

Miljø og utvikling

KlimaProg – Forskningsprogram om klima og klimaendringer

*Programplan
2002-2011*



**Norges
forskningsråd**

Copyright © Norges forskningsråd 2001

Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
Grønt nummer telefaks: 800 83 001
Internett: bibliotek@forskningsradet.no
X.400: S=bibliotek;PRMD=forskningsradet;ADMD=telemax;C=no;
Hjemmeside: <http://www.forskningsradet.no/>

Opplag: Kun elektronisk publisering

Oslo, januar 2001

ISBN 82-12-01514-9

Innhold

Innhold	3
Forord.....	4
Sammendrag	5
1. Innledning	7
Bakgrunn.....	7
Hva programmet dekker og <i>ikke</i> dekker	8
2. Kunnskapsbehov	9
Prioriterte forskningsoppgaver.....	10
3. Kompetanse, forholdet til internasjonal forskning og rekruttering.....	13
Norsk kompetanse.....	14
Internasjonal deltagelse og samarbeid.....	14
Rekruttering	15
4. Mål og virkemidler.....	15
Hovedmålsetting	15
Delmålsettinger	16
Andre strategiske føringer.....	17
5. Prioriteringer ved ulike finansieringsmodeller	17
Ved status quo.....	18
Ved vesentlig opptrapping	18
Ved nedskjæring	19
6. Forutsetninger og infrastruktur	19
Målinger/observasjoner.....	20
Tungregning	20
Satellitter og fjernmåling.....	20
Teknologi og innovasjon.....	21
Allmenn modellforbedring.....	21
Appendix	21
Sammensetning av arbeidsgruppen.....	21
Mandat	22
Akronymliste.....	23

Forord

KlimaProg - Forskningsprogram om klima og klimaendringer er en videreføring av *Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag*. Fagområdet programmet representerer er et felt som både er politisk viktig og hvor det er stort behov for økt kunnskap. I Forskningsmeldingen (St meld nr 39 (1998-99)) er fagområdet omtalt som en del av satsingen på forskning i skjæringsfeltet mellom energi og miljø. Problemstillingene knyttet til klima- og ozonlagsendringer er langsiktige og i sterk grad grunnforskningspreget. Det innebærer at også forskningsvirksomheten må være langsiktig.

På denne bakgrunn ble det sommeren 2000 nedsatt en programutviklingsgruppe med mandat å utarbeide forslag til programplan for en videreføring av *Endringer i klima og ozonlag* for tiårsperioden 2002-2011 (Mandat og sammensetting av gruppen er gitt i Appendiks.). Programutviklingsgruppen ble bedt om å utarbeide en kortfattet plan som skisserer ”de store linjer” for norsk klima- og ozonforskning for nevnte tiårsperiode ved konkret å definere programmets mål, overordnede faglige prioriteringer og innhold, samt en overordnet gjennomføringsplan.

Programutviklingsgruppens forslag ble behandlet og godkjent av Områdestyret for Miljø og utvikling 14.12.00.

Karin Refsnes
Direktør
Miljø og utvikling

Terje Mørland
Rådgiver
Miljø og utvikling

Sammendrag

KlimaProg - Forskningsprogram om klima og klimaendringer er en videreføring av *Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag*. Planen gjelder tiårsperioden 2002-2011 med eventuell justering midtveis i perioden.

Programmet dekker naturvitenskapelig forskning som sikter på å øke forståelsen av klimasystemet og klimaendringer. Det er et fokusert og målrettet program med siktemål å levere resultater som egner seg til videre anvendelse. Programmet inneholder ikke studier av de biologiske, økologiske, teknologiske, sosiale eller økonomiske *effektene* av klimaendringer. Disse problemstillingene vil bli dekket av andre programmer. *KlimaProg* vil imidlertid opprette tette forbindelser med disse programmene for å sikre at de scenarier og resultat som kommer ut av programmet er tilpasset brukernes behov. Dette vil skje både på programstyre- og forskernivå.

Hovedmålsetting

KlimaProg skal sikre norsk naturvitenskapelig klimaforskning på høyeste internasjonale nivå. Programmet skal sette norske forskere i stand til å gjennomføre forskning som fører til vesentlige forskningsgjennombrudd på minst tre av de prioriterte forskningsutfordringene skissert i programplanen.

Delmålsettinger

- *KlimaProg skal føre til målrettet forskning på de prioriterte forskningsutfordringene skissert i programplanen.*
- *KlimaProg skal sikre utarbeidelse av resultat som er anvendbare for brukergrupper, inkl. effektforskningsmiljøer og brukere av klimaforskningsresultat i forvaltning og næringsliv.*
- *KlimaProg skal sikre en god nasjonal arbeidsdeling slik at man får benyttet den beste nasjonale kompetansen på de forskjellige forskningsområdene.*
- *KlimaProg skal sikre en effektiv resultatformidling.*
- *KlimaProg skal sikre rekruttering av kompetente klimaforskere*

Prioriterte forskningsoppgaver

Programmet definerer en serie faglige problemstillinger/utfordringer. Disse er basert på *IPCC 3rd Assessment Report (TAR)*, på en vurdering av viktige nasjonale og globale forskningsutfordringer og den norske forskningskompetansen:

1. *Deteksjon av pågående klimaendringer, forståelse for deres årsaker og hvordan de kan relateres til naturlige og menneskelige føringer.*
2. *Hvordan blir klimautviklingen i vår region, og i hvilken grad er klimaendringer i vår region påvirket av effekter fra fjerntliggende strøk?*
3. *Hvor stor er sannsynligheten for brå endringer i klimasystemet, særlig knyttet til havsirkulasjonen? Hvilke prosesser skaper brå endringer, og hvor store føringer skal til for å utløse slike?*
4. *Hvorfor oppstår det storskala klimaendringer av regional eller global karakter på tidsskalaer fra ti til 1000 år? Hvordan påvirker slike endringer den pågående klimautviklingen. Hva er klimasystemets følsomhet for forskjellige naturlige og menneskeskapt føringer som virker over lengre og kortere tidsskalaer?*
5. *Hva er opphavet til den mellomårlege til dekadiske variabiliteten i det nord-Atlantiske/Arktiske systemet, og er det mulig å prediktere denne?*

6. *Bedre forståelse for sentrale prosesser, særlig knyttet til tilbakekoblingsprosesser ('feedbacks') og ikke-lineære fenomen, i klimasystemet.*
7. *Bedre forståelse for utveksling av klimagasser (særlig karbon, metan og lystgass) mellom terrestriske systemer, atmosfæren og havet, og hvordan utvekslingen og klimagassføringene endres under global oppvarming.*
8. *Hvordan vil klimagasser og partikler påvirkes av fysiske og kjemiske prosesser i atmosfæren?*
9. *Hvilken rolle har ozon som klimagass i dag, og hvilke rolle vil den ha i framtiden?*

De prioriterte forskningsoppgavene representerer spørsmål av stor viktighet for den fremtidige samfunnsutviklingen. De dekker vesentlige forskningsutfordringer som krever en omfattende satsning av finansielle og intellektuelle ressurser over lengre tid.

Problemstillingenes karakter krever utstrakt samarbeid på tvers av institusjons- og faggrenser. Store tverrinstitusjonelle nasjonale eller regionale prosjekter vil derfor fortsatt bli prioritert, og forskningen i programmet vil være tett integrert mot internasjonale programmer i regi av IGBP og WCRP, EUs rammeprogrammer, samt nasjonale programmer og forskergrupper i USA og Nord-Europa.

Programplanen skisserer hvilke faglige prioriteringer som bør gjøres under tre forskjellige finansieringsscenarier (*status quo* (26 mill kr per år), *vesentlig opptrapping*, *nedskjæring*). Det pekes på hvilke områder som bør vedlikeholdes eller styrkes, og hvilke konsekvenser et redusert budsjett vil få for klimaforskningen. For å nå alle de overordnede målene - sikre forskning på høyeste internasjonale nivå og sikre innsats på bredden av de sentrale forskningsutfordringene - vil det være nødvendig med en opptrappingsplan.

Den naturvitenskapelige klimaforskningen er sterkt avhengig av en velfungerende infrastruktur bestående av avansert instrumentering for felt- og laboratoriestudier; høy kvalitet på målinger og observasjoner; en rekke lengre tidsserier av klimaobservasjoner; infrastruktur for feltobservasjoner, særlig hav- og isgående forskningsfartøy; tilgang til fjernmålingssystemer; og prioritert tilgang til tungregnerressurser av betydelig størrelse. Det er en underliggende forutsetning for måloppnåelsen i *KlimaProg* at denne infrastrukturen eksisterer, bygges ut og gis finansiell prioritering over relevante forvaltningsorganer og forskningsutførende institusjoners budsjetter samt i andre programmer i Forskningsrådet.

I. Innledning

Bakgrunn

Basert på rekonstruerte klimaparametre over de siste 1000 år og observerte klimaparametre og klimamodellsimuleringer over de siste 150 år har IPCC konkludert¹ med at det er en påviselig endring av det globale klima som følge av menneskeskapt utslipp av klimagasser og aerosolpartikler. De globale endringene gjør seg gjeldende ved bl.a. økt overflatetemperatur, endringer i nedbørsmønstre, redusert snødekke på land og redusert isutbredelse på land og til havs, global heving av havnivået, indikasjon på endringer i de storskala atmosfære- og havsirkulasjonsmønstre, og indikasjon på større variabilitet i klimasystemet. Videre har ozonlaget, spesielt i polområdene, gjennomgått store forandringer på 1990-tallet med rekordlavt stratosfæreozon både i Antarktis og i Arktis, mens konsentrasjonen av troposfærisk ozon har fortsatt å øke. Totalt sett har dette ført til økning av UV-strålingsnivået og muligens en tilbakekopling i klimasystemet gjennom nedkjøling i stratosfæren.

Globale klimasimuleringer indikerer at den sterkeste oppvarmingen vil finne sted over høye nordlige breddegrader, at utbredelsen av is i Arktis vil bli sterkt redusert over de neste par 10-år, at redusert innstrømming av Atlanterhavsvann til de Nordiske hav ikke kan utelukkes, og at frekvensen av ekstremvær vil øke. Norge har således en spesiell interesse av klimaforskningen da endringer i det globale klimasystemet kan få særlige konsekvenser for Norge og de tilstøtende hav- og landområder, inkludert for økonomisk og samfunnsmessig viktige næringer som fiske, akvakultur, skog- og landbruk og energisektoren.

Selv om Norge er en liten nasjon sett på bakgrunn av befolkning og areal, har Norge gjennom utvinning og eksport av olje og gass et overordnet ansvar for å bidra til den globale klimaforskningen². Norges geografi gir muligheter til og et ansvar for å overvåke et bredt spekter av klimaparametre i et område som dekker et bredt breddegradsbånd (inklusive Arktis og deler av Antarktis) i et i global sammenheng nøkkelområde for klimaforandringer. Klimaforskning er også en forutsetning for at Norge kan bidra til det omfattende internasjonale klimaarbeidet som pågår. Gode framtidsscenarioer for Norges klimasystem, samt fortsatt norsk deltagelse og påvirkningsmulighet i det internasjonale klimaarbeidet, er avhengig av klimaforskning på høyt internasjonalt nivå.

Foruten den særegne regionale betydningen klimaendringer vil få i vårt nærområde, er klimaendringenes globale karakter en utfordring. Vi har både en internasjonal forpliktelse og en nasjonal interesse av å forstå hele bredden i de globale klimaendringene. Dette fordi det finnes mange eksempler på hvordan klimasystemet inneholder fjerneffekter, der endringer ett sted påvirker klimaet langt unna, og fordi de samfunnsmessige virkningene av klimaendringer vil virke på global skala. Følgelig bør norsk klimaforskning ikke legges opp for snevert, og bør først og fremst være innstilt på å gi bidrag av høy kvalitet til å forbedre forståelsen for klimaendringer i et globalt perspektiv. På den andre siden er en rekke av de sentrale klimaprosessene i vår region av stor global betydning, noe som skaper god synergi mellom nasjonale forskningsnisjer og strategier innenfor klimaforskningen og de behovene man har

¹ "The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate" (IPCC Second Assessment Report, Summary for Policymakers, 1996), og "There is now stronger evidence for a human influence on global climate than at the time of the Second Assessment Report (IPCC Third Assessment Report, Summary for Policymakers, datert 22. oktober, 2000).

² Norges utslipp av CO₂ utgjør ca. 1.7% av de globale utslipp, mens Norges eksport av olje og gass utgjør 2.5% av de globale utslipp.

for å få en forbedret forståelse for de globale endringene. Herunder ligger det også en forpliktelse i forhold til å være med på å bygge opp utviklingslandenes kompetanse omkring klimaendringene.

Hva programmet dekker og ikke dekker

KlimaProg dekker naturvitenskapelig forskning som har som mål å øke forståelsen av klimasystemet og klimaendringer. Det er et fokusert og målrettet program rettet mot å løse klart definerte problemstillinger, med resultat som skal kunne anvendes videre. I de følgende kapitler blir det klargjort hvilke forskningsmessige problemstillinger en tar sikte på å dekke innenfor forskjellige budsjettalternativ. Forskningen programmet skal dekke vil, tross fokusering på anvendbare resultater, i stor grad ligge tett opp til grunnforskning på feltet, og hovedtyngden av forskningen vil kunne beskrives som *strategisk grunnforskning*.

Programmet har endret navn fra det forrige programmet om *Endringer i klima og ozonlag*.

Dette har skjedd fordi man ønsker å fokusere på klimaproblemstillingene.

Ozonlagsforskningen er beholdt i programmet, men betraktes nå som en integrert del av klimaproblematikken. Dette er i tråd med den siste rapporten fra WMO/UNEP om ozonlaget som konkluderer med at klima og ozonlagsproblemer er knyttet sammen.

Programmet inneholder ikke studier av effektene av klimaendringer, hverken de biologiske/økologiske, teknologiske, sosiale eller økonomiske. Disse problemstillingene vil bli dekket av andre programmer. Programmet har imidlertid som en av sine viktigste ambisjoner å levere et godt premissgrunnlag for effektforskningen gjennom å arbeide fram klimarekonstruksjoner, prediksjoner og scenarier som inneholder de parametre som er relevante for effektforskningen. Enkelte hydrologiske og geologiske effekter av klimaendringer som i seg selv kan inneholde informasjon om klimaendringenes størrelse og natur, vil i visse tilfeller kunne finne sin plass innenfor programmet, eksempelvis informasjon om skred- og flomfrekvens og -størrelse under forskjellige klimabetingelser.

KlimaProg er således et program for naturvitenskapelige studier av klimasystemet og klimaendringer. Det vil være den sentrale premissleverandøren som vil ligge i bunnen for samfunnsfaglige, naturvitenskapelige eller teknologiske effektstudier, bl.a. ved å levere spesifiserte scenarier som effektstudiene vil ta utgangspunkt i. Det er derfor behov for en sterk samordning av *KlimaProg* med andre klimaforskningsprogrammene. Dette vil sikre at scenariene er brukerrettede, og inneholder de sentrale parametre som effektstudiene etterspør. Dette bør skje ved samordning på programstyrenivå mellom programmene, og ved felles møter og workshops som sikrer toveis kommunikasjon mellom forskerne i programmene. Videre vil forskningsformidlingen av resultater fra programmet i tillegg til å inneholde allmenrettede tiltak også være spesifikt innrettet på å nå viktige brukergrupper for klimaforskningen innenfor forvaltning og næringsliv.

KlimaProg vil ikke inneholde forskning omkring framtidige utslippsscenarioer for klimagasser. Denne forskningen og utviklingen av nye, reviderte utslippsscenarioer vil imidlertid være vesentlig i forskningen som dreier seg om prediksjonen av den forventede klimautviklingen. Programmet må derfor etablere gode forbindelser med nasjonal og internasjonal aktivitet som arbeider med utslippsscenarioer.

KlimaProg vil være sterkt avhengig av en velfungerende infrastruktur som dekker innsamling av observasjoner av viktige klimaparametre. I hovedsak vil det ligge utenfor programmets rammer å finansiere denne klimaovervåkingen (Se kapittel 6), som forutsettes finansiert over

andre budsjett. Et helt strengt skille mellom overvåkning og operasjonell virksomhet på den ene siden, og forskningen som nyttegjør seg observasjonene på den andre, er ikke mulig å etablere. Således vil det være naturlig at enkelte kritiske måleserier utføres innenfor programmet.

2. Kunnskapsbehov

Med en overflatetemperaturer i luft og hav 5-10°C over middeltemperatur for tilsvarende breddegrader er Norges og de norske havområders klima spesielt, også på global skala. Hovedgrunnen til vårt spesielle klima er en betydelig tilførsel av varm og fuktig luft fra det nordlige Atlanterhav sammen med tilførsel av varme vannmasser inn i Norskehavet. I tillegg til atypisk høy hav- og lufttemperatur er vårt klima karakterisert ved store gradienter og sterk variabilitet. Faktisk er Norge og de tilstøtende hav- og landområdene inklusiv Svalbardregionen blant de områder på den nordlige halvkule som har sterkest naturlig klimavariabilitet. Mekanismene bak den naturlige variabiliteten er dårlig kjent, og det er store behov for bedre kunnskap om denne dersom den framtidige klimautviklingen skal kunne forutsies med tilstrekkelig nøyaktighet.

I de siste 20 år er ozonlaget svekket over høye nordlige områder. Dette skyldes spesielle meteorologiske forhold med lave temperaturer og polare stratosfæriske skyer som legger forholdene til rette for aktivisering av ozonnedbrytende stoffer i stratosfæren. Det er en sterk kopling mellom redusert ozon og temperatur i stratosfæren som gjør at endringer i stratosfærens ozonlag er knyttet til endringer i klimaet. Det er behov for ytterligere studier av kjemiske prosesser, studier av prosesser som bestemmer utvekslingen av luft mellom polare områder og midlere bredder, og av koplingen mellom ozon og klima for å kunne beregne fremtidige ozonendringer.

Ovennevnte forhold gjør at scenariene for framtidens klima i Norge og våre nærområder inklusiv Svalbardregionen er beheftet med betydelige usikkerheter. Sentrale spørsmål som krever langsiktig forskningsinnsats omfatter:

- *muligheten for redusert intensitet og varmetilførsel fra det nord-Atlantiske havstrømsystemet (dvs., intensiteten av Atlanterhavstrømmen);*
- *muligheten for endret intensitet i klimavariabiliteten, inkludert endringer i luft- og havstrømmer, i luft- og havtemperatur, og i nedbør;*
- *muligheten for reduksjon av havisen i Arktis; og*
- *kunnskap om hvor stor del av klimaendringene som forårsakes av henholdsvis naturlige og menneskeskapte føringer.*

Selv om norsk klimaforskning vil være sentrert om problemstillinger knyttet til Norge og våre nærområder, er klimaendringer globale av natur. Det er derfor nødvendig å studere globale prosesser som påvirker endringer i klimagasser og aerosoler og deres påvirkning på klimaet på ulike skalaer for å forstå klimautviklingen (og klimavariabiliteten) i Norge og norske havområder. Av samme grunn er det nødvendig å studere og modellere koplet atmosfære- og havdynamikk på global skala for å øke forståelsen for den regionale klimautviklingen i våre nærområder.

Styrking av den nasjonale klimakompetansen og resultatene fra forskningen vil være viktig for forvaltningen. Kompetansen og resultatene vil også kunne brukes strategisk i industriell planlegging og utvikling, og de vil danne utgangspunktet for biologiske, hydrologiske, sosio-

økonomiske og klimapolitiske effekt- og konsekvensstudier (heretter kalt effektstudier). God kontakt med brukerne av klimaforskningen er viktig, og dette kan sikres ved at forholdene legges til rette for dette på forskernivå.

For å kunne forbedre klimascenariene, samt å redusere usikkerheten i prognoser som vil være utgangspunktet for effektstudier, er det nødvendig å:

- *opprettholde og forbedre observasjoner og tidsrekker av nøkkelparametre i vårt klimasystem;*
- *styrke kunnskap om sentrale prosesser og arbeidet med modeller som beskriver framtidige klimaendringer;*
- *forbedre kunnskapsnivået omkring tidligere tiders klima og klimavariasjoner, og å forbedre presisjonen i beskrivelsen og den dynamiske tolkningen av slike klimaendringer;*
- *forbedre beskrivelse, forståelse og modellering av vekselvirkninger mellom hav, snø og is og atmosfære i vår region (og om nødvendig på større skala) for dagens klima;*
- *forbedre forståelsen av den naturlige klimavariabiliteten i vår region for dagens klima;*
- *redusere usikkerheten i simuleringer av middeltilstand og variabilitet i vårt klimasystem for framtidige klimascenarier;*
- *forbedre forståelsen for kilder og sluk av de viktigste klimagassene, og utvikle mer nøyaktige beregninger av de framtidige endringer i den atmosfæriske konsentrasjonen av diss;*
- *forbedre beskrivelse av atmosfæriske aerosolers direkte og indirekte virkninger på klimaet i vår region; og*
- *forbedre forståelsen av skyene og vanddampens rolle i klimasystemet.*

For å sikre god og resultatorientert forskning er det nødvendig med internasjonalt samarbeid på forskernivå og aktiv deltagelse i internasjonale klimaforskningsprogrammer. Dette, i tillegg til aktiv forskningsformidling og nær kommunikasjon med fagfelt som vil bruke resultater fra den naturvitenskapelige klimaforskningen, er beskrevet i kapittel 3 og 4.

Den tredje hovedrapporten fra IPCC (TAR) angir følgende fire områder som særlig sentrale for å bedre forstå og identifisere framtidige klimaendringer: 1. Sikre observasjoner av sentrale klimaparametre. 2. Redusere usikkerheten i framtidig konsentrasjonsutvikling av atmosfæriske drivhusgasser og aerosoler, inkludert biogeokjemisk lagring og syklung av disse komponentene. 3. Bedre forstå ikke lineære prosesser i klimasystemet, inkludert skyenes rolle, El Niño – Southern Oscillation (ENSO), termohalin havsirkulasjon og havis. 4. Generell forbedring av globale og regionale klimamodeller.

Prioriterte forskningsoppgaver

Basert på nasjonale interesser og behov, på områder og nisjer der Norge i dag har tung kompetanse på høyt internasjonalt nivå og på uttrykte behov fra IPCC for aktivitet og forskning, er følgende problemstillinger vurdert som de mest sentrale i klimaforskningen i Norge i de kommende 10 år (med foreslått justering etter 5 år). I kapittel 5 redegjøres det for hvilke av disse som vil bli prioritert ved forskjellige budsjettalternativ, og hvordan finansieringsnivået vil influere på i hvilken grad man vil kunne løse disse oppgavene.

1. Deteksjon av pågående klimaendringer, forståelse for deres årsaker og hvordan de kan relateres til naturlige og menneskelige føringer.

Analyse av kontinuerlige, høykvalitets observasjoner av sentrale klimaparametre i atmosfæren, på landjorda, på havoverflaten og i havet spiller en nøkkelrolle i klimaforskningen. Slike analyser er nødvendig for å kunne påvise om klimasystemet endrer karakter i form av f.eks. endret hyppighet

av ekstremvær. Det er også nødvendig med analyse av klimasystemet for å identifisere mønstre som kan relateres til naturlige eller menneskeskapte føringer, for å utvikle og validere et teoretisk fundament for observasjonene, og for å validere regionale og globale klimamodeller. I denne forskningen er det særlig nødvendig å gjøre seg nytte av lange klimarekker. Uten slike observasjoner er det umulig å skille en menneske-påvirket klimaendring (eller trend) fra naturlig variabilitet i klimasystemet. Grunnet Norges beliggenhet og spesielle interesse for klimaprosesser ved høye breddegrader, vil analyse av land- og havis, permafrost og snødekke komme i tillegg til analyse av standard klimaparametre som f.eks. lufttrykk og -temperatur, nedbør, strålingsbalanse, klimagasskonsentrasjon, havtemperatur og -saltholdighet.

2. *Hvordan blir klimautviklingen i vår region, og i hvilken grad er klimaendringer i vår region påvirket av effekter fra fjernliggende strøk? Herunder: Utvikle scenarier som skal danne basis for effektstudier.*

En sentral problemstilling for klimaforskningen er å påvise eller si noe om sannsynligheten for at klimasystemet vil endre karakter ettersom drivhuseffekten forsterkes. For Norges del er det særdeles viktig å få klarhet i om global oppvarming vil føre til et skifte i vårt klimasystem, eller om den naturlige variabiliteten endrer karakter. Siden klimasystemet er globalt, kan en ikke se bort fra at endringer langt fra Norge kan ha følger for klimautviklingen over Norge, eller vice versa. Det er derfor påkrevd med forskning på både regional og global skala for å kunne si noe om klimautviklingen i vår region. I tillegg er Norge og de norske nærområder karakterisert ved store geografiske endringer i klimaparametrene, det være seg i middeltilstand og i variabilitet (ekstremer). Det er derfor behov for spesielle analyser og modellverktøy for å kunne gi regionale klimascenarier med ønsket kvalitet. Det er slike scenarier som vil bli benyttet i effektforskningen og i nasjonal og internasjonal klimapolitikk, slik at kvaliteten på disse scenariene vil legge direkte føringer på relevansen av effektforskningen og klimapolitikken. For å sikre at *KlimaProg* skal kunne forsyne effektforskningen med relevante scenarier er det viktig med dialog med brukerne allerede under planleggingen av prosjektene.

3. *Hvor stor er sannsynligheten for brå endringer i klimasystemet, særlig knyttet til havsirkulasjonen? Hvilke prosesser skaper brå endringer, og hvor store føringer skal til for å utløse slike?*

Det er kjent fra paleoklimatiske datasett at det har forekommet svært sterke og hurtige klimaendringer. Det har skjedd store sprang i middeltilstanden over perioder så korte som et par tiår. Den eksisterende kunnskap tyder på at disse er utløst eller forsterket av brå endringer i varmetransporten i nord-Atlanteren, men at utslagene er store over hele den nordlige halvkule, og muligens globalt. Likeledes viser en rekke klimamodelleksperiment at denne typen endringer kan bli en konsekvens av en videreføring av menneskeskapte klimapådriv. Det er et sterkt behov for å skape en bedre forståelse for slike endringer. Om de skulle forekomme, vil de gi svært store utslag i vår region. En bedre forståelse må basere seg på bedre kunnskap om de faktorer som skapte slike endringer i tidligere perioder, rekonstruksjon av deres geografiske fordeling, bedre forståelse for sentrale mekanismer knyttet til dypvannsdannelse og havsirkulasjon på høye nordlige breddegrader, og en kraftig forbedring av måten slike prosesser er representert i klimamodeller.

4. *Hvorfor oppstår det storskala klimaendringer av regional eller global karakter på tidsskalaer fra ti til 1000 år? Hvordan påvirker slike endringer den pågående klimautviklingen. Hva er klimasystemets følsomhet for forskjellige naturlige og menneskeskapte føringer som virker over lengre og kortere tidsskalaer?*

Menneskeskapte klimaendringer skjer i et samspill med den naturlige klimavariabiliteten. Endringene vil også trolig i stor grad skje ved forandringer i opptreden av kjente former for variabilitet, f.eks. ved at klimasystemet i større grad innstilles i en bestemt tilstand. Det er følgelig stort behov for kunnskap om den naturlige variabiliteten. Slik kunnskap vil kunne gi svar på om de observerte endringene i rom og tid skjer som en del av underliggende naturlig skapte trender, og de vil gi svar på hvor følsomt klimasystemet er for eksterne og interne føringer. De orbitale

endringene som skaper istider gir grunnlag for å studere hvordan klimasystemet har reagert i situasjoner der det eksterne pådrivet er kjent. Dette vil gi kunnskap om både lineære responser til strålingsendringer og om de mange tilbakekoplingsprosessene som forsterker strålingspådrivet (hav, snø og is, vegetasjon, drivhusgasser og aerosoler). Når det gjelder kortere tidsskalaer, er det fremdeles uklart om det finnes syklisitet i de naturlige klimaendringene og om endringer slik som "Lille istid" og lignende fenomen skyldes interne eller eksterne prosesser i klimasystemet. Det trengs også en langt bedre forståelse for om denne typen middels kraftige klimaendringer er en del av en innebygd syklisitet i klimasystemet og hvilken rolle endringer i solinnstråling, solaktivitet og vulkanisme spiller.

5. *Hva er opphavet til den mellomårlige til dekadiske variabiliteten i det nord-Atlantiske/Arktiske systemet, og er det mulig å prediktere denne?*

Norges og de nære områders klima (bl.a. vind, temperatur, nedbør og havstrøm, havtemperatur og -saltholdighet) viser sterk variasjon på mellomårlig til dekadisk tidsskala. Endring av styrke eller aksjonssenter for denne variabiliteten vil få direkte følger for både det marine klima og klimaet på land. Det er derfor viktig å forbedre kunnskapen om denne variabiliteten, og å definere og å forstå klimaindeksers som kan brukes til effektstudier. Den nord-Atlantiske/Arktiske (NAO/AO) indeksen er her sentral på dekadisk tidsskala, men variabilitet på andre tidsskalaer finnes også. Økt kunnskap om den naturlige variabiliteten kan kun gjøres ved utstrakt gjennomgang og analyse av klimaobservasjoner og klimamodellering. Det forventes at tung nasjonal satsning, kombinert med internasjonalt samarbeid, vil gi forbedret innsikt i den naturlige variabiliteten i vårt klimasystem over de påfølgende ti år, og at en innen den tid vil kunne si noe om hvorvidt den naturlige klimavariabiliteten kan forutsies. Dersom NAO/AO og andre klimavariasjoner kan forutsies, vil dette kunne få stor betydning for atmosfære- og havmodellering, for prognoser for utvikling av fiskebestander og for værutvikling flere måneder fram i tid. Dette vil også kunne influere på vår forståelse for sammenhengen mellom klimaendringer og de viktige prosesser i stratosfæren som påvirker det arktiske ozonlaget.

6. *Bedre forståelse for sentrale prosesser, særlig knyttet til tilbakekoplingsprosesser ('feedbacks') og ikke-lineære fenomen, i klimasystemet.*

Mange prosesser i naturen svarer med store utslag på små, ytre forandringer. Samtidig viser analyse av tidligere tiders klima at store variasjoner i klimasystemet har forekommet over et fåtall år. Det kan derfor ikke utelukkes at klimasystemet vil kunne komme til å endre karakter over en kort tidsperiode. Det er særlig knyttet usikkerhet til skyenes rolle og mengde og fordeling av vandamp ettersom drivhuseffekten forsterkes, til naturlige klimasvingninger som El Niño – Southern Oscillation (ENSO), til stabiliteten av den nord-Atlantiske termohaline havsirkulasjonen, til smelting av havis og til endringer i overflatealbedo. Alle disse prosessene har et potensiale i seg til å forsterke en ytre påvirkning. Det er både nasjonal og internasjonal interesse for å bedre forstå disse prosessene slik at det f.eks. kan angis terskelverdier for økningen av menneskeskapt drivhuseffekt der deler av klimasystemet kan reagere med store utslag. Økt forståelse for disse prosessene krever observasjonsprogrammer, teoretisk analyse av observasjoner og prosesser, og prosess- og storskala modellering. Med utfordringenes viktighet og omfang vil internasjonalt samarbeid være en forutsetning for betydelig heving av kunnskapsnivået over de neste ti år.

7. *Bedre forståelse for utveksling av klimagasser (særlig karbon, metan og lystgass) mellom terrestriske systemer, atmosfæren og havet, og hvordan utvekslingen og klimagassføringene endres under global oppvarming.*

I tillegg til usikkerheter knyttet til størrelsen av dagens og de fremtidige utslipp av klimagasser, er det store usikkerheter knyttet til hvordan de naturlige kilder og sluk for klimagassene vil reagere på klimaendringer. De årlige fluksene av klimagasser mellom atmosfæren og de terrestriske og marine kilder og sluk for klimagassene er flere størrelsesordner større enn de menneskeskapt utslipp. Det er store usikkerheter i forståelsen av hvor store de forskjellige kilder/sluk er, og hvordan den geografiske fordelingen mellom dem er. Dette gjelder både marine og terrestriske områder. Usikkerhetene er enda større når det gjelder hvordan utvekslingen mellom atmosfæren

og de marine og terrestriske karbonreservoarer vil påvirkes av klimaendringer. Det er uklart om effekten av global oppvarming vil minke eller øke de naturlige slukene av klimagasser, og således om dette vil øke eller senke klimagassføringene. En endring i de store årlige fluksene av CO₂ mellom hav og atmosfære vil påvirke klimagasskonsentrasjonene i atmosfæren signifikant på global skala. For fluksene mellom atmosfæren og jordsmonn og biosfære på land er det store usikkerheter knyttet til om endringer i karbonlagring vil være av temporær karakter eller om de vil være stabile på en lang tidsskala, noe som har betydning for klimautviklingen. Det må arbeides for å redusere usikkerhetene da disse har stor betydning for prediksjoner av den framtidige klimautviklingen og for overholdelse av framtidige klimaavtaler. For å nå dette målet er en kombinasjon av modellering og observasjoner nødvendig, og det vil kreves utstrakt internasjonal samarbeid.

8. *Hvordan vil klimagasser og partikler påvirkes av fysiske og kjemiske prosesser i atmosfæren?*

Flere viktige klimagasser og partikler påvirkes av kjemiske og fysiske prosesser i atmosfæren, i tillegg til de direkte utslippene. Av klimagassene gjelder dette spesielt for metan som brytes ned effektivt gjennom kjemisk oksidasjon i troposfæren. Endringer i utslipp av forurensningsgasser (NO_x, CO, VOC) og fremtidige klimaendringer (endringer i temperatur, vanddamp, skymengde, solstråling) vil påvirke oksidasjonshastighetene og gjennom det konsentrasjonene. Fremtidige endringer vil derfor i stor grad avhenge av hvordan oksidasjonsprosessen endrer seg. I tillegg til at partikler har en direkte strålingseffekt har de også en indirekte effekt ved at de påvirker skyene. De indirekte effektene fra partikler på strålingspådrivet er potensielt svært viktig, og er beregnet å gi avkjøling, men usikkerhetene som er knyttet til beregningene av indirekte strålingspådriv (IPCC) er stor. I tillegg vil det være store regionale variasjoner i strålingspådrivet fra de indirekte effekter. Det er av stor betydning for regionale og globale klimascenarier å få en bedre forståelse av disse mekanismene. Fremtidige endringer av kjemisk aktive klimakomponenter vil høyst sannsynlig bli svært forskjellig fra hva en kan forvente ut fra endringer i utslippene av primærkomponentene. Siden det her er snakk om noen av de viktigste klimakomponentene (metan, ozon, partikler), og atmosfæreprosessene er kompliserte og til dels dårlig kjent, er det behov for fortsatte studier av vekselvirkningen mellom atmosfæreprosesser og klimagasser og partikler, og kvantifisering av de ulike komponentenes strålingsføring og hvordan dette varierer i rom og tid.

9. *Hvilken rolle har ozon som klimagass i dag, og hvilke rolle vil den ha i fremtiden?*

Ozon står i særstilling blant klimagassene ved at den er en sekundær komponent som dannes ved kjemiske reaksjoner i atmosfæren. Den har kort oppholdstid og varierer både i tid og rom. Den er avhengig både av mengde og fordeling av utslippene av forurensningsgasser. Endringer i troposfæreozon er beregnet å ha gitt det tredje største globale bidraget til strålingsføringen frem til i dag. Regionale bidrag som f.eks. over Europa er spesielt stort. Ozonlaget i stratosfæren er redusert betydelig de siste 20 årene. Dett har ført til en endringer i strålingsbidraget som påvirker klimaet. I samme tidsrommet har reduksjonen i ozonlaget ført til en betydelig økning i skadelig UV stråling på bakken. Dette vil påvirke biologiske systemer på bakken og i havet og oksidasjonsprosessene i atmosfæren. De store usikkerhetene som er knyttet til hvordan ozondannelsen i troposfæren vil endres og hvordan stratosfærens ozonlag påvirkes som følge av utslipp av klimagasser og gasser som bryter ned ozon gjør at en bør videreføre studiene endringer i troposfæreozon og endringen i stratosfærens ozon og hvilken betydning det har for UV strålingen ved bakken.

3. Kompetanse, forholdet til internasjonal forskning og rekruttering

Klimaforskningen er tverrfaglig av natur, og den tar for seg prosesser fra mikro- til global skala. Klimaforskningen er derfor karakterisert ved samarbeid på tvers av fagområder og

landegrenser. Den tverrfaglige forskningen og det internasjonale samarbeidet innen klimaforskning ventes å bli ytterligere forsterket i de kommende 10 år.

Norsk kompetanse

Norsk klimaforskning har i dag ledende internasjonale grupper innen problemstillinger som inkluderer fysiske og kjemiske prosesser i atmosfæren, herunder den direkte og indirekte rollen til metan, ozon, aerosolpartikler og skyer; innen bruk og analyse av fjernmålingsdata for å detektere endringer i utbredelse av sjøis, snø og isbreer; innen evaluering av prosesser av betydning for klimautviklingen og observasjon av atmosfærens temperatur og fuktighetsfordeling; innen observasjoner av havsirkulasjonens betydning for klimaendringer i de Nordiske hav; og innen analyse og tolkning av paleoklimatiske observasjoner. I tillegg har Norge internasjonalt gode og voksende miljø innen klimamodellering og dynamisk og empirisk nedskalering av globale klimamodeller, innen parameterisering av skyer (stråling og mikrofysikk) i klimamodeller og innen studier av det marine karbonsystemet på høye breddegrader.

I Norge finnes det også kompetanse på klimaendringer knyttet til hav- og atmosfæreprosesser og paleoklima i Antarktis. Denne bør utvikles som en sentral del av norsk Antarktiskforskning, og som en del av en nisjestrategi der norsk klimaforskning skal være sterk på klimaendringer på høye breddegrader.

I store trekk er de sentrale forskningsfeltene beskrevet i kapittel 2 ivaretatt av eksisterende forskningseksperter i Norge. For å opprettholde og styrke den norske klimaforskningens posisjon internasjonalt foreslås det derfor i hovedsak å styrke aktiviteten innen eksisterende forskningsgrupper. Innsatsen bør settes inn innenfor prioriterte nisjer der vi har sterke forskningsmiljøer eller der vi eventuelt ønsker en særlig utbygging utfra overordnede nasjonale hensyn. Utbygging av nye områder bør imidlertid primært skje ved en vesentlig økning av de økonomiske rammene for forskningen (se kapittel 5 nedenfor). En slik nisjestrategi er nødvendig dersom Norge også i framtiden skal ha ledende internasjonale forskningsgrupper.

Internasjonal deltagelse og samarbeid

Ledende forskningsgrupper er karakterisert ved hyppig vitenskapelig publisering i anerkjente internasjonale forskningstidsskrifter, ved populærvitenskaplig formidling av egen og tilstøtende forskning, og ved deltagelse i internasjonale prosjekt og programmer. Med utgangspunkt i det nåværende finansieringsnivå av den naturvitenskapelige klimaforskningen i Norge, er selv den mest sentrale klimaforskningen underfinansiert. Det er derfor nødvendig med et bredt samarbeid mellom norske og internasjonale forskningsgrupper. Internasjonalt samarbeid er også ønskelig da dette, i tillegg til økt forskningsaktivitet, vil være kvalitets- og kunnskapsdrivende for forskningen.

Internasjonalt samarbeid er i dag hovedsakelig kanalisert gjennom EUs rammeprogram og ved deltagelse i større internasjonale programmer som WCRP og IGBP. Dette samarbeidet vil i praksis også si at norske forskere er nær tilknyttet forskere, og følgelig forskningen, ved de store klimasentrene i Europa. Dette er positivt og en effektiv måte å overføre nisjekunnskap til de større sentrene på. I tillegg til internasjonalisering på europeisk plan gjennom EUs rammeprogram og opp mot britisk/nord-europeisk forskning, bør norske klimaforskere også være aktive i forhold til forskningsmiljøer i USA hvor flere nye klimaforskningsprogrammer er under planlegging. For å optimalisere utkommet av den norske forskningen foreslås det at pågående samarbeidsprosjekt med internasjonale grupper bør være en av faktorene ved evaluering av søknader til *KlimaProg*.

Internasjonalt samarbeid foregår også på et overordnet nivå gjennom deltagelse i internasjonale programmer, prosjekter og panel (f.eks. CLIVAR, ACSYS/CLIC, PAGES, IGAC, JGOFS/SOLAS, IPPC, OOPC og WMO Ozone Assessments). Denne deltagelsen foregår i dag stort sett tilfeldig. Dette bør endres slik at Norge aktivt tar del i eksisterende og i utforming og deltagelse i nye forskningsprogrammer. På denne måten kan en sikre at også problemstillinger som er av særlig betydning for Norge og tilstøtende områder får en sentral rolle i programmene.

Som virkemiddel for å styrke denne tilknytningen bør programstyret utnevne små nasjonale komiteer for de mest sentrale programmene/prosjektene, med ansvar for å flagge norske interesser i de aktuelle programmene/prosjektene og videreformidle informasjon til programstyret og relevante forskningsgrupper i Norge. Forskerne i de aktuelle komiteene bør få dekket sine faktiske utgifter i forbindelse med dette arbeidet.

I forbindelse med deltagelse i internasjonale prosjekter er det viktig å presisere at endringer i f.eks. den europeiske og amerikanske forskningspolitikken kan få store konsekvenser for den norske klimaforskningen. Finansieringen fra f.eks. EUs rammeprogram har vist seg å være svært uforutsigbar. Det er derfor påkrevet at den nasjonale finansieringen av klimaforskningen har et visst volum (se kapittel 5), og at finansieringen er langsiktig.

Rekruttering

Klimaforskning på internasjonalt nivå forutsetter jevn forskerrekruttering. Rekrutteringen kan sikres på flere måter: Aktiv forskningsformidling er nødvendig for å synliggjøre klimaforskningen i Norge og for å synliggjøre viktigheten av forskningen. Denne forskningsformidlingen bør ha som mål å nå elever og studenter på grunnskole, videregående skole og universitetsnivå. I tillegg er det nødvendig å gi stipend til doktorstudenter og å gi postdoktor stipend til kandidater som har gode forutsetninger for å fortsette med klimaforskning. Støtte til utenlandske klimaforskere på postdoktor og høyere nivå bør også gis i den grad disse forskerne gjør sitt arbeid i Norge, at de er tilknyttet norske forskningsgrupper og at de vil være med på å heve nivået på den norske klimaforskningen. Likeledes må det oppmuntres til at norske klimaforskere gjennomfører lengre forskningsopphold ved ledende utenlandske forskningsgrupper, og at slike forskningsopphold er en sentral del av forskerutdanningen til norske klimaforskere. De ledende norske gruppene bør ha faglig tyngde og forskningsressurser som gjør dem tiltrekkende for utenlandske forskere.

4. Mål og virkemidler

Hovedmålsetting

KlimaProg skal sikre norsk naturvitenskapelig klimaforskning på høyeste internasjonale nivå. Programmet skal sette norske forskere i stand til å gjennomføre forskning som fører til vesentlige forskningsgjennombrudd på minst tre av de prioriterte forskningsutfordringene i programplanen (se kapittel 2).

Norsk klimaforskning skal være karakterisert ved forskning på ledende internasjonalt nivå. Dette krever at programmet evner å fokusere innsatsen om de prioriterte forskningsoppgavene, og å gi de beste søkerne tilstrekkelig langsiktig finansiering. Graden av måloppnåelse vil også avhenge av programmets finansielle ramme (se kapittel 5) og at de ytre

forutsetninger om nødvendig infrastruktur (f.eks. tungregning) finansiert over andre budsjetter er oppfylt (se kapittel 6). Da den nasjonale finansieringen av klimaforskningen generelt ikke er tilstrekkelig for å sikre dette målet, er internasjonalt prosjektsamarbeid nødvendig. Internasjonalt samarbeid bør derfor vektlegges i søknadsevalueringen. Kvalitet bør være den viktigste faktoren ved evaluering av programaktiviteten midtveis i programperioden og ved programmets slutt.

Delmålsettinger

- *KlimaProg skal føre til målrettet forskning på de prioriterte forskningsutfordringene skissert i programplanen (se kapittel. 2).*

For at det skal være mulig å nå hovedmålsettingen er det nødvendig å konsentrere innsatsen om de prioriterte forskningsområdene i kapittel 2. Dette utelukker ikke at andre problemstillinger kan støttes, men i utgangspunktet bør minst 70% av finansieringen gå til de prioriterte forskningsområdene. Den resterende andelen bør gå til annen målrettet forskning med høy kvalitet med siktemål å forbedre forståelsen av klimasystemet eller forbedret modellering av det. Det er en fordel om også denne forskningen er relatert til de prioriterte forskningsområdene. Justering av de prioriterte problemstillingene bør foretas midtveis i programperioden.

- *KlimaProg skal sikre utarbeidelse av resultat som er anvendbare for brukergrupper, inkl. effektforskningstilgjør og brukere av klimaforskningsresultat i forvaltning og næringsliv.*

Brukergrupper inkluderer bl.a. forvaltning og forskningsgrupper innen biologiske, teknologiske, sosio-økonomiske og klimapolitiske fagdisipliner. Det er viktig å ha jevn og god dialog med brukergruppene, slik at hovedresultatene fra forskningen kan tilrettelegges på en god og gjennomtenkt måte i forhold til disse gruppens behov. Da resultatene fra *KlimaProg* vil ligge til grunn for samfunnsfaglige, naturvitenskapelige eller teknologiske effektstudier, er det et særlig behov for sterk samordning av *KlimaProg* med programmer som dekker slike studier. Dette vil sikre at klimascenariene fra *KlimaProg* er brukerrettede, og at de inneholder sentrale parametre som effektstudiene etterspør. Samordningen bør skje både på programstyrenivå og ved felles møter og arbeidsmøter som sikrer toveis kommunikasjon mellom forskerne i programmene.

- *KlimaProg skal sikre en god nasjonal arbeidsdeling slik at man får benyttet den beste nasjonale kompetansen på de forskjellige forskningsområdene.*

Programmet skal være et instrument for å sikre optimal bruk av ressursene til naturvitenskapelig klimaforskning. I tillegg til internasjonalt samarbeid vil koordinerte tverrinstitusjonelle prosjekter på nasjonalt eller regionalt nivå være viktig for å oppnå dette. I utgangspunktet bør omlag 60% av finansieringen gå til slike koordinerte tverrinstitusjonelle prosjekter. Antall koordinerte prosjekter vil avhenge av naturlige samarbeidsområder og finansiering (se kapittel 5).

- *KlimaProg skal sikre en effektiv resultatformidling*

Forskningsformidling skal prioriteres høyt da mange av resultatene av forskningen vil ha følger for Norges (og tilstøtende områders) befolkning, for landets forvaltning, for marine og landbaserte næringer, og for økosystemer/biodiversitet. I tillegg er det helt avgjørende for den norske klimaforskningen at det er rekruttering av forskere med en sterk og bred faglig

bakgrunn. Et virkemiddel for å sikre seg tilstrekkelig rekruttering er å formidle forskningen på grunnskole- til universitetsnivå, og derved synliggjøre problemstillingene knyttet til globale klimaendringer og behovet for klimaforskning. Forskningsformidling kan skje gjennom informasjon på internett-sider, ved fordeling av brosjyrer eller klassesett med informasjon om klimasystemet og resultater fra klimaforskningen, ved populærvitenskaplige foredrag og publikasjoner, og ved nær kontakt med massemedia.

- *KlimaProg skal sikre rekruttering av kompetente klimaforskere*

For å sikre rekruttering av kompetente klimaforskere skal programmet gi stipend til doktorstudenter og gi postdoktor stipend til særlig kvalifiserte kandidater. Det vil være programstyrets oppgave å fordele utdanningsstipend i henhold til tilfang av kandidater og behov for nye klimaforskere.

Andre strategiske føringer

For å sikre høy kvalitet på prosjektene i programmet skal det anvendes internasjonal faglig vurdering ('referee') i søknadsbehandlingen. Søknader vil bli rangert basert på kvalitet og relevans.

Suksesskriteriene for prosjektene er formidling av resultater og kunnskap innenfor de skisserte problemstillinger gjennom publisering i internasjonale tidsskrifter, ved at resultatene tilrettelegges og gjøres tilgjengelig for bruk i effektstudier, og ved allmenn forskningsformidling.

De forskningsfaglige prioriteringene vurderes og om ønskelig og nødvendig justeres omlag halvveis i programmet. Det foreslås også en internasjonal totalvurdering av programmet etter omlag 5 år. Konklusjonen fra denne evalueringen bør brukes for om mulig å styrke programmets forskning over de resterende 5 år.

5. Prioriteringer ved ulike finansieringsmodeller

De prioriterte forskningsoppgavene beskrevet i kapittel 2 representerer spørsmål av stor viktighet for den fremtidige samfunnsutviklingen. De dekker vesentlige forskningsutfordringer som krever en omfattende satsning av finansielle og intellektuelle ressurser over lengre tid.

For å nå de overordnede målene, sikre forskning på høyeste internasjonale nivå og sikre innsats på bredden av de sentrale forskningsutfordringene, er det nødvendig med en opptrappingsplan. Det vises her til den opptrapping som skjer i andre land, eksempelvis etableringen av Thyndall-senteret og NERCs store satsning i Storbritannia bl.a. på forskning omkring havsirkulasjonen og dens mulighet til å skape hurtige klimaendringer, etableringen av Rossby-senteret i Sverige, og den omfattende økte satsningen som NSF og NOAA foretar i USA bl.a. med stor vekt på Arktis. Det vises også til *Samarbeidsutvalget for Klimaforskning* sin innstilling som fremhever at det er behov for en dobling av finansieringen av naturvitenskapelig klimaforskning.

I det følgende er det skissert hvilke faglige prioriteringer som bør gjøres under tre forskjellige finansieringsscenarier (*status quo*, *vesentlig opptrapping*, *nedskjæring*). Det pekes på hvilke områder som bør vedlikeholdes eller styrkes, og hvilke konsekvenser et redusert budsjett vil få for klimaforskningen. Rekkefølgen av aktivitetene listet under *status quo* og *vesentlig*

opptrapping er tilfeldig og angir ikke prioriteringsgrad. Som det fremgår av dette vil helt vesentlige forskningsresultat gå tapt ved nedskjæring. Det vil bare være mulig å nå full måloppnåelse ved vesentlig opptrapping. En gradvis opptrappingsplan med 10-20% økning pr. år vil være ønskelig for å sikre rekruttering av den ønskede kompetansen. Det gjøres oppmerksom på at det i alle budsjettscenarier er forutsatt at adekvat infrastruktur (tungregning etc.) som må finansieres over andre budsjetter, foreligger (se kapittel 6).

Ved status quo³

- Videreføre arbeidet med målrettet utvikling av regionale scenarier. Dette vil adressere problemstilling 1 og 2 i kapittel 2.
- Videreføre innsatsen på studier av havsirkulasjon og klimaendringer. Dette vil gi forskning rundt problemstilling 3 og 5.
- Videreføre prosjekter om naturlig klimavariabilitet/paleoklima. Dette vil gi forskning rundt problemstilling 1 og 4.
- Videreføre prosjekter som studerer fysiske og kjemiske prosesser i atmosfæren, utslipp og strålingseffekter (direkte og indirekte). Dette gir forskning rundt problemstilling 8 og 9.
- Videreføre nåværende aktivitet knyttet til karbonsyklusen (inkludert havets opptak og avgivelse av CO₂). Dette vil gi en viss kontinuitet i forskning rundt problemstilling 7.
- Opprettholde innsats når det gjelder studier av ozonlaget og endringer i UV stråling på nordlige bredder.
- Opprettholde aktivitet knyttet til klimaendringer i Arktis. Dette vil gi forskning rundt problemstilling 6.

Flesteparten av disse problemstillingene er i dag ivarettatt av de nasjonalt koordinerte klimaprojektene *COZUV*, *NOCLIM*, *NORPAST* og *REGCLIM*.

Ved vesentlig opptrapping⁴

- Få i gang en nasjonal satsning på forskning rundt mulige endringer i marine og terrestriske kilder og sluk av de viktigste klimagassene, herunder karbondioksid, metan og lystgass. Dette vil føre til at vi fra norsk side får tung forskning innenfor problemstilling 7 og 8, og med mulighet for et nytt koordinert nasjonalt prosjekt omkring problemstilling 7. Pr. i dag foregår det bare begrenset forskning omkring de biogeokjemiske syklene. Det understrekes at for å få en vellykket norsk satsning her, er det påkrevet å ha en betydelig langsiktig finansiering av kompetanseoppbygging, og en sterk integrasjon av denne virksomheten med den ledende internasjonale kompetansen.
- Klimautviklingen i Arktis vil være sentral for norske interesser. Det er også et utmerket faglig grunnlag for en satsning her, og det forventes at Norge tar et internasjonalt ansvar. Tung norsk innsats i forskning omkring sentrale atmosfæriske og marine klimaprosesser i Arktis, inkludert vekselvirkning mellom hav, is, snø og atmosfære, og innen paleoklima vil gi et vesentlig bidrag til klimaforskningen knyttet til Arktis. Dette vil kunne gi sentrale forskningsgjennombrudd bl.a. knyttet til observasjon og forståelse for menneskeskapte endringer, og omkring utviklingen av den arktiske havisen (problemstilling 1, 2, 3, 5, 6, 8 og delvis 7 og 9). En sterk finansiell opptrapping er en *forutsetning* for at Norge skal ha forskningsgrupper på topp internasjonalt nivå innen klimaforskning knyttet til Arktis, og

³ Utgangspunkt for *status quo* er at programmets budsjett for år 2001 (ca. 26 mill kr, ekskl. fondsmidler administrert av programstyret) videreføres med inflasjonsjustering.

⁴ Ekstra tilskudd på i størrelsesorden 5-10 mill kr antas å kunne føre forskningen rundt en eller flere av de angitte problemstillingene opp på et nivå der sannsynligheten for at utkommet blir merkbare/anvendbare resultater er stor.

for at Norge kan ha forskningsaktivitet som kompletterer den økende internasjonale aktiviteten.

- Redusere usikkerhet knyttet til klimaendring på global skala (herunder styrke global klimamodellering) og forbedre nyttegraden av de regionale klimascenariene for Norge og tilstøtende områder som definert over. Dette vil sikre en stor grad av måloppnåelse for forskningen rundt problemstilling 1 og 2, og vil styrke problemstilling 4, 6 og 8.
- Forbedre beskrivelse av vannets kretsløp i klimamodeller, herunder utvikle, teste og validere beskrivelse av og prosesser som påvirker albedo, vanndamp, skyer, nedbør og avrenning. Dette vil i særlig grad styrke problemstilling 2, 6 og 8, og delvis 3 og 4.
- Gi den nødvendige tyngde og volum til forskningen om mulige endringer i havsirkulasjonen, herunder redusere eksisterende usikkerhet knyttet til mulig reduksjon av det nord-Atlantiske havstrømsystemet ettersom den globale oppvarming fortsetter. Med den sterke kompetanse som finnes i Norge innenfor paleoklima, oseanografi og modellering vil en opptrapping her føre norske forskningsmiljø inn blant de mest sentrale internasjonale aktører i verden på forskning rundt problemstilling 3, 4, 5 og 6.

Ved nedskjæring

Nedskjæring vil bety at forskningsinnsatsen omkring problemstilling 1 til 9 vil bli skadelidende, og at det ikke kan forskes på mange av de sentrale problemstillingene i *COZUV*, *NOCLim*, *NORPast* og *RegClim*. Dette vil føre til undergraving av aktiviteter der vi i dag har forskningsgrupper som gjør seg internasjonalt gjeldende. Særlig vil studier av regionale klimaendringer, paleoklima, atmosfæreprosesser og endringer i havsirkulasjonen bli skadelidende. For eksempel vil forskning omkring de regionale scenariene komme til å lide ved redusert bevilgning (problemstilling 2). Denne forskningen er avhengig av en underskog av ny kunnskap om prosesser og naturlig klimavariabilitet i såvel atmosfære som i hav. Selv om man i stor grad prioriterer regional klimamodellering, vil det derfor være vanskelig å få utviklet fullgode produkter for effektforskningen uten en portefølje av observasjons- og prosessrelaterte prosjekter.

Nedskjæring vil også bety at vi ikke får utført forskning med tilstrekkelig tyngde når det gjelder mulighetene for raske og store klimaendringer som følge av mulige endringer i havsirkulasjonen i nord-Atlanteren, ikke-lineære prosesser, eller tilbakekoblingsprosesser (problemstilling 3, 4, 5 og 6). Forskning omkring den typen prosesser som vil kunne skape store, overraskende klimautslag vil lide sterkt.

Nedskjæring vil videre bety at vi ikke får støttet forskning omkring mulige endringer i de terrestriske og marine klimagassbudsjettene (problemstilling 7). Det er også grunn til å anta at nedskjæring vil kreve omfattende investeringer på et senere tidspunkt for å forsere manglende rekruttering og kunnskap om sentrale problemstillinger og prosesser.

6. Forutsetninger og infrastruktur

Den naturvitenskapelige klimaforskningen er sterkt avhengig av en velfungerende infrastruktur bestående av: Avansert instrumentering for felt- og laboratoriestudier; høy kvalitet på målinger og observasjoner; en rekke lengre tidsserier av klimaobservasjoner; infrastruktur for feltobservasjoner, særlig hav- og isgående forskningsfartøy; tilgang til fjernmålingssystemer; og prioritert tilgang til tungregnerressurser av betydelig størrelse. Denne underliggende infrastrukturen, samt det tekniske støtteapparatet som trengs for å drive det, er kanskje den viktigste forutsetningen for en fortsatt kvalitetsheving for norsk klimaforskning.

Det er en underliggende forutsetning for måloppnåelsen i *KlimaProg* at denne infrastrukturen eksisterer og bygges ut. Det er imidlertid ikke rom for å finansiere den nødvendige infrastrukturen beskrevet i dette kapitlet over programmets eget budsjett. *KlimaProg* forutsetter derfor at denne blir gitt finansiell prioritering over relevante forvaltningsorganer og forskningsutførende institusjoners budsjetter samt i andre programmer i Forskningsrådet.

Målinger/observasjoner

Klimaforskningen vil være avhengig av tung underliggende infrastruktur som sikrer videreføring og utvidelse av eksisterende måleprogrammer, og en instrumentpark som holder internasjonal standard. Særlig viktig er det å sikre lange tidsserier av sentrale klimaparametre. Vi har et internasjonalt ansvar for å sikre videreføring av programmer innenfor observasjoner av variabiliteten i havet, endringer i sjøisdekket, varmetransporten i hav-atmosfæresystemet, og breenes massebalanse. Videre er det viktig at det finnes plattformer for innhenting av nødvendig paleoklimatisk prøvemateriale både på land og i hav. For atmosfærestudiene må det sikres systemer for målinger av klimagasser og aerosoler. Den marine virksomheten er generelt avhengig av tung innsats fra forskningsskip, deriblant de unike seriene fra værskipet *Polarfront* i Norskehavet. Det er viktig for kvaliteten på norsk klimaforskning at forskerne har tilgang til moderne forskningsfartøy. Ved opptrapping av norsk klimaforskning i Arktis vil det være en fordel å ha skip med isgående kapasitet. Dette må suppleres med infrastrukturtilgang som kommer gjennom internasjonalt samarbeid. For paleoklimavirksomheten er en av de viktigste utfordringene å forbedre den kronologiske nøyaktigheten for de klimatiske tidsseriene med god tilgang på dateringsressurser. Det er særlig behov for å styrke kapasiteten for norske AMS ¹⁴C-målinger, og å sikre implementering av nye dateringsmetoder.

Tungregning

Klimaforskningen er avhengig av dedikert tungregnekapasitet, mulighet for fleksibel tilgang til tungregnerressursene og omfattende database-, datalagring- og dataprosesseringssystemer. Realistiske klimasimuleringer på regional og global skala og gjennomføring av brorparten av de angitte forskningsmilepæler (se kapittel 2) er fullstendig prisgitt tilgang til nasjonale tungregnerressurser. Klimaforskningen er, og vil forbli, en av de tyngste aktørene innen bruk av tungregning i Norge. Etersom modellenes gitteroppløsning økes og nye prosesser og parameteriseringer blir inkludert i modellene, vil det være behov for å allokere en betydelig del av den nasjonale tungregnerressursen til dedikerte klimasimuleringer. I tillegg til selve tungregnerressursen er det også nødvendig å ha metoder for lagring og tilgjengelighet av store datamengder. For å sikre at klimaforskningens behov for tungregning blir ivaretatt foreslås det at et av programstyrets medlemmer enten selv er medlem av det nasjonale tungregneutvalget, eller at vedkommende har nær og jevnlig kommunikasjon og kontakt med utvalget. Det er i år 2000 opprettet et Servicesenter for norsk klimaforskning (*NoSerC*) som har som oppgave å hjelpe til med datalagring og -tilgjengelighet.

Satellitter og fjernmåling

Fjernmåling fra satellitt har den fordel sammenlignet med konvensjonelle observasjoner i atmosfæren og i havet at dekningsgraden er på tilnærmet global skala, og at dekningsfrekvensen er høy. Ulempen er knyttet til at enkelte sensorer er avhengig av dagslys og skyfri himmel, og at sensorene bare ser havets overflate. Det ligger et økt potensiale for utnyttelse av satellittdata ved bruk av multisensor metodikk og kalibrering mot lange konvensjonelle observasjonsserier. Like fullt har satellittmålinger revolusjonert observasjonsgrad og -dekning av sentrale klimaparametre som overflate havtemperatur og -

strøm, isutbredelse og -konsentrasjon, breer, snødekke, midlere lufttemperatur og luftfuktighet, kartlegging av skydekke og nedbør, jordas varmestråling, samt mange atmosfæriske klimagass- og aerosolkonsentrasjoner. For eksempel er det helt avgjørende for overvåkingen av den arktiske havisen at passiv mikrobølge-data fra satellitt finnes. For å studere klimaprosesser og fordeling og endringer av klimagasser i atmosfæren samt gasser som påvirker ozonlaget er det viktig å ta i bruk satellittmålinger. Antall satellitter og satellittsensorer vil øke over kommende 10-års periode, bl.a. som en del av ESAs *Living Planet Program*. Det er viktig og nødvendig at norske klimaforskningsgrupper også i framtiden benytter seg av den informasjon som er tilgjengelig fra satellitt for å optimalisere utkommet av forskningen. Klimaforskningens behov bør inkorporeres i det nyopprettede forskningsprogrammet om *Overvåking av marine og terrestriske systemer*.

Teknologi og innovasjon

Forskningsgjennombrudd hører ofte sammen med teknologiske gjennombrudd, der ny metodikk tilfører forskningen ny kunnskap. Det er en svakhet ved norsk klimaforskning at den i for liten grad er preget av teknologisk nyutvikling og eksperimentell virksomhet. En langsiktig styrking av dette elementet vil være viktig for å nå de faglige målene for *KlimaProg*. Her er det også gode muligheter for industrielle spinoff-effekter ettersom miljøovervåking er en voksende internasjonal virksomhet. Det er klart behov for systemer for detaljerte prosessstudier i atmosfære-is-havsystemet.

Allmenn modellforbedring

Selv om siste generasjons klimamodeller er i stand til å gjenskape flere av hovedtrekkene i den observerte klimautviklingen over de siste 50-150 år, gjenstår det fremdeles mange utfordringer. Dette knytter seg f.eks. til forbedret beskrivelse av ikke-oppløste prosesser (dvs. parameteriseringer), inkludering av nye prosesser i modellene, bruk av mer nøyaktig og mer effektiv numerikk, økt grad av parallellisering, osv. Det er vanskelig å rangere behovene for modellforbedring, men mer nøyaktig beskrivelse av prosessene bak skydannelse, nedbørsmengde og -fordeling, inkludering av aktive biogeokjemiske moduler i hav og atmosfæremodeller og forbedret beskrivelse av det marine klimasystemet på høye breddegrader står sentralt. Det er en klar fordel om de norske modellmiljøene har nær tilknytning til internasjonale grupper slik at utbedring og inkludering av nye moduler kommer alle parter til gode. Slik vekselvirkning vil også fungere som et kvalitetsstempel på den norske aktiviteten. Dette kan bl.a. skje ved at det primært benyttes modeller og modell-system som er internasjonalt fritt tilgjengelig.

Appendix

Sammensetning av arbeidsgruppen

Programutviklingsgruppen har hatt følgende sammensetning:

Eystein Jansen	Geologisk inst., Universitetet i Bergen (leder)
Lennart Bengtsson	Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg (medlem)
Hilary Birks	Botanisk inst., Universitetet i Bergen (medlem)
Karin Borenäs	Sveriges meteorologiska och hydrologiska inst. (medlem)
Ivar Isaksen	Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo (medlem)

Marit Viktoria Pettersen Statens Forurensningstilsyn, Oslo (medlem)
Jan-Gunnar Winther Norsk polarinstitutt, Tromsø (medlem)

Helge Drange Nansen senter for miljø og fjernmåling, Bergen (sekretær)

Gruppens arbeid har pågått i perioden 20. september til 30. november 2000.

Mandat

Programutviklingsgruppen fikk følgende mandat (kortversjon):

”Programutviklingsgruppen bes utarbeide forslag til programplan for en videreføring av Forskningsprogram om Endringer i klima og ozonlag for tiårsperioden 2002-2011. Det legges til grunn at programmet i fortsettelsen skal ha omtrent samme faglige og økonomiske rammer som i dag. Planen skal bygge på og videreføre nåværende programnotat/handlingsplan og være et kortfattet (ca. 10 siders) strategisk dokument som skisserer ”de store linjer” for norsk klima- og ozonforskning for nevnte tiårsperiode ved konkret å definere programmets mål, overordnede faglige prioriteringer og innhold, samt en overordnet gjennomføringsplan.”

Akronymliste

ACSYS/CLIC	Arctic Climate System Study/Climate and Cryosphere Initiative (WCRP)
AMS	Accelerator Mass Spectrometry (for ¹⁴ C dateringer)
AO	Arctic Oscillation
CLIVAR	Climate Variability Study (WCRP)
COZUV	Coordinated Ozone and UV Project (Norges forskningsråd)
ENSO	El Niño – Southern Oscillation
ESA	European Space Agency
IGAC	International Global Atmospheric Chemistry Study (IGBP)
IGBP	International Geosphere Biosphere Programme
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
JGOFS /	Joint Global Ocean Flux Study /
SOLAS	Surface Ocean Lower Atmosphere Study (IGBP)
NAO	North Atlantic Oscillation; den nord-Atlantiske svingning
NERC	Natural Environmental Research Council, UK
NOAA	National Atmosphere and Ocean Administration, USA
NSF	National Science Foundation, USA
NOCLim	Norwegian Ocean Climate Project (Norges forskningsråd)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NorPast	Past Climates of the Norwegian Region (Norges forskningsråd)
NoSerC	National Climate Service Centre (Norges forskningsråd)
NSF	National Science Foundation (USA)
OOPC	The Ocean Observations Panel for Climate (WCRP)
PAGES	Past Global Changes (IGBP)
RegClim	Regional Climate Development Under Global Warming (Norges forskningsråd)
WCRP	World Climate Research Programme
WHO/UNEP	World Health Organisation/United Nations Environmental Programme