre typer data som fjærmygg, kiselalger og kjemiske isotoper. Rekonstruksjon av klima de siste 10 000 år ved bruk av pollen anvendes i de to prosjektene NORPEC (Norwegian Palaeoenvironments and Climate) og NORPAST (Past Climates of the Norwegian Region) finansiert av Norges Forskningsråd.

Referanser

- Birks, H.H. & Birks, H.J.B. 2003. Reconstructing Holocene climates from pollen and plant macrofossils. I: *Global Change in the Holocene: approaches to reconstructing fine-resolution climate change*. Red: Mackay, A., Battarbee,



Figur 1. Rekonstruert gjennomsnittlig julitemperatur gjennom holosen fra Bjørnfjelltjørn basert på pollen. Den stiplede horisontale linja angir 11 °C og den heltrukne linja nede på figuren viser tilstedeværelsen av makrofossiler av bjørk som bekrefter den rekonstruerte julitemperaturen.

R.W., Birks, H.J.B. & Oldfield, F. Arnold, London. I trykk.

• Bigler, C., Laroque, I., Peglar, S.M., Birks, H.J.B. & Hall, R.I. 2002. Quantitative multiproxy assessment of long-term patterns of Holocene environmental change from a small lake near Abisko, northern Sweden. *The Holocene*, 12: 481-496.

• Fægri, K. & Iversen, J. 1989: *Textbook of pollen analysis*. 4. rev. utgave, Fægri, K., Kaland, P. E. & Krzywinski, K. Chichester. John Wiley & Sons.

• von Post, L. 1916. Om skogstrådpollen i sydsvenska torfmossagerföljder. *Geologiska Föreningen i Stockholms förhandlingar*, 38: 384-390.

Linker:

NORPAST: <http://www.ngu.no/prosjekter/norpast/norsk/norpast.htm>

NORPEC: <http://www.uib.no/norpec/>

Anne E. Bjune

er stipendiat ved Botanisk institutt, UiB, og jobber i NORPEC-prosjektet med rekonstruksjon av klima og vegetasjon ved hjelp av pollen og plantemakrofossiler. (Anne.Bjune@bot.uib.no)

Sylvia Peglar

er forsker og har jobbet i NORPAST-prosjektet med analyser av pollen og plantemakrofossiler til rekonstruksjon av klima og vegetasjon.

John Birks

er professor ved Botanisk institutt, UiB, og jobber blant annet med statistisk modellering av stratigrafiske data fra innsjøsedimenter. (John.Birks@bot.uib.no)

Polare klimaprosesser under lupen

Det nye forskningsprosjektet Polar Ocean Climate Processes (ProClim) skal studere hvordan klimaet i de sårbare polarområdene kan endre seg.

Solfrid Sætre Hjøllo,

NOClim

Globale klimamodeller indikerer sterkest oppvarming over høye nordlige områder. Resultatet kan bli smelting av is i Arktis og endringer i strømningsmønstre i hav og atmosfære. Dette kan få store konsekvenser for sårbare arktiske økosystemer, men også for det globale klimaet på grunn av den store betydningen av den marine storskala-sirkulasjonen. Variabilitet i storstilt havklima avhenger av hvordan egenskaper som varme, salt, næringssalter, sporstoffer og bevegelsesmengde transporteres gjennom området. Denne transporten kontrolleres av prosesser på mange forskjellige skalaer. En del av disse prosessene skal undersøkes i det nye forskningsprosjektet Polar Ocean Climate Processes (ProClim).

ProClim er finansiert av Norges Forskningsråds program for Polar klimaforskning. Prosjektet er allerede startet opp. ProClim skal studere klimaprosesser i polare randhav for å forbedre vår forståelse av fremtidig regionalt og globalt klima og dets forutsigbarhet. Prosjektet vil gå over fire år, og har en budsjetttramme på 26 millioner kroner. Rundt 18 forskere og stipendiater vil bidra til ProClim, og prosjektet vil bli ledet av professor Peter M. Haugan ved Bjerkesenteret /Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen. Deltagende institusjoner er Havforskningsinstituttet, Nansensenteret, Norsk Polarinstitutt, Universitet i Bergen, Bjerkesenteret og Universitetsstudiene på Svalbard.

Det geografiske området som blir studert i ProClim er det vestlige Barentshavet, Grønlandshavet og Svalbardområdet, som vist i figur 1. Området kan deles inn i tre hovedområder på bakgrunn av de ulike aktuelle klimaprosessene: kontinentalsokkelen, kontinentalskråningen og dyphavet. Denne delingen er også reflektert i inndelingen av



ProClim i fire oppgaver: de tre første tar for seg prosesser i henholdsvis dyphav, sokler, og skråning, mens den fjerde vil benytte storskala-modeller og observasjoner for å kvantifisere variabiliteten og vekselvirkningen mellom prosesser. De tre første oppgavene vil gi økt forståelse av de regionale komponentene av global termohalin havsirkulasjon, som er spesielt viktig for oseaanisk varmetransport og isutbredelse i de nordlige hav. Et stort og omfattende arbeid blir for eksempel å identifisere faktorer som er viktige for den storskala nedsynkningen som skjer i Grønlandshavet. På kontinentalsokkene dannes svært salte og tunge vannmasser når is fryser, særlig i åpne råker (polynya) og langs iskanten. Det er et mål å utvikle høyoppløselige atmosfære-, is- og havmodellverktøy som kan beskrive denne prosessen. Forbindelsen mellom sokkel og dyphav er kontinentalskråningen. Målinger av kald utstrømming fra sokkene samt blanding med omkringliggende vannmasser vil bli observert og modellert. ProClim vil knyttes nært opp til KlimaProg-prosjektet NOClim.

Prosjektmedarbeiderne i ProClim vil benytte fasiliteter og kunnskap om kystområdene ved Svalbard, Grønlandshavet og Barentshavets. Kombinert med felt-, teoretisk- og modelleringseksperter samt et godt internasjonalt nettverk, vil viktige klimaprosesser settes under lupen i de neste fire årene.

Mer informasjon finnes på

www.gfi.uib/ProClim og
www.noclim.org.

Atlanterhavet er et gigantisk varmelager

Nyere forskning viser at Atlanterhavet fungerer som et gigantisk varmelager som varmer opp luftmasser på vei mot nordlige deler av Europa.

**Solfrid Sætre Hjøllo og
Peter M Haugan,**
NOClim

Barnelærdommen forteller oss at det behagelige milde klimaet vi har på Norges høye breddegrader skyldes varmen fra Golfstrømmen. Nyere forskning (Seager med flere, 2002) viser at det åpne havet primært fungerer som et gigantisk varmelager. Luftmasser varmes opp flere grader på vei over Atlanteren, og med luftstrømmer transporteres varmen fra Atlanterhavet og mot nordlige deler av Europa. Dette er hovedårsaken til at man har et behagelig, mildt maritimt klima nedvinds av Atlanterhavet, og et kaldere innlandsklima langs kyster med dominerende fralandsvind. Den atlantiske varmetransporten med havstrømmer har likevel stor betydning. Den bidrar til å gjøre det varmere i Nord-Europa enn på samme breddegrader langs den østlige Stillehavskysten (Alaska). Videre er den oseaniske varmetransport inn til de Nordiske Hav avgjørende for isutbredelsen og har derfor stor både regional og global effekt.

Forskningsprosjektet Norwegian Ocean and Climate Project, phase II (NOClimII) utforsker prosesser som er direkte forbundet med varmetransporten i Atlanterhavet og de Nordiske hav. Særlig vil prosesser man antar er forbundet med raske klimaendringer bli studert. De atmosfæriske prosessene i varmetransporten er godt undersøkt og relativt godt kjent, mens dynamikken i havets sirkulasjon er langt fra godt forstått. Raske klimaendringer skyldes hovedsakelig oseaniske prosesser, og i en særstilling her

står den storstilte nedsynkingen av tunge vannmasser i nordlige Atlanterhavet, den såkalte Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). Delmålsetninger i prosjektet er i) å kaste lys over hvor stabilt AMOC er overfor menneskeskapt drivhusoppvarming, ii) å undersøke om tidligere raske klimaendringer var forbundet med endringer i storstilt nedsynkingssrate i De Nordiske hav, og til slutt, iii) ved hjelp av observasjoner, modeller og prosessforståelse, å undersøke om fremtidige raske klimaendringer er sannsynlige eller allerede finner sted.

NOClimII-prosjektet startet opp 1.januar 2003, og er en videreføring av NOClimI-prosjektet som pågikk i 2000-2002. NOClim II tar sikte på å bli en rådgivende informasjonskilde for Forskningsrådet og offentligheten i det vanskelige temaet: mulige raske klimaendringer forbundet med havsirkulasjon.

Referanse:

• Seager med flere 2002. Is the Gulf Stream responsible for Europe's mild winters? *Q. J. R. Meteorolo. Soc.* 129.

Mer informasjon på

www.noclim.no

Solfrid Sætre Hjøllo

er forsker ved Bjerknes senter for klimaforskning i Bergen og fagsekretær i NOClim (Solfrid.Hjollo@gfi.uib.no).

Peter M. Haugan

er professor i oseanografi ved Geofysisk institutt, nestleder i Bjerknessenteret og leder av NOClim (peter.haugan@gfi.uib.no).

KlimaProg-Forskningsprogram om klima og klimaendringer (2002-2011) dekker blant annet de store, koordinerte forskningsprosjektene AerOzClim, NOClim, NORPAST og RegClim.

RegClim

RegClim (Regionale klimaendringer under global oppvarming) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt for beregning av klimautvikling i Norges region. Seks forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Trond Iversen, trond.iversen@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: www.nilu.no/regclim

NORPAST

NORPAST (Past Climates of the Norwegian region) er eit prosjekt som skal koordinere forskinga om fortidas klima i Norge. Ti forskningsinstitusjonar deltar.

Kontakt: Morten Hald, mortenh@ibg.uit.no

Hjemmeside: www.ngu.no/prosjekter/Norpast/norsk/norpast.htm

NOClim

NOClim (Norwegian Ocean Climate Project) er et nasjonalt koordinert forskningsprosjekt om nordlige havområder og klima. Åtte forskningsinstitusjoner deltar.

Kontakt: Peter M. Haugan, peter.haugan@gfi.uib.no

Hjemmeside: www.noclim.org

AerOzClim

AerOzClim (Aerosols, Ozone and Climate) er et nasjonalt koordinert samarbeidsprosjekt mellom UiO og NILU som fokuserer på betydningen av aerosoler og ozon for klimaendringer.

Kontakt: Ivar S.A. Isaksen, ivaris@geofysikk.uio.no

Hjemmeside: www.geofysikk.uio.no/AEROZCLIM/



Redaksjon:

- Sigbjørn Grønås (red.), RegClim (sigbjorn@gfi.uib.no)
- Michael Gauss, AerOzClim (michael.gauss@geofysikk.uio.no)
- Peter M. Haugan, NOClim (peter.haugan@gfi.uib.no)
- Øyvind Nordli, NORPAST (oyvind.nordli@met.no)

Hjemmeside: program.forskningsradet.no/klimaprogram/

Kontakt: Programkoordinator Fridtjof Mehlum
Postboks 2700 St. Hanshaugen, 0131 OSLO

Telefon: 22 03 74 15 Faks: 22 03 72 78

E-post: Fridtjof.Mehlum@forskningsradet.no

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

Redaksjon:

Andreas Tjernshaugen (Ansv. red.)

Pål Prestrud

Petter Haugneland

Steffen Kallbekken

Redaksjonen avsluttet

22. mai 2003

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

Arkiv:

www.cicero.uio.no/cicerone

Formgivning:

Tone Veiby

Trykk:

GAN Grafisk

Opplag: 3450

Forskningsprogrammet KlimaProg
og teknologiprogrammet
KLIMATEK disponerer egne
sider i *Cicerone* etter avtale med
CICERO Senter for klimaforskning.
Redaktør for KlimaProg-sidene
er professor Sigbjørn Grønås.
Redaktør for KLIMATEKs sider er
programkoordinator Hans-Roar
Sørheim.

ISSN 0804-0508

Bladet er trykt på G-Print 115 gram
miljøvennlig papir

Nytt fra CICERO

Tilsetting

Gunnar Eskeland (43) er tilsatt som forskningsleder ved CICERO Senter for klimaforskning fra 5. juli 2003. Eskeland tar over etter Hege Westskog som har hatt stillingen fra februar 2002.

Klimakalender

29. september - 3. oktober 2003, Moskva, Russland

The third world conference on climate change,
<http://www.meteo.ru/wccc2003/econc.htm>

1. - 12. desember 2003, Milano, Italia

Den niende partskonferansen til
Klimakonvensjonen (COP-9),
<http://unfccc.int/>

Nytt på nett

Foreslår fire alternativer til Kyoto

Kyotoprotokollen er et blindspor som ikke vil bidra nevneverdig til å redusere utslippene av klimagasser – men USA's alternative politikk er minst like feilslått. Det hevder den amerikanske økonomen Scott Barrett. I en rapport foreslår han ikke mindre enn fire nye internasjonale avtaler for å takle klimaproblemet blant annet gjennom utvikling av ny teknologi.

<http://www.cicero.uio.no/div/barrett.html>

Fjerde varmeste april

Den globale gjennomsnittstemperaturen var i april 0,5 grader over gjennomsnittet for denne måneden. Dette gjør måneden til den fjerde varmeste april siden målingene startet i 1880, viser nye tall fra amerikanske NOAA.

<http://www.cicero.uio.no/div/temp11.html>

Anbefaler miljøkjøring og fartsgrenser

Senk fartsgrensene på Europas motorveier, og lær opp sjåførene til mer miljøvennlig kjøremønster – men glem biodrivstoff. Det er rådene fra forskere som har vurdert tiltak mot CO₂-utslipp fra trafikken.

<http://www.cicero.uio.no/div/klimatiltak.html>

Bush møter motbør

Sjefredaktøren i det vitenskapelige tidsskriftet *Science* går hardt ut mot Bush-administrasjonens politikk mot klimaendringer. Storbritannias nye klimaplan får tilsvarende ros.

<http://www.cicero.uio.no/div/usa.html>

Ønsker du klimanyheter på e-post?

Her kan du registrere deg for å motta nyhetsmailene: <http://www.cicero.uio.no/subscriber/>