

*Norges forskningsråd*

**Forskningsbehov  
knyttet til  
virkninger av og  
tilpasninger til  
klimaendringer i  
Norge med  
nærliggende  
havområder**

*Innspill fra tverrfaglig arbeidsgruppe  
nedsatt av Norges forskningsråd*



**Norges  
forskningsråd**

© **Norges forskningsråd 2001**

Norges forskningsråd  
Postboks 2700 St. Hanshaugen  
0131 OSLO  
Telefon: 22 03 70 00  
Telefaks: 22 03 70 01  
Publikasjonen kan bestilles via internett:  
<http://www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase/>  
eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Internett: [bibliotek@forskningsradet.no](mailto:bibliotek@forskningsradet.no)  
X.400: S=bibliotek;PRMD=forskningsradet;ADMD=telemax;C=no;  
Hjemmeside: <http://www.forskningsradet.no/>

Trykk: Norges forskningsråd  
Opplag: Kun elektronisk publisering

Oslo, august 2001  
ISBN 82-12-01639-0

# Innhold

Forord .....	5
1. Sammendrag .....	7
1.1. Prioriterte oppgaver innen hovedpilar 1 – målrettet grunnlagsforskning .....	9
1.2. Prioriterte oppgaver innen hovedpilar 2 - sektorperspektivet.....	10
1.3. Prioriterte oppgaver innen hovedpilar 3 – det regionale samfunnsperspektivet .....	12
1.4. Overvåking og behovet for lange tidsserier.....	12
1.5. Ressursbehov.....	13
2. Hvorfor effektforskning?.....	14
2.1. Sårbare økosystemer - robust samfunn?.....	14
2.2. Det globale perspektivet.....	15
2.3. Effektforskning som underlag for klimapolitikken .....	16
2.4. Hvem har behov for effektforskning? .....	16
3. Definisjoner, begreper, perspektiver og avgrensninger .....	18
3.1. Effekter og sårbarhet .....	18
3.2. Effektkjeden som tilnærming til beskrivelse av effektforskning.....	19
3.2.1. Effekter på biotiske og abiotiske systemer .....	19
3.2.2. Konsekvenser for mennesker og samfunn.....	21
3.3. Kriterier for rangering av forskningsoppgaver .....	23
4. Sentrale forskningsbehov .....	24
4.1. Overordnede naturvitenskapelige forskningsbehov .....	24
4.1.1. Strategiske utfordringer for økologisk klimaeffektforskning .....	24
4.1.2. Økologisk relevante klimaparametere .....	24
4.1.3. Potensiale for spredning av nye organismer og deres effekter på økosystemene .....	25
4.1.4. Endringer i nøkkelarter og nøkkelartsfunksjoner .....	25
4.1.5. Klimatisk betingede grensesoner mellom økosystemer (økotoner).....	25
4.1.6. Paleobiologiske problemstillinger .....	26
4.2. Overordnede samfunnsvitenskapelige forskningsbehov .....	26
4.2.1. Modeller for analyser av sosioøkonomisk sårbarhet i velferdsstaten .....	26
4.2.2. Konsekvenser av klimaendringer for demografi, næringsvirksomhet og kulturell identitet .....	26
4.3. Sektormessige forskningsbehov .....	27
4.3.1. Fiskeri og havbruk.....	27
4.3.2. Skog og skogbruk.....	29
4.3.3. Jordbruk og reindrift.....	31
4.3.4. Hydrologiske systemer og betingelser for vannkraftproduksjon.....	33
4.3.5. Transport og infrastruktur.....	34
4.3.6. Turisme.....	35
4.3.7. Helseeffekter .....	35
4.4. Polarområdene.....	35
4.5. Sikkerhet og beredskap .....	36
4.6. Overvåking og behovet for lange tidsserier.....	37
5. Pågående forskning .....	38
5.1. Effektforskning finansiert i Forskningsrådet.....	38
5.2. Internasjonal virksomhet på feltet .....	38
5.3. Norsk kompetanse .....	41
6. Konklusjoner og gruppens forslag til prioriteringer .....	42
6.1. Behov for kunnskap langs tre perspektiver .....	42
6.2. Prioriterte forskningsoppgaver .....	43
6.2.1. Hovedpilar 1 – målrettet grunnlagsforskning .....	43
6.2.2. Hovedpilar 2 - sektorperspektivet.....	44
6.2.3. Hovedpilar 3 – det regionale samfunnsperspektivet.....	45
6.3. Overvåking og behovet for lange tidsserier.....	46
Vedlegg Mandat og sammensetting av arbeidsgruppe som gitt i brev fra Norges forskningsråd...	47
1. Mandat.....	47
2. Sammensetting .....	49



# Forskningsrådets forord

## Bakgrunn

Forskningsrådets Samarbeidsutvalg for klimaforskning har pekt på at det er nødvendig med økt forskningsinnsats for å dekke kunnskapsbehovene knyttet til virkninger av og tilpasninger til klimaendringer. Økt kunnskap om disse spørsmålene er en forutsetning for politikkutforming og planlegging innen en rekke samfunnssektorer for å kunne stå rustet til å møte virkningene av forventede klimaendringer med fornuftige tiltak. I rapporten "Klimaforskningen i Norge", som ble lagt fram høsten 2000, påpekte Samarbeidsutvalg for klimaforskning at det for å møte utfordringene vil kreves økt innsats både innen naturvitenskapelige og samfunnsvitenskapelige fag og ikke minst forskning på tvers av disiplinene, og anbefalte at det som grunnlag for å øke innsatsen burde foretas en helhetlig vurdering av forskningsbehovene på området.

På denne bakgrunn ble det i mars 2001 nedsatt en tverrfaglig arbeidsgruppe som ble gitt i mandat å *utarbeide en kortfattet rapport med en helhetlig vurdering av forskningsbehov knyttet til virkninger av og tilpasninger til klimaendringer i Norge med nærliggende havområder*. Arbeidsgruppen har hatt følgende sammensetting:

- Direktør Knut Alfsen, CICERO Senter for klimaforskning, *leder*
- Forsker Kristin Aunan, CICERO Senter for klimaforskning, *sekretær/koordinator*
- Prosjektleder Audun Rosland, Statens forurensningstilsyn
- Professor Rolf Anker Ims, Institutt for biologi, Universitetet i Tromsø
- Professor Arild Vatn, Institutt for økonomi og samfunnsfag, Norges landbrukshøgskole
- Professor Birger Solberg, Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole
- Forsker Harald Loeng, Havforskningsinstituttet
- Forskningssjef Nils Roar Sælthun, Norsk institutt for vannforskning
- Forskningssjef Terje Kleven, Norsk institutt for by- og regionforskning
- Rådgiver Terje Mørland, Forskningsrådet

## Forskningsrådets videre arbeid

Den foreliggende rapporten er et viktig innspill til Forskningsrådets arbeid med råd og prioriteringer knyttet til opptrapping av forskningsinnsatsen på feltet, bl.a. arbeidet med budsjettforslag overfor departementene for 2003 og senere år. Dersom en satsing på dette brede fagområdet skal bli slagkraftig, vil det kreves samarbeid på tvers av departementsgrensene og områdegrensene i Forskningsrådet. Spørsmål knyttet til organisering og finansiering av forskningen på feltet vil stå sentralt i Forskningsrådets videre arbeid med saken.

Karin Refsnes  
Direktør Miljø og Utvikling



## I. Sammendrag

*Arbeidsgruppen anbefaler en langsiktig satsing på forskning om virkninger av klimaendringer i Norge basert på tre pilarer:*

- 1) En satsing på målrettet grunnlagsforskning med sikte på å bedre forståelsen av grunnleggende prosesser i naturen og samfunnet.*
- 2) Et sektorperspektiv der kunnskapsbehov knyttet til forvaltning av ulike sektorer under endrede klimabetingelser er førende.*
- 3) Et regionalt samfunnsperspektiv der samvirke mellom virkninger av klimaendringer og andre endringer i samfunnsforhold blir studert.*

*Arbeidsgruppen anbefaler at satsingen på de tre pilarene på sikt får et omfang av størrelsesorden 30 mill. kr. per år for pilar 1, 55 mill. kr. per år for pilar 2 og 15 mill. kr. per år for pilar 3. Arbeidsgruppen har pekt på forskningsområder som bør prioriteres innen hver av pilarene og også fremhevet behovet for innsamling og systematisering av lange observasjonsserier av betydning for å dokumentere effekter av klimaendringer. Gruppens faglige prioriteringer er å forstå som forslag til startpunkter for en satsing, og bør evalueres og eventuelt korrigeres underveis i satsingen.*

FNs klimapanel (IPCC) har i sin tredje hovedrapport lagt fram ny og sterkere dokumentasjon på at menneskelig aktivitet er den vesentligste årsaken til den globale oppvarmingen vi har sett de siste 50 årene. Klimagassenes levetid i atmosfæren og tregheter i klimasystemet gjør at vi, nær uansett hva vi måtte gjøre med klimagassutslippene framover, vil oppleve klimaendringer de kommende tiårene. Dette innebærer at de ulike biotiske og abiotiske systemene i framtiden vil stå overfor endringer i en del faktorer som har betydning for deres funksjon. Dette vil igjen kunne medføre samfunnsmessige konsekvenser og behov for tilpasningstiltak.

Eksisterende norsk forskningsaktivitet om effekter av klimaendringer må karakteriseres som fragmentert og ufullstendig. Det er behov for økt satsing på dette feltet og arbeidsgruppen vurderer det som nødvendig at satsingen har en bredde og et omfang som gjør det mulig å dekke et bredt spekter av de kunnskapshull som avdekkes i rapporten. I prioriteringen av forskningsoppgaver erkjenner vi på et overordnet nivå tre typer av behov:

1. Grunnleggende behov for å forstå virkemåten til natur og samfunn og forholdet mellom disse som basis for å produsere kunnskap om mulige samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer (målrettet grunnlagsforskning).
2. Behov for vitenskapelig basert kunnskap for sektormyndigheter som har ansvar for spesielle næringsinteresser eller andre hensyn som kan tenkes å bli utsatt for relativt store konsekvenser av framtidige klimaendringer i Norge (sektorperspektiv).
3. Behov for helhetlig og tverrfaglig kunnskap om hvordan klimaendringer kan virke på konkrete lokalsamfunn og regioner (regionalt samfunnsperspektiv).

Kunnskap om mulige konsekvenser av klimaendringer må være basert på et solid fundament av kunnskap om hvordan de ulike biotiske og abiotiske systemer vil kunne endres og hvilke politiske og samfunnsmessige mekanismer som vil bidra til at slike endringer eventuelt får konsekvenser for menneske og samfunn.

Det andre og tredje type av kunnskapsbehov kan illustreres ved virkninger av klimaendringer langs de to dimensjonene i) sektorvirkninger og ii) regionale samfunns-virkninger.

Forskning i et *sektorperspektiv* skal søke å gi et helhetlig bilde av klimaendringer for en sektor eller et interesseområde på tvers av regioner. De viktigste sektorene er etter vår vurdering primærnæringene, fiskeri og havbruk, skog og jordbruk. Samferdsel og energi er typiske infrastruktursektorer som, om de opplever vesentlige endringer i sine klimatiske rammebetingelser, vil kunne ha stor innflytelse på nesten all annen aktivitet i landet.

Det *regionale samfunnsperspektivet* vil derimot ta utgangspunkt i det konkrete lokal-samfunnet og søke å belyse hvordan klimaendringer vil påvirke dette gjennom aggregerte virkninger over mange sektorer og i konfrontasjon med konkrete samfunnsmessige rammebetingelser som eventuell ensidighet av næringslivet i den aktuelle lokalitet, avhengighet av kommunikasjons- og transportmuligheter, det generelle inntektsnivået, etc. Dette perspektivet vil således ivareta behovet for å se klimaendringer som en av flere endringsprosesser i samfunnet og gi mulighet for å studere samspillet mellom klimaendringer og andre endringsprosesser enten det er økonomiske, institusjonelle eller knyttet til andre miljøproblemer.

Problemområdet ”effekter av klimaendringer” spenner således over et meget vidt spekter av problemstillinger. Arbeidsgruppen er klar over at det er en nær umulig oppgave å prioritere mellom alle de potensielle forskningsoppgavene som kan tenkes å være av relevans her. Dette desto mer som kunnskapsgrunnlaget er svakt i dag. Arbeidsgruppen ønsker å understreke at prioriteringene er å forstå som forslag til startpunkt for en forskningsaktivitet vi mener bør ha et langsiktig (10 års) perspektiv. Ny kunnskap på alle felt vil trolig gjøre det naturlig å endre innretningen på forskningen over tid.

I tillegg til generelle prioriteringskriterier knyttet til bl.a. *forskbarhet, kompetanse og rimelighet i forholdet mellom ressursbruk og problemomfang* nedfelt i forskningsrådet dokumenter, har arbeidsgruppen lagt spesiell vekt på følgende kriterier ved rangering av forskningsoppgaver:

Effektene som forskningen skal bidra til å belyse er av en slik art at:

- det er fare for at de kan gi store *samfunnsmessige konsekvenser*, spesielt med tanke på negative fordelingseffekter, og/eller endret mulighet til å opprettholde primærnæringsbasert bosetting i distriktene;
- det er fare for store *irreversible* endringer i naturgrunnlag, herunder muligheten for opprettholdelse av biologisk mangfold og særegne kulturlandskap;
- det er *unike muligheter i Norge* for å belyse effektene på grunn av geografisk beliggenhet og økologiske særtrekk;



- det er forhold som gjør at Norge har et *spesielt ansvar* for å frambringe kunnskap om effektene utfra forvaltningsmessige, regionale eller kulturelle særtrekk.

Videre mener gruppen det bør være et prioriteringskriterium at forskningen bidrar med kunnskap

- om forhold som har vesentlig betydning for samfunnsplanlegging, investeringer eller ressursforvaltning i dag og i nær framtid (dvs. *tilpasningsrelevant* forskning);
- som frambringer gode *klimaeffektindikatorer* som gjør det mulig for forvaltning og myndigheter å overvåke klimaendringer, inkludert effekter av klimaendringene, og kommunisere kunnskap om disse til allmennheten.

Med utgangspunkt i disse kriteriene peker arbeidsgruppen på en del sentrale problemstillinger som etter dens mening bør prioriteres i en eventuell framtidig satsing på effektforskning innen hver av de ovennevnte hovedpilarene.

### **1.1. Prioriterte oppgaver innen hovedpilar I – målrettet grunnlagsforskning**

Kunnskap om hvordan *økosystemene* responderer på klimaendringer peker seg ut som et sentralt tema ut ifra alle prioriteringskriteriene. Det er videre mangel på grunnleggende kunnskap om hvordan et velferdssamfunn som Norge vil kunne respondere på klimaendringer. I dette perspektivet vil vi fremheve følgende grunnleggende forskningstemaer:

1. Økosystemers responser på klimaendringer. Faglig robuste forutsigelser om hvilke effekter klimaendringene vil ha på norske natursystemer må bygge på en grunnleggende forståelse av sammenhengen mellom klimavariasjon og de biologiske prosessene i økosystemene. Det er i norsk sammenheng et stort behov for å styrke den grunnleggende forskningen om hvordan økosystemenes funksjon og struktur påvirkes av klimavariasjon. Sentrale forskningsoppgaver som gjelder generelt for terrestriske, marine og limniske systemer er:
  - a. Å identifisere klimasensitive nøkkelfunksjoner (og indikatorer for slike) i økosystemene og hvilke konsekvenser endringer i disse vil ha på økosystemenes produktivitet, dynamikk og struktur (herunder biodiversitet).
  - b. Å identifisere og kvantifisere viktige samspill effekter mellom klimaendringer og andre antropogene miljøeffekter, herunder endringer i sykluser av karbon- og nitrogenforbindelser.
  - c. Å forutsi klimainduisert spredning av nye organismer og effektene av dette på stedege arter og økosystemprosesser.
  - d. Å styrke kompetansen på sentrale metodiske tilnæringer innen klimarelatert økosystemforskning. Det bør legges særlig vekt på prediktiv prosessmodellering inkludert modellering av bio-geo-kjemiske sykluser, eksperimentell økosystemforskning og strategier for innsamling og analyse av lange serier av observasjonsdata.
2. Utvikling av konseptuelle og kvantitative modeller for analyser av samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer i i-land. En sentral oppgave her er å

belyse institusjoners rolle i forhold til sosioøkonomisk sårbarhet og tilpasnings-  
evne. Det blir en sentral oppgave å kople naturvitenskapelig kunnskap med sam-  
funnsvitenskapelige metoder i utviklingen av modellene.

## **1.2. Prioriterte oppgaver innen hovedpilar 2 - sektorperspektivet**

På basis av prioriteringskriteriene nevnt over, peker primærnæringene seg ut som om-  
råder som bør prioriteres i forskningssammenheng. Sett ut ifra et langsiktig nasjonalt  
økonomisk perspektiv bør økt kunnskap om endringer i det *marine økosystemet* og  
konsekvenser for fiskeri- og oppdrettsnæringen være en prioritert oppgave. Ut fra et  
bosettings- og distriktsperspektiv peker jordbrukssektoren seg ut som en viktig sek-  
tor, fordi denne næringen sysselsetter en stor andel i svært mange norske kommuner.  
Arbeidsgruppen mener videre at forskning om effekter på *skog og skogbruk* bør prio-  
riteres, spesielt fordi de norske skoger utgjør en viktig del av det boreale skogområdet  
og dette økosystemet har sin klimatiske yttergrense både mot sør, nord og vest innen-  
for Norges grenser. Skogbruken har også stor distriktsmessig betydning og effekter av  
klimaendringer på skog kan ha store tilbakekoblingseffekter i forhold til klima-  
endringer. Vi ønsker videre å fremheve at det er et stort behov for forskning omkring  
effekter av klimaendringer i *transportsektoren*, på grunn av denne sektorens sentrale  
rolle både når det gjelder bidraget til samfunnets produksjonsmuligheter og opprett-  
holdelse av bosetting i distriktene.

Norsk energiproduksjon er særlig klima-avhengig gjennom vannkraftproduksjonen,  
men også alternative energiteknologier basert på biobrensler, vind og sol vil kunne  
påvirkes sterkt av endringer i de klimatiske forhold.

Arbeidsgruppen peker på følgende kunnskapsbehov innen sektorperspektivet (punk-  
tene nevnt først under hver sektor er de områdene der det er viktigst å komme i gang  
med forskning på et tidlig tidspunkt i et eventuelt forskningsprogram):

1. Fiskerisektoren (oppdrett, kyst-, og havfiske):
  - a. Vilkårene for oppdrett under endret klima med tanke på: Algeforekomster (herunder endrete næringssaltforhold); vekstvilkår og mulighet for nye arter; samt fysisk påvirkning av oppdrettsanlegg (vind, bølger).
  - b. Vilkårene for kyst- og havfiske under endret klima med tanke på: Arts-sammensetning, rekruttering, vekst, vandring og utbredelse; betydningen av plante- og dyreplankton i økosystemet; samt introduksjon av nye arter.
  - c. Forhold i fjorder som følge av endret avrenning fra land og endrete tempera-  
turforhold med tanke på: Endrete sirkulasjonsmønstre og det pelagiske øko-  
systemet; og utskifting av bunnvann og konsekvenser for dypvannsfauna.
  - d. Konsekvenser for norsk fiskeripolitikk – behov for endringer i virkemiddel-  
bruken i forhold til effekter av klimaendring.
2. Skogsektoren:
  - a. Økt risiko for skader på skog (vind, frost, snø, råte, insekter, kombinasjoner  
av disse).
  - b. Endringer i foryngelsesforhold, tilvekst (fordelt på treslag og tømmerkvalitet)  
og konkurranseforhold mellom ulike treslag og organismer.

- c. Endringer i utbredelse og sammensetning av skogøkosystem, biologisk mangfold og forutsetninger for flerbruksforvaltning av skog.
  - d. Skogsektorens rolle i karbonkretsløpet og med hensyn til utslipp av andre klimagasser enn CO<sub>2</sub>.
  - e. Utarbeidelse av analyseverktøy for studier av samfunnsmessige konsekvenser av endringer i skogøkosystemer og skogbrukssektoren.
  - f. Strategier for hensiktsmessig tilpasning av skogbruket til eventuelle klimaendringer, med hensynstagen til risiko og virkemiddelbruk.
3. Jordbruk og reindrift:
- a. Prosessmodellering med vekt på binding og emisjon av klimagasser samt endringer i forurensningstrykk. I denne forbindelse vil det være naturlig å legge vekt på både karbon- og nitrogenforbindelser.
  - b. Klimaendringenes mulige innvirkning på beitevilkårene i reindriftsnæringen.
  - c. Tap av jord ved erosjon. Endret tapsnivå, bærekraftsvurderinger, samt tiltak for å motvirke tapene.
  - d. Endret sykdoms-, ugras, og skadedyrstrykk i planteproduksjonen. Konsekvenser for bruk av plantevernmidler.
  - e. Generelle virkninger for avlingsnivå og endring av vokseområder for ulike nyttevekster. Både biologiske studier og studier av effekter på produksjonslokalisering og sysselsetting. Endret konkurranseforhold mellom jordbruk, reindrift og skogbruk. Regionale effekter.
  - f. Konsekvenser for norsk landbrukspolitik – behov for endringer i virkemiddelbruken i forhold til å motvirke negative effekter av klimaendring.
4. Samferdselssektoren og effekter på annen infrastruktur: Dette bør omfatte studier av mulige effekter av klimaendringer på bygninger, veier, jernbane, flytrafikk, havneforhold, rutegående hurtigbåter og større lasteskip og inkludere effekter av:
- a. Endringer i hyppighet og lokalisering av ras (jord, stein og snø).
  - b. Forekomst av ekstrem vind.
  - c. Forekomst av underkjølt regn.
  - d. Endringer i snømengder.
  - e. Flomstørrelse og –hyppighet.
  - f. Stormflo og havnivåstigning.
  - g. Vind og bølger på ferdsel til sjøs.
  - h. Tilpasningstiltak.
5. Energisektoren: Sektoren påvirkes både direkte, gjennom endringer i ressursgrunnlaget (vassføring, vind) og forbrukssiden (temperatur), og indirekte, gjennom konkurransevridding mellom energibærerne. Sentrale forskningsoppgaver er:
- a. Håndtering av økt usikkerhet i tilsigsgrunnlag i investeringsplanlegging og damsikkerhetsvurderinger. Det forutsettes her at direkteeffekter av klimaendringer på tilsigsforholdene er dekket av igangværende prosjekter.
  - b. Bedriftsøkonomiske, samfunnsøkonomiske og miljømessige konsekvenser av konkurransevridding mellom fossile brensler og fornybare energikilder (inkludert vannkraft).
  - c. Er norsk vannkraft uten drivhuseffekt?
  - d. Konsekvenser av klimaendringer for sikkerheten i petroleumsvirksomheten i Nordsjøen.

### **1.3. Prioriterte oppgaver innen hovedpilar 3 – det regionale samfunnsperspektivet**

I denne pilaren søker en helhetlige og tverrfaglige studier hvor effekter av klimaendringer på alle relevante sektorer og samfunnsforhold kartlegges i case-studier i spesifikke regioner. I tillegg til å belyse de vertikale sammenhenger i effektkjeden for de sektorene som er relevante for regionen, vil målsettingen være å belyse horisontale sammenhenger, dvs. hvordan endringer i de enkelte sektorer og interesseområder kan påvirke andre sektorer og interesseområder og lokalsamfunn som helhet. Komparative studier av ulike regioner vil kunne gi grunnlag for å belyse relativ sårbarhet for ulike regioner, sektorer og sosiale grupper, og dermed gi basis for å vurdere sårbarhet i et overordnet nasjonalt perspektiv. Hvilke områder som skal fokuseres i den regionale samfunnspilaren vil først og fremst avhenge av studienes potensiale med hensyn til å generere tverrfaglig forskning av høy kvalitet. I tillegg bør en tilstrebe en prosjektportefølje der studiene dekker et spekter av problemstillinger som er representative for ulike deler av landet.

Prioriterte forskningsoppgaver i det regionale samfunnsperspektivet er:

- 1 Metodeutvikling med hensyn til å definere og kartlegge sosioøkonomisk sårbarhet. Blant annet er det en sentral oppgave å utvikle *sårbarhetsindikatorer* for ulike perspektiver og som kan benyttes i tilpassingøyemed både fra kommunale og sentrale myndigheters side. Aktuelle perspektiver hvor en har behov for indikatorer og sårbarhetsstudier er:
  - a. Strategier for næringsutvikling og sysselsetting; regional utvikling, herunder av områder der vilkårene for turisme og friluftsliv vil bli vesentlig endret.
  - b. Planlegging og tilpassing av beredskapssystemer (kommunale og statlige).
  - c. Det fordelingsmessige perspektivet (regioners, sektorer og sosiale gruppers sårbarhet).
  - d. Det kulturelle perspektivet (sårbarhet for tap av kulturelle kjennetegn og estetiske verdier f.eks. i form av landskapstyper).
- 2 Studier av *ringvirkninger* i lokalsamfunn og storsamfunn av effekter av klimaendringer og tiltak både med hensyn til tilpasninger og utslippsreduksjoner. Dette gjelder f.eks. med tanke på hvordan effekter i enkeltsektorer får konsekvenser for virksomhet i andre sektorer, og for demografi og sysselsetting generelt.
- 3 Studier av hvordan *klimaendringer internasjonalt* kan påvirke det norske samfunn, f.eks. via handelsmønstre, flyktingestrømmer og turisme.

### **1.4. Overvåking og behovet for lange tidsserier**

Behovet for lange tidsserier, spesielt innenfor forskning på effekter av klimaendringer på biologiske systemer, er udiskutabel. I mange tilfelle vil det ikke være mulig å framskaffe kunnskap om effekter av klimaendringer uten slike dataserier, eller å skille mellom naturlige variasjoner og antropogen påvirkning. Arbeidsgruppen fremhever derfor behovet for innsamling og systematisering av lange observasjonsserier. Det bør satses på god samkjøring mellom overvåking og forskning. Mye av den beste forskning som har blitt gjort av norske forskningsmiljøer på klimaeffekter baserer seg på analyser av lange tidsserier fra overvåkningsprogrammer. Denne typen forskning kunne ha blitt gjort enda mer slagkraftig hvis forskere hadde vært involvert

sterkere i valg av indikatorer, i designet av overvåkningsprogrammene og i datainn-samlingen. Indikatorer kan være enkelt-arter, samfunn av arter, eller prosesser i øko-systemet.

## 1.5. Ressursbehov

Gruppen er blitt bedt om å anslå ressursbehov for den forskning som er skissert ovenfor. På skjønsmessig basis foreslår vi et samlet omfang på 100 millioner kroner pr. år og en omtrentlig fordeling som vist i Tabell 1. Tallene er å forstå som ønskelig nivå på støtte til forskningen på lang sikt; innfasingen vil nødvendigvis ta noe tid. Videre har vi ikke korrigert for allerede igangsatt aktivitet, jf. kap. 5.

**Tabell 1. Anslått støttebehov på årlig basis. Millioner kroner**

<b>Pilar 1: Målrettet grunnlagsforskning</b>		<b>30</b>
	Økosystemers respons på klimaendringer	20
	Konseptuelle og kvantitative modeller for analyser av samfunnmessige konsekvenser av klimaendringer	10
<b>Pilar 2: Sektorperspektivet</b>		<b>55</b>
	Fiskeri	15
	Skogbruk	10
	Jordbruk og reindrift	10
	Samferdsel og infrastruktur	10
	Energi	10
<b>Pilar 3: Regionalt samfunnsperspektiv</b>		<b>15</b>
	Metodeutvikling	5
	Ringvirkninger	5
	Internasjonalt perspektiv	5
<b>I alt</b>		<b>100</b>

## 2. Hvorfor effektforskning?

FNs klimapanel (IPCC) har i sin tredje hovedrapport lagt fram ny og sterkere dokumentasjon på at menneskelig aktivitet er den vesentligste årsaken til den globale oppvarmingen vi har sett de siste 50 årene. Klimapanelet skriver at oppvarmingen vi har sett på 1900-tallet trolig er den største i noe århundre på de siste 1000 år for den nordlige halvkule, og det er sannsynlig at 1990-tallet har vært det varmeste tiåret i denne perioden. Klimapanelet anslår videre en økning i den globale gjennomsnittstemperaturen på mellom ca. 1,4 og 5,8 °C i løpet av de neste 100 årene. Dette vil i så fall være den raskeste økningen i middeltemperaturen på 10.000 år og gi den høyeste globale middeltemperaturen på 150.000 år. Det er sannsynlig at oppvarmingen over de fleste landområder, spesielt områder på høye breddegrader om vinteren, vil være enda større enn den forventede globale gjennomsnittlige oppvarmingen. Samtidig vil i følge IPCC temperaturøkningen kunne føre til en heving av havnivået med 8 – 90 cm, og til endringer i nedbørsmønstre og vindsystemer.

Klimagassenes levetid i atmosfæren og tregheter i systemene som regulerer temperatur og andre klimaparameterne på jorda, gjør at vi, uansett hva vi måtte gjøre med klimagassutslippene framover, vil oppleve klimaendringer de kommende tiårene. Dette innebærer at de ulike biotiske og abiotiske systemene i framtiden vil stå overfor endringer i en del faktorer som har betydning for deres funksjon. Dette vil igjen kunne medføre samfunnsmessige konsekvenser og behov for tilpasningstiltak.

Studier av mulige konsekvenser av klimaendringer i Norge har fram til nå vært fragmentert og av relativt beskjedent omfang. I forbindelse med utarbeidelsen av en interdepartemental rapport om effekter av klimaendringer i Norge tidlig på nittitallet ble det igangsatt noe forskningsaktivitet innen feltet, men ett tiår senere er helhetlige og omfattende studier av klimaeffekter i Norge fortsatt mangelvare. De fleste studiene som er utført til nå gjelder effekter på enkeltarter og smalere økosystemforskning. Det foreligger også eksempler på sektorstudier innenfor landbruk, havbruk, energi-produksjon og turisme. En del kunnskap er framkommet om kvalitative sammenhenger mellom klima og økosystemers funksjon, men kvantitative og integrerte modeller er i liten grad blitt utviklet. Videre har vi per i dag liten eller ingen kunnskap om hvordan det norske samfunn vil påvirkes av klimaendringer med hensyn til direkte økonomiske effekter og indirekte økonomiske ringvirkninger og fordelings-effekter.

### 2.1. Sårbare økosystemer - robust samfunn?

Som et land beliggende langt mot nord, begunstiget med et langt mildere klima enn andre land på samme breddegrader, vil Norge være spesielt utsatt ved markerte endringer i den Nord-Atlantiske strømmen. I den tredje hovedrapporten fra FNs klimapanel (IPCC) slås det fast at sannsynligheten for en betydelig svekkelse av strømmen er liten innenfor et kortere tidsperspektiv, men muligheten for raske, dramatiske klimaendringer i Norge som følge av slike endringer kan ikke helt utelukkes på lengre sikt.

Foreliggende scenarier fra RegClim påpeker likevel muligheter for betydelige endringer i temperatur-, nedbørs- og vindforhold i løpet av de kommende 50 år. Når det gjelder de naturlige økosystemene som er representert i våre områder, er disse i

mange tilfeller i sine klimatiske betingete marginalområder. Det er dermed grunn til å anta at klimaendringer vil ha konsekvenser for arts mangfold og landskap. Spesielt er alpine og arktiske økosystemer sårbare, men også de akvatiske økosystemene og skogøkosystemene vil kunne endres betydelig, med påfølgende konsekvenser for ressursgrunnlag, næringsliv og rekreasjon. De store usikkerhetene i foreliggende klimascenarier bør ikke være til hinder for studier av hva disse konsekvensene vil kunne bestå i. Snarere er det viktig å utvikle effektforskningen slik at denne kan gi innspill til scenariebyggerne. Dermed vil klimascenariene i større grad enn i dag gi klimaparametere med en romlig og temporær oppløsning relevant for effektforskning innen de ulike områder, og bedre grunnlaget for kunnskap om hvordan klimaendringer vil påvirke det norske samfunnet som helhet.

Sammenliknet med f.eks. fattige utviklingsland, er det likevel flere grunner til at Norge som samfunn ikke kan betegnes som spesielt sårbart overfor klimaendringer. Den første og mest åpenbare grunnen er at vi er ett av de rikeste land i verden. Med et slikt utgangspunkt er det sannsynlig at vi har kapasitet til å tilpasse oss klimaendringer og, om mulig, dra positiv nytte av dem. For det andre har vi en bratt kystlinje som er lite fysisk sårbar for havnivåstigning og økt bølgepåvirkning. For det tredje, som en funksjon av langvarig demokratisk styresett og høyt velstandsnivå, har Norge en relativt homogen sosial struktur og det er trolig få og små grupper som vil ha særlig høy sårbarhet for klimaendringer. Effekter av ekstreme vær-situasjoner vil sannsynligvis også være mindre i et land som Norge hvor befolkningstettheten er lav. Norge fremstår derfor samlet som et rimelig robust samfunn innenfor et tidsperspektiv på for eksempel 50 år, men med en sårbar økologi og enkelte sårbare grupper av mennesker. De samlede virkningene av klimaendringene vil bli bestemt i samvirke mellom disse forholdene.

## **2.2. Det globale perspektivet**

Det er de fattigste deler av verdens befolkning som vil bli rammet hardest av klimaendringer. Hvordan konsekvensene vil manifestere seg i ulike land er usikkert, men det er grunn til å tro at mange utviklingsland og lavtliggende øysamfunn er de som er mest sårbare overfor økt temperatur, havnivåstigning og endrete nedbørsmønstre. På liknende måte som med andre miljøproblemer, er fattigdom, gjerne kombinert med manglende demokratisk styresett og manglende institusjonell kapasitet til å iverksette mottiltak, en viktig årsak til høy sårbarhet.

Tradisjonelt er klimaendringer blitt sett på som et globalt miljøproblem, mens fattigdom er sett på som et lokalt utviklingsproblem. Miljøforskningen har i økende grad fokusert på at miljø og utvikling er nært knyttet opp mot hverandre, og at natur og samfunn virker nært på hverandre i en kompleks vekselvirkning. Dette betyr at globale klimaendringer vil gi svært forskjellige utslag i de ulike lokalsamfunn. Dette vil gjelde selv om endringene ville være relativt like i ulike deler av verden, hvilket de jo langt fra vil bli. Dette understreker også det faktum at det ikke er mulig å se effekter av klimaendringer isolert fra andre miljøproblemer og hvordan samfunnene er i stand til å møte disse. Miljøproblemer som er gjenstand for separate internasjonale konvensjoner, slik som klimaendringer, biologisk mangfold, ozonlagsnedbrytning og forørkning, må på lokalt plan og innad i nasjonene takles på en helhetlig måte.

Som en liten nasjon med en åpen økonomi, sterkt avhengig av inntekter fra olje- og gassvirksomhet, er det mulig at konsekvenser av klimaendringer og klimapolitikk i global skala vil ha langt større effekter på Norge som nasjon enn klimaeffektene som sådan. Dermed blir det også en oppgave for norsk effektforskning å bidra med kunnskap om hvordan effekter av klimaendringer vil manifestere seg i ulike deler av verden og hvordan effekter av klimaendringer i et internasjonalt perspektiv vil kunne påvirke Norge, f.eks. via parametere som handel og internasjonal sosial og politisk stabilitet.

### **2.3. Effektforskning som underlag for klimapolitikken**

Kunnskap om omfang og styrke av konsekvensene av klimaendringer er nødvendig for å sikre at *klimapolitikken* utformes på måter som gjør at den får oppslutning og legitimitet i befolkningen, og for å legge til rette for en *tilpasningsstrategi* fra samfunnets side. Dette er prosesser som vil styres både av kunnskap, sosiale normer og ideologi. Ikke minst er det avhengig av hvordan *kunnskap* om klimaendringer og deres samfunnsmessige konsekvenser formidles mellom kunnskapsproduzentene (vitenskap/ekspertise), de som utformer politikken og de som utsettes for den.

Problemdefinisjon, -fokus og angivelse av rommet for løsninger vil være avhengig av aktørers ståsted og rolle. Kunnskap om klimaendringers omfang og mulige konsekvenser nedfelles ikke automatisk i utforming av ny politikk. Den nedfelles heller ikke automatisk som ny forståelse eller erkjennelse i befolkningen, særlig ikke om kunnskapen - og ikke minst forslagene til løsninger - oppfattes som trusler mot levekår, innarbeidet livsstil og/eller forbruksmønster.

Politiske tiltak er avhengig av *legitimitet* i befolkningen. Det er åpenbare grenser for hvor langt det politiske systemet, i alle fall i et demokrati av norsk type, kan utfordre befolkningen med vedtak om klimapolitiske tiltak som i vesentlig grad vil påvirke folks livssituasjon. Den politiske belastningen vil være større jo større den kunnskapsmessige usikkerheten er med hensyn til både klimaproblemet generelt og effekter for Norges del spesielt. Det er videre grunn til å anta at det kan oppstå et konkurranseforhold mellom tilpasningstiltak og utslippsreducerende tiltak.

### **2.4. Hvem har behov for effektforskning?**

Ulike segmenter i samfunnet vil ha dels sammenfallende og dels egne behov for kunnskap om klimaendringer for å legge strategier for tilpasningstiltak. F.eks. vil forvaltningen ha behov for gode indikatorer som gjør det mulig å overvåke utviklingen med hensyn til klimaendringer. Effektforskning er videre en nødvendig basis for å sikre en bærekraftig utnyttelse av naturressursene og derigjennom muligheter for å realisere fortsatt verdiskapning innen de ulike næringene. Både innen offentlig sektor og i det private næringsliv vil en trenge scenarier som basis for beslutninger om framtidige investeringer og satsningsområder.

De mange kunnskapshullene med hensyn til effektforskning er en funksjon av mangelfull satsing på dette feltet til nå, men er også knyttet til at dette er et relativt nytt forskningsområde. Dette nødvendiggjør at en anlegger et langsiktig perspektiv på en slik innsats og at en i en første periode bør ha et rikt utvalg av problemstillinger. Uten å kjenne alle de viktigste biofysiske konsekvenser av klimaendringer, står en



dårlig rustet til å vurdere de samfunnsmessige konsekvensene. Også den innebygde usikkerheten i klimaproblemet og samfunnsutviklingen framover gjør at det beste vi kan håpe på er å beskrive et rimelig utgangspunkt for forskningsmessige prioriteringer som så må evalueres med jevne mellomrom.

Vi tar utgangspunkt i tre ulike grupper som kan tenkes å ha behov for effektforskning:

- Lokalsamfunn rundt om i Norge trenger et kunnskapsgrunnlag for å planlegge tilpasning til klimaendringer. Dette kan f.eks. skje ved fornuftig plassering av nye boligfelt, industriområder eller offentlige bygninger til barnehager, skoler, o.l. Det kan også være behov for å sikre veier, havner og annen samferdselsstruktur. Mer utfordrende, men ikke mindre viktig, er det å danne seg en formening om forutsetningene for næringsvirksomhet i lokalsamfunnet og hvordan denne kan bli påvirket av klimaendringer. For et lokalsamfunn er det totaliteten av effektene som spiller størst rolle. I dette regionale perspektivet er det derfor ikke først og fremst hvert fenomen som er av betydning, selv om disse i seg selv kan bli alvorlige nok, men samspillet mellom dem og hvordan samfunnet selv best kan forberede seg på omstilling.
- Andre grupper er knyttet til samfunnssektorer som enten er avhengig av eller forvalter spesielle interesser. Her er det snakk om virkninger av endringer på sektorer – både samlede effekter og variasjoner som følge ulike vilkår for aktiviteten i ulike deler av landet. Både fiskeri- og jordbrukssektoren vil for eksempel ha behov for kunnskap om hvordan vilkårene for virksomheten endres over tid. Tilsvarende for andre primærnæringer som fangst og skogbruk og tertiærnæringer som samferdsel og turisme.
- En tredje gruppe er forskersamfunnet selv. Hvordan virker mekanismene i naturen under endrete klimatiske rammevilkår? Hva skjer med den enkelte art når klimaet endres og hvordan påvirker dette økosystemet? Dette er kunnskap som ofte vil være en forutsetning for å kunne svare på de øvrige gruppens forskningsbehov, og som sådan vil kunne avledes fra disse behovene. Kunnskapen har blant annet betydning for artsvernet, dvs. samfunnets behov for kunnskap som grunnlag for vern av naturlige økosystemer, og for forståelsen av biologiske og geo-kjemiske prosesser som basis for studier relatert til punktene ovenfor. Det er imidlertid grunn til å minne om at den virkelige banebrytende forskningen ofte er forsker initiert og bare sjeldent springer ut av ”bestillingsprosjekter” med et kortsiktig nytteaspekt. Det er derfor viktig å erkjenne den rene nygjerrighet som en viktig drivkraft bak god forskning, også innenfor rammen av et nytteorientert program. Det bør imidlertid påpekes at det ligger klare fordeler i samordning av den mer grunnleggende forskningen og at det er viktig at denne aktiviteten fokuseres spesielt tungt i en innledende fase.

I det følgende vil vi først drøfte noen perspektiver, begreper, definisjoner og avgrensninger knyttet til effektforskning før vi går igjennom de områder der vi mener det ut ifra dagens situasjon er behov for økt kunnskap med tanke på biofysiske, økonomiske, sosiale og kulturelle konsekvenser. Hvorvidt vi vurderer temaene som forskbare, og i hvilken grad kunnskapsgrunnlaget kan økes via mer utredningspreget aktivitet, vil bli drøftet underveis.

### 3. Definisjoner, begreper, perspektiver og avgrensninger

#### 3.1. Effekter og sårbarhet

Studier av virkninger av klimaendringer har som naturlig utgangspunkt scenarier for endringer i klimavariabler som temperatur, nedbør og vind, samt scenarier for endringer i havnivået. Endret fordeling av klimavariablene over døgnet og sesonger vil kunne gi endringer i hyppighet, styrke og utbredelse av situasjoner med "ekstremvær", som stormer, ekstrem tørke og ekstrem nedbør. Situasjoner med ekstremvær kan medføre flom, ras, stormflo, stor bølgehøyde o.l. med potensiale for skader for samfunnet. Endringer i klimaet - "gjennomsnittsværet" - kan videre bidra til at terskelen for at slike hendelser kan senkes, slik at hyppigheten av ekstremvær øker.

Endringer i klima vil ha kortsiktige så vel som langsiktige konsekvenser på økosystemer, både terrestriske og akvatiske, dels ved at arter kan forsvinne og dels ved at nye arter dukker opp. Atter andre tilstedeværende arter kan få nye funksjoner i økosystemene med store økologiske og økonomiske konsekvenser, f. eks. som skadedyr-organismer på jord og skogbruk. Forskyvning av den geografiske utbredelsen av økosystemer kan føre til store endringer i områder som i dag ligger i randsonen for dagens utbredelse - biomen. Slike endringer vil også kunne ha konsekvenser for samfunnet på ulike vis. Dels vil produktiviteten av naturressursgrunnlaget i en region kunne endres, dels vil opplevelses- og rekreasjonsverdien av naturmiljøet bli annerledes.

Norge er et langstrakt land med store klimatiske variasjoner mellom landsdeler og årstider. Denne variasjonen mellom nord og sør, kyst og innland, og ulike topografier vil også gjøre seg gjeldene ved klimaendringer. For å fange opp de potensielt store variasjonene i *biofysisk sårbarhet* vil det bli nødvendig med studier med "høy oppløselighet", i lokal/regional skala. F.eks. kan en si lite om konsekvenser av økt skred- og rasfare for veisektoren dersom en ikke kjenner relativt nøyaktig til i hvilken grad veier er lokalisert der hvor skred- og rasfaren øker. Hvilke konsekvenser en kan forvente av et gitt scenario for havnivåstigning og økt høyde på stormflo i et område vil være avhengig av kystlinjens utforming og egenskaper akkurat der.

I 1997 ble forskningsprosjektet RegClim initiert for å utarbeide detaljerte klimascenarier for våre områder. RegClims analyser gjør det mulig å studere konsekvenser for ulike årstider og regioner. Scenariene kan gi informasjon om snødekke, sesonglengde, nedbørsintensitet, minimums- og maksimumstemperaturer, første og siste døgn med frost osv. for ulike områder i Norge. Det er denne typen informasjon (klimaindikatorer), samt informasjon om forholdene i havet (jf. forskningsprosjektet NoClim) som vil være basis for å analysere biofysiske og sosioøkonomiske konsekvenser av klimaendringer.

Selv om biofysisk sårbarhet er indikert for et område og for en næring, er det ikke sikkert klimaendringer nødvendigvis vil få stor samfunnsmessig betydning. Dette avhenger av i hvilken grad det er muligheter for å tilpasse seg endringene, noe som

igjen avhenger av den *sosiale sårbarheten* i samfunnet. Igjen er det slik at denne kan variere betydelig, både mellom geografiske regioner og mellom sosiale grupper.

Et sentralt tema for forskning omkring mulige framtidige virkninger av og tilpasninger til klimaendringer, vil være å identifisere områder og grupper med høy risiko, i den forstand at en har indikasjoner både på biofysisk og sosial sårbarhet. På samme måte som en slik kan identifisere *tapere*, vil en også kunne identifisere mulige *vinnere* i forhold til mulige klimaendringer.

#### *Sårbarhet:*

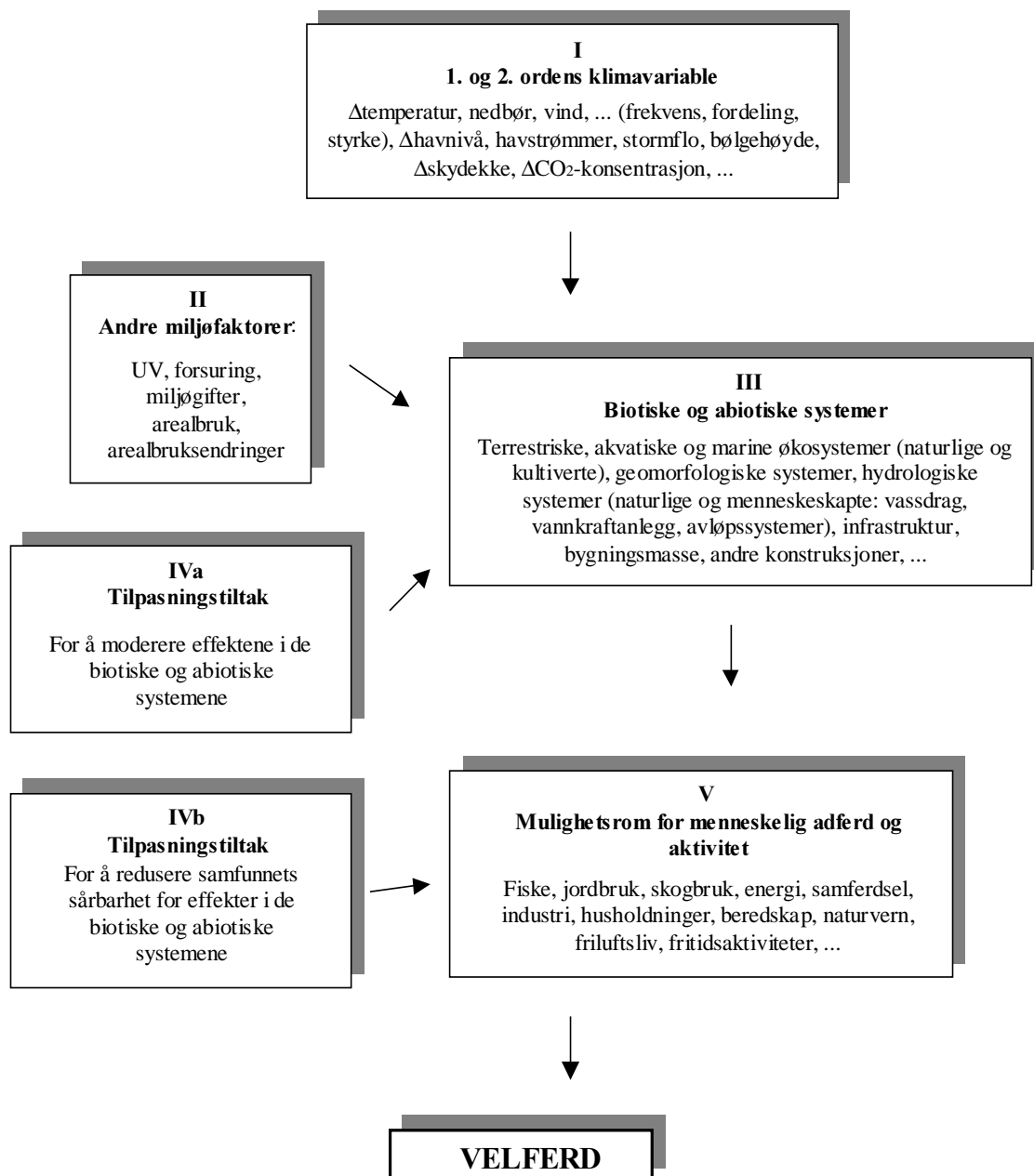
Sårbarhet kan defineres som en tilstand der subjektet lett kan bli skadet eller påvirket av et objekt eller en hendelse. Biofysisk sårbarhet refererer til de biotiske og abiotiske systemenes fysiske tilstand og i hvilken grad systemet er tilbøyelig til å påvirkes negativt av klimaendringer. Den biofysiske sårbarheten er en funksjon av hvordan systemet eksponeres for klimaendringer, i hvilken grad klimafaktorer har betydning for prosessene i systemet og hvilken evne systemet har til å tilpasse seg disse ytre endringene uten å endre funksjon. F.eks. vil høyfjellsarter betegnes som biofysisk sårbare ved temperaturøkning dersom de ikke kan vandre i høyden. Mennesker som lever i utsatte kystområder eller i rasutsatte områder vil kunne karakteriseres som sårbare i biofysisk forstand. Mens begrepet biofysisk sårbarhet relaterer seg til systemene, egentlig uavhengig av om menneske og samfunn påvirkes eller ikke, er begrepet sosial sårbarhet et antroposentrisk begrep. Sosial sårbarhet refererer til de politiske, sosiale og økonomiske forholdene i samfunnet, og hvordan disse forholdene kan føre til manglende evne til tilpasninger. Sosial sårbarhet er en funksjon av hvilke effekter som faktisk kan opptre (en funksjon av den biofysiske sårbarheten) og menneskers og samfunnets tilpasningsevne. Høy evne til tilpasning kan enten hindre de biofysiske effektene å opptre i utgangspunktet eller gjøre at effektene får mindre negative effekter på menneske og samfunn. Generelt kan lokalsamfunn som f.eks. er svært avhengig av én næringssektor, har høy generell arbeidsledighet, eller opplever store demografiske endringer karakteriseres som sosialt sårbare. Sosial sårbarhet er et dynamisk begrep, da den vil kunne endres som følge av f.eks. miljømessige, økonomiske og sosiale endringer. Innenfor begrepet sosial sårbarhet ligger det også en viktig distinksjon mellom individuell og kollektiv sårbarhet.

## **3.2. Effektkjeden som tilnærming til beskrivelse av effektforskning**

I det følgende skisseres én mulig konseptuell tilnærming til spørsmålet om hva effektforskning dreier seg om. Vi har tatt utgangspunkt i en *effektkjede* for *biotiske og abiotiske systemer* (se Fig. 1).

### **3.2.1. Effekter på biotiske og abiotiske systemer**

Utgangspunktet er alternative framskrivninger av endringer i klimavariabel som framkommer via modellstudier (boks I i Fig. 1). Dette er 1. ordens klimavariabel som endringer i temperatur, nedbør og vind, og 2. ordens klimavariabel som endringer i havstrømmer, havnivå og isforhold. Forskning omkring klimavariablene ligger utenfor det som arbeidsgruppen tolker at den skal fokusere på, men er selvfølgelig likevel en integrert del av forskningen i den forstand at klimascenarier i mange tilfeller vil



**Figur 1 Effektkjeden: Fra 1. og 2. ordens klimaendringer til de samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringene.**

være den 'uavhengige variabelen' i effektforskningen innenfor boks III i figuren<sup>1</sup>. Dette leddet er imidlertid ikke en nødvendig forutsetning for effektstudier; i mange tilfeller vil metodikken og analysene være uavhengige av foreliggende scenarier for klimaendringer.

<sup>1</sup> Det er av avgjørende betydning for effektforskningen at det utvikles et sett med nasjonale scenarier for både land- og havklima. Særlig havklimascenarier er dårlig utviklet og tildels dårlig fundert til nå. Scenariene bør være basert på modeller med støtte i paleoklimatisk kunnskap. Beskrivelse av mulige ekstremhendelser må inngå i et slikt sett av scenarier. Det må sikres tett samarbeide mellom de som skal bruke scenariene og de som lager dem. En manglende kontakt mellom de ulike miljøene, scenariebyggerne og effektforskerne, vil medføre liten effektivitet i forskningen og tapte muligheter for ny kunnskap.

Med biotiske og abiotiske systemer mener vi fysiske/biologiske systemer av alle slag som kan tenkes å bli påvirket av klimaendringer (boks III i Fig 1). Uønskede effekter av klimaendringer på ulike biotiske og abiotiske systemer - at boliger oversvømmes, avløpssystemer kollapser, jordbruksproduksjonen går ned, fiske slår feil, oppdrettsanlegget havarerer, skisentere må stenge etc. - opptrer i det øyeblikk tilpasninger (fra naturens eller menneskets side) enten ikke er mulig eller ikke lykkes.

Motstandsdyktighet og tilpasningsevne avhenger igjen av hva en kan kalle systemets 'bufiringsevne', dvs. systemets evne til å opprettholde stabilitet på tross av endringer i ytre rammebetingelser. For mange typer systemer er det visse *terskler* for når systemet enten bryter sammen eller endrer avgjørende karakter. Det er også av betydning hvilken evne de ulike systemene har til å gjenvinne stabilitet dersom forstyrrelsene i de ytre rammebetingelsene opphører. Systemers motstandsdyktighet og 'bufiringsevne' kan i høy grad være avhengig av menneskelig påvirkning som enten reduserer eller forhøyer terskelen for når og i hvilken grad klimaendringer påvirker systemet (boks II i Fig. 1). Også andre miljøfaktorer kan påvirke systemenes respons på klimaendringer, som regel i negativ retning. Videre vil tilpasningstiltak fra samfunnets side (boks IVa i Fig. 1) også i høy grad kunne påvirke motstandsdyktighet og 'bufiringsevne' i ulike systemer, f.eks. ved at de begrenser i hvilken grad systemene eksponeres.

For enkelte av de biotiske og abiotiske systemene er det grunn til å tro at de største effektene av klimaendringer for Norges del vil opptre via endringer i forekomsten av ekstreme vær-situasjoner, og at langsomme endringer i "middelværet" vil få mindre alvorlige konsekvenser. Eksempler på slike systemer kan være geomorfologiske systemer, som leirområder som er svært stabile inntil nedbørsmengdene når en viss terskel. Likeledes vil ekstremvær være viktigst i forbindelse med skader på infrastruktur og bygningsmasse. For de hydrologiske systemene kan ekstremvær ha store effekter, men her vil også endringer i middelverdier, nedbørsmengde og -form, kunne få betydelige konsekvenser i det lange løp. Når det gjelder de naturlige økosystemene vil sannsynligvis de langsomme endringer i middelverdier kunne få størst konsekvenser. For skog- og jordbruksproduksjonen er det opplagt at økt frekvens av ekstremvær i form av ekstrem vind, nedbør eller tørke vil kunne ha konsekvenser.

### **3.2.2. Konsekvenser for mennesker og samfunn**

De biotiske og abiotiske systemene utgjør rammebetingelser for menneskelig aktivitet og adferd i vid forstand. Studier av de samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer befatter seg bl.a. med *mulighetsrommet* for å drive ulike typer næringsvirksomhet, men også hvilke muligheter samfunnet har til å opprettholde og fremme verdier utover de som er av mer økonomisk karakter (boks IV i figur 1). Dette er f.eks. mulighetene for å drive forskjellige former for friluftsliv (jakt og fiske, skisport m.m.), mulighetene for å bevare biodiversitet og landskapstyper, og mulighetene for ulike grupper av befolkningen (f.eks. samer) til å opprettholde sitt næringsmessige og kulturelle særpreg. Studier av de samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer tar for seg den kjede av ringvirkninger som de biofysiske effektene og tilpasningene for å hindre eller dempe disse medfører, og omfatter f.eks. inntektsendringer, arbeidsmarkedeffekter, endringer i næringsstruktur, demografiske effekter, preferanseendringer hos konsumenter etc. Slike studier vil selvfølgelig også måtte ta hensyn til andre rammebetingelser som ligger utenfor det som direkte er knyttet til

klimaendringer, inkludert annen nasjonal og internasjonal miljøpolitikk og konsekvenser av denne.

Selv om endringer i biotiske og abiotiske systemer i mange tilfeller vil være den uavhengige variabelen i effektstudier innenfor denne 'boksen', kan metodikken og analysene være uavhengige av hva en har av scenarier for endringer i systemene, slik en ser f.eks. i en del sårbarhetsstudier. Et viktig element i forskning om de samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer vil være hvilke valgmuligheter samfunnet har med tanke på styring og organisering i forbindelse med tilpasning til klimaendringer (boks IVb). Tilpasninger til klimaendringer vil i utgangspunktet være både planmessige tilpasninger og spontane tilpasninger fra berørte grupper/næringer, og vil sannsynligvis kunne representere kraftige tilbakevirkningsmekanismer (feed-back) i Fig. 1. ved at de totale velferdsmessige konsekvensene modereres.

Den geografiske og sosiale dimensjonen vil være fremtredende i studier av de samfunnsmessige konsekvensene av klimaendringer. Økonomisk evne til tilpasning kan være variere fra region til region og mellom ulike sosiale lag, og slik føre til fordelingsmessige konsekvenser. I tillegg til fordelingsmessige konsekvenser for dagens befolkning, kan det oppstå generasjonsmessige fordelingskonsekvenser. Tilpasningstiltak vil langt på vei måtte betales av dagens generasjon mens nytten høstes av fremtidige generasjoner. Omvendt vil kostnadene ved ikke å iverksette tiltak bli overført kommende generasjoner. I hvilken grad tilpasningstiltak også har positive effekter i et kortere tidsperspektiv kan være avgjørende for hvilke tilpasninger som har størst sannsynlighet for å bli gjennomført.

Den politiske dimensjonen er sentral i denne sammenhengen fordi *institusjonell kapasitet* på de ulike nivåene i samfunnet vil være avgjørende for tilpasningsevnen. I hvilken grad grupper som anser seg for å være utsatt i forbindelse med klimaendringer har en slik posisjon i beslutningsprosessene at de har innflytelse på tilpasningstiltak er av avgjørende betydning for faktisk tilpasning. Dette har bl.a. betydning for hvorvidt tilpasningstiltak vil være planlagte føre-vår tiltak eller i større grad spontane tilpasninger etter hvert som klimaendringene manifesterer seg.

I tillegg til studier innenfor et samfunnsøkonomisk, sosiologisk og statsvitenskapelig perspektiv, kan en også tenke seg en individuell, psykologisk dimensjon i effektforskningen som kan være viktig i forhold til hvordan tilpasninger til klimaendringer vil foregå. Dette kan være knyttet til belastning ved å leve i flomutsatte områder og terskler for når en velger å flytte, angst i forhold til økt frekvens og styrke på stormer, depresjoner ved regntunge sommere etc., og vil i mange tilfeller være relevant for det vi har kalt spontane tilpasninger.

De samfunnsmessige konsekvensene innenfor de ulike perspektivene som er skissert vil påvirke samfunnets samlede velferd, siste boks i Fig. 1. Det vil selvfølgelig aldri finnes noen enkel og omforenet metode for å beregne størrelsesordenen av velferdsendringene knyttet til klimaendringer. Vurderingen av alvorlighetsgraden av de enkelte typer effekter avhenger av hvordan en velger å vektlegge de ulike aspekter. Et viktig redskap i vurderinger av velferdsendringer, der en forsøker å følge hele effektkjeden, er sensitivitetsanalyser, hvor en tester hvordan ulike antagelser og ulike metoder gir utslag på resultatene.

### 3.3. Kriterier for rangering av forskningsoppgaver

Ved identifisering og prioritering av forskningsoppgaver har gruppen lagt til grunn følgende prioriteringskriterier hentet fra Strategisk plan for Miljø- og utviklingsforskning (1996):

*Forutsetninger:*

- At problemet er eller kan bli alvorlig. At kunnskapsmangel er identifisert og at problemet er forskbart.
- At forskning på temaet kan forventes å gi resultater innenfor en overskuelig tidsperiode og med en ressursbruk som står i forhold til problemets art og omfang.

*Relevans:*

- At forskningstemaene har relevans for viktige kunnskapsbehov og norske politiske mål i internasjonal og nasjonal sammenheng.
- At Norge har en spesiell stilling eller et spesielt ansvar ut fra politiske, økonomiske, kulturelle, geografiske, naturmessige eller ressursmessige forhold.

*Forskningskompetanse:*

- At det finnes spesielt sterk forskningskompetanse på temaet i Norge, slik at forskningen kan forventes å yte viktige bidrag til internasjonal kunnskapsutvikling.
- At forskningsfeltet er så sentralt at det bør bygges opp ny norsk kompetanse.

I tillegg til disse prioriteringskriteriene, har arbeidsgruppen lagt spesiell vekt på følgende kriterier ved rangering av forskningsoppgaver:

At effektene forskningen vil bidra til å belyse er av en slik art at:

- det er fare for at de kan gi store *samfunnsmessige konsekvenser*, spesielt med tanke på negative fordelingseffekter, og/eller endret mulighet til å opprettholde primærnæringsbasert bosetting i distriktene dersom de inntreffer;
- det er fare for store *irreversible* endringer i naturgrunnlag, herunder muligheten for opprettholdelse av biologisk mangfold og særegne kulturlandskap, dersom de inntreffer;
- det er *unike muligheter i Norge* for å belyse effektene på grunn av geografisk beliggenhet og landskapsmessige og økologiske særtrekk
- det er forhold som gjør at Norge har et *spesielt ansvar* for å frambringe kunnskap om effektene utfra forvaltningsmessige, regionale eller kulturelle særtrekk.

Videre mener gruppen det bør være et prioriteringskriterium at forskningen bidrar med kunnskap

- om forhold som har vesentlig betydning for samfunnsplanlegging, investeringer eller ressursforvaltning i dag eller i nær framtid (dvs. *tilpasningsrelevant* forskning)
- som frambringer gode *klimaindikatorer* som gjør det mulig for forvaltning og myndigheter å overvåke klimaendringer, inkludert effekter av klimaendringene, og kommunisere kunnskap om disse til allmennheten.

## 4. Sentrale forskningsbehov

### 4.1. Overordnede naturvitenskapelige forskningsbehov

#### 4.1.1. Strategiske utfordringer for økologisk klimaeffektforskning

Klimaets effekter på økosystemene skjer gjennom komplekse vekselvirkninger mellom de ulike artene og det fysiske miljøet. For å forutsi disse effektene må forskningen ha en økosystemtilnærming ved nettopp å fokusere på disse vekselvirkningene. Den forskningsrådsinitierte evalueringen av norsk biofaglig forskning konkluderte med at norsk økologi hadde en for snever tilnærming (ofte med isolerte studier på enkeltpopulasjoner) i forhold til de utfordringer man står ovenfor. Hvis forskningen på de biologiske effektene av klimaendringer skal bli slagkraftig må det gjøres et løft for *økosystemorientert* forskning.

Klimafaktorer påvirker økosystemene simultant med en rekke andre påvirkningsfaktorer som enten skyldes menneskelig aktivitet eller som har med økosystemenes egen iboende dynamikk å gjøre. Enkelte økosystemer styres av store naturlige fluktasjoner (f. eks. i nøkkelarters populasjonsdynamikk) som kan være drevet av normale biotiske prosesser innen systemene (f. eks. predator-byttedyrinteraksjoner). I tillegg kommer flere menneskeskapte påvirkningsfaktorer som høsting, forurensning og ulike former for arealbruk. Det er en viktig utfordring å kunne skjelne mellom endringer i økosystemene struktur og funksjon som skyldes klimaendringer, hva som skyldes biotiske prosesser og hva som skyldes (andre) menneskeskapte prosesser/påvirkninger. Disse utfordringene vil kreve detaljert basal kunnskap om økosystemene på ulike nivåer, deriblant tilpasningsmekanismer på individ- og populasjonsnivå.

I tillegg til at klima påvirker økosystemene, vil økosystemene påvirke klimaet, først og fremst gjennom effekter på karbon- og nitrogenkretsløpene i naturen. Disse effektene er det også viktig å forstå.

Videre må samspillet mellom overvåkning og forskning styrkes. Å påvise klimaendringer og effekter av disse er en viktig utfordring for overvåkningsprogrammer. Denne utfordringer krever at det satses på god samkjøring mellom overvåkning og forskning. Mye av den beste forskning som har blitt gjort av norske forskningsmiljøer på klimaeffekter baserer seg på analyser av lange tidsserier fra overvåkningsprogrammer. Denne typen forskning kunne ha blitt gjort enda med slagkraftig hvis forskere hadde vært involvert sterkere i valg av indikatorer, i designet av overvåkningsprogrammene og i datainnsamlingen. Indikatorer kan være enkeltarter, samfunn av arter, eller prosesser i økosystemet. Dette er et internasjonalt forskningstema som ikke har kommet særlig langt når det gjelder effekter av klimaendringer.

#### 4.1.2. Økologisk relevante klimaparametere

Nært knyttet til behovet for gode indikatorer for effekter av klimaendringer er behovet for å identifisere økologisk relevante klimaparametere (inkludert biologisk operative rom- og tidskalaer). Forskningen på effekter av klimaendringer bør gå hånd i hånd med den forskningen som har til hensikt å forutsi klimaendringer. Særlig viktig er det at økologisk forskning er med å legge premissene for hvilke aspekter ved



klimaet som skal predikteres. Klimaeffektforskningen er avhengig av at man har klimadata/prediksjoner som gir en god representasjon av de abiotiske miljøparametrene som økosystemer er mest sensitive for. Det er dessverre ofte slik at hverken klimadata eller prediksjoner fra klimamodeller har en adekvat oppløsning i forhold til hvilke rom- og tidskalaer økologiske mekanismer opererer innenfor (dvs. klimadata/prediksjoner har for liten oppløsning). En viktig oppgave for økologisk forskning er å identifisere hvilken skala i tid og rom ulike organismer/økosystemer responderer på variasjoner i klimaparametere. I mange tilfeller vil de primære klimaparametere virke på økosystemene gjennom avledede parametre. Slike avledede parametre er ennå ofte ikke identifisert. F.eks. vil påvirkningen av klimaparametere som temperatur og nedbør på biologiske prosesser i polare og alpine områder i stor grad skje indirekte gjennom kvalitative/kvantitative egenskaper til is og snø. Ny økologisk forskning kreves for å påvise de økologisk relevante egenskaper til snø og is. Slik forskning bør skje i nær dialog med geofysisk/hydrologisk kompetanse.

#### **4.1.3. Potensiale for spredning av nye organismer og deres effekter på økosystemene**

Klimaendringer kan raskt gi livsbetingelser for nye arter i våre nordlige økosystemer som kan føre til spredning og invasjon. Aktuelt i denne sammenheng er forskning som kan bidra til å forutsi slike ekspansjoner og med hvilken rate disse vil skje under ulike klimascenarier. Arter som invaderer økosystemer kan få funksjoner som næringsressurser, konkurrenter, parasitter/sykdomsagenter og predatorer for de stedege arter. Slike invasjoner kan føre til utryddelse/forflytning av lokale arter, de kan endre de naturlige økosystemenes struktur og funksjon, og de kan representere store problemer for næringer og helse. Spesielt nordlige marine og terrestre økosystemer som har en relativt enkelt struktur, kan være mer sensitive for slik artsinvasjoner enn mer sørlige og komplekse systemer. Med vår nordlige beliggenhet burde Norge ha et særlig ansvar for forskningen i disse økosystemene.

#### **4.1.4. Endringer i nøkkelarter og nøkkelartsfunksjoner**

Tematisk knyttet til problemet med artsinvasjoner er også arter som allerede nå er tilstede i økosystemene i lite antall og med liten virkning på de øvrige systemet, men som ved endrede klimabetingelser kan få rolle som nøkkelarter i systemet som konkurrenter, rovdyr eller sykdommer på andre arter i systemet. Slike nye nøkkelarter kan få betydelige effekter på natur, næring og velferd. Atter andre arter som i nåtid har nøkkelartsfunksjoner vil gjennom klimapåvirkninger kunne miste dette i fremtiden. Det er en viktig forskningsutfordring å forutsi slike endrede nøkkelartsforhold som følge av klimaendringer.

#### **4.1.5. Klimatisk betingede grensesoner mellom økosystemer (økotoner)**

Noen av de tidligste og mest betydelige effektene som en følge av klimaendringer vil skje i klimatiske betingede grensesoner mellom ulike økosystemer; f. eks. mellom skog og fjell, og skog og tundra. I enkelte slike grensesoner (økotoner) kan man finne egne økosystem f. eks. subalpin/subarktisk bjørkeskog. Slike grensesonesystemer vil kunne være truet av klimaendringene. Norge har en stor representasjon av slike økotoner og burde således ha et særskilt ansvar for forskningen på disse.

#### **4.1.6. Paleobiologiske problemstillinger**

Tidseriedata fra pågående og tidligere overvåkningsprogrammer vil naturligvis være av begrenset varighet, og kan derfor ikke uten videre kunne ekstrapoleres til å gjelde svært langsiktige responser i økosystemene eller utover det klimaregime som har regjert innen overvåkningsperioden. Viktig innsikt i hvordan økosystemene responderer på store og langsiktige klimasvingninger kan oppnås gjennom paleoøkologiske studier hvor sammensetningen av tidligere tiders økosystem rekonstrueres ved bruk av paleobiologiske teknikker. En satsing på økologisk klimaeffektforskning bør derfor også inkludere denne type forskning.

### **4.2. Overordnede samfunnsvitenskapelige forskningsbehov**

For å forstå de samfunnsmessige konsekvensene av klimaendringer er det behov for å utvikle mer helhetlige analyseverktøy som bl.a. belyser omfang og fordeling av sosio-økonomiske effekter og potensialet for tilpasninger, samt belyser institusjonelle forhold som påvirker effektene som sådan og muligheter for tilpasninger.

#### **4.2.1. Modeller for analyser av sosioøkonomisk sårbarhet i velferdsstaten**

Hittil har mange av de internasjonalt publiserte studiene av sosioøkonomisk sårbarhet for klimaendringer hatt fokus på utviklingsland. Dermed er også begreps- og modellapparatet i den internasjonale litteraturen ikke nødvendigvis anvendbart for problemstillinger knyttet til sårbarhet i land med høyt velferdsnivå og demokratisk styresett. Det er derfor et behov for å utvikle analyseverktøy, både i form av konseptuelle og kvantitative modeller, som kan anvendes i analyser av sårbarhet og tilpasningsevne i land som Norge. Slike verktøy må også kunne belyse hvordan institusjoner (politiske og andre) vil kunne respondere på effekter av klimaendringer, hva som er sannsynlige konsekvenser av denne responsen og hvorvidt responsen vil lette eller hemme tilpasninger.

Prioriterte forskningsoppgaver vil være å utvikle modeller for å analysere hvilke rolle *institusjoner* spiller i forhold til sosioøkonomisk sårbarhet og tilpasningsevne i samfunnet som helhet. Det er behov for studier av hva som utgjør de viktigste determinanter for sårbarhet og tilpasningsevne i et land som Norge og hvordan gitte maktforhold kan svekke eller styrke sårbarhet og tilpasningsevne i ulike segmenter av samfunnet. Det er også relevant å studere hvor sterke insentiv ulike aktører har for å tilpasse seg effekter av klimaendringer, f.eks. i forhold til tilgang på forsikrings- og støtteordninger.

Det er videre en sentral forskningsoppgave å analysere hvordan klimaendringer og klimaeffekter i global skala vil kunne påvirke det norske samfunn, via f.eks. parametere som handel og internasjonal sosial og politisk stabilitet.

#### **4.2.2. Konsekvenser av klimaendringer for demografi, næringsvirksomhet og kulturell identitet**

Endringer i klima vil ha betydning for næringsstruktur, bosettingsmønster og flyttestrømmer, både permanent og i forhold til områders bruk og betydning som natur- og kulturlandskap og for turisme, rekreasjon og friluftsliv.

Den regionale, sosioøkonomiske og demografiske fordelingen av effekter og konsekvenser vil være sentrale problemstillinger i studier av samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer. Viktigste i denne sammenheng er mulige endringer i forutsetningene for ressursbasert næringsvirksomhet generelt (skogbruk, jordbruk, fiske/oppdrett), og særlig utsatte eller sårbare geografiske områder spesielt. Det er derfor behov for nær kobling til mer naturvitenskapelige studiene med hensyn til de ulike biotiske og abiotiske systemene. Men også indirekte/avledede effekter kan få store konsekvenser for enkelte næringer (energi, transport, turisme) og for samfunnsmessig infrastruktur.

Direkte økonomiske effekter av klimaendringer kan være at vekstvilkårene for eksisterende og nye arter endres, eller at vinterens/sommeren lengde påvirker turist-sesongen. Her er det imidlertid viktig å være klar over sammenhengen mellom de fysiske forutsetningene for endret næringsstruktur og de økonomiske og politiske forutsetningene for lønnsom produksjon. Det kan tenkes situasjoner hvor de fysiske forhold for endret produksjon er til stede, men hvor utfordringen ligger i å utforme de samfunnsmessige og politiske vilkår for å tilpasse seg ny produksjon. Dette vil være et sentralt forskningsfelt, f.eks. ved en tilnærming gjennom utvikling av alternative scenarier, som også vil kunne illustrere den betydelige underliggende usikkerheten i klimaendringenes omfang og virkning .

Kulturell og etnisk identitet kan være nært knyttet til natur og ressursgrunnlag. For noen befolkningsgrupper er dette mer uttalt enn for andre. En særlig aktuell forskningsoppgave vil være å belyse situasjonen for samene og reindriftsnæringen, hvor det bør legges til rette for et nordisk tverrfaglig samarbeid på tvers av sameland i Norge, Sverige og Finland. For Norges del er det indikasjoner på at ressursgrunnlaget for reindriftssamene i Finnmark vil kunne bli betydelig endret i forbindelse med klimaendringer (snømengder, isdannelse). Slik det er gjort studier av konsekvenser av klimaendringer for urbefolkninger f.eks. i arktiske deler av Canada, er det behov for studier som belyser reindriftssamenes situasjon under et endret klimaregime.

### **4.3. Sektormessige forskningsbehov**

#### **4.3.1. Fiskeri og havbruk**

Det er mange klimaparametere som er av betydning for de marine økosystemer. Endringer i middeltemperaturen sammen med endringer i maksimums- og minimumstemperaturen er de parametere som er mest sentrale, men endrete lysforhold og turbulens er andre sentrale faktorer. I fjorder vil endret saltholdighet få betydning for stabilitet og sirkulasjon. Aller størst betydning vil likevel endringer i de storstilte havstrømmene få.

Klimaendringer kan berøre marine økosystemer på en rekke områder, f.eks. via effekter på populasjonsparameter hos fisk, effekter på planktonproduksjon, endringer i biodiversitet, effekter på havbruk, og effekter på sjøpattedyr. Med hensyn til eventuelle endringer i utbredelse av marine arter er scenarier for endringer i *fronter i havet* av vesentlig betydning. Innen flere av de nevnte områdene har det foregått forskning i mange år. Imidlertid har mye av forskningen så langt gitt stort sett kvalitative og få kvantitative resultater. Prioriterte forskningsoppgaver per i dag er:

#### 4.3.1.1. *Etablering av kvantitative økosystemmodeller*

Relasjoner som eksisterer mellom klimaparametere og populasjonsparametere hos kommersielt viktige fiskeslag må kvantifiseres for så å benyttes i ressursforvaltningen. Det må etableres relasjoner som kan benyttes direkte i bestandsestimater og som er troverdige internasjonalt.

Det har lenge vært kjent at det er en sammenheng mellom klima og rekruttering hos arter som torsk og sild. Utbredelsen i Barentshavet av artene torsk og lodde viser tydelig sammenheng med temperaturen i havet. I alle havområder er det klare kvalitative sammenhenger mellom temperatur og vekst, utbredelse og vandring hos flere arter. Rekrutteringen er i tillegg avhengig av lysforhold og turbulens i havet på grunn av interaksjoner med plankton. Det synes også å være en klar sammenheng mellom planktonmengde og vekst hos larver av flere arter, samt hos voksenalderen sild og lodde. Men selv disse sammenhengene, som er relativt godt dokumenterte, finnes ennå ikke på en slik form at de uten videre kan brukes i en prognosesammenheng. For mange arter har en enda mindre kunnskap om hvordan klima påvirker biologiske prosesser.

En må videre etablere kvantitative relasjoner mellom klimaparametere og planktonmengde og fordeling. Variasjoner i mengde og/eller artssammensetning av dyreplankton er ofte knyttet til endringer i de fysiske forhold. For eksempel er innstrømmingen av Atlanterhavsvann til Barentshavet av stor betydning for transport av overvintrende dyreplankton fra Norskehavet til Barentshavet og dermed den påfølgende reproduksjon som finner sted i løpet av sommeren.

Betydningen av plankton for vekst, rekruttering og vandring hos de kommersielt viktige fiskeartene må kvantifiseres. Påvirkningen mellom klima og en del biologiske prosesser er til dels direkte (utbredelse er ofte relatert til temperatur), dels indirekte, hvor koblingen skjer gjennom påvirkning av fiskens mattilbud (plante- og dyreplankton). Artssammensetning og mengde er to viktige parametere.

#### 4.3.1.2. *Koblede økosystemmodeller (klimatologisk - biologisk)*

Det er behov for å videreutvikle koblede numeriske modeller for å kvantifisere varierende produksjonssyklus og fordeling av plante- og dyreplankton i relasjon til klimavariabilitet. Det finnes i dag koblede modeller som inkluderer næringssalter, planteplankton og dyreplankton. Disse modellene bør forbedres og videreutvikles til også å inkludere fisk for å se den totale effekten av endringer i det fysiske miljøet.

Endringer i fjord- og kystområdene som følge av endret nedbørfordeling vil være av betydning for hele norskekysten. Det kan påvirke det naturlige økosystemet og det vil kunne ha betydning for havbruksnæringen. Ulike aspekter både ved de fysiske og biologiske forhold er av stor interesse. Vil for eksempel endringer i det fysiske miljøet føre til nye sykdommer og hyppigere oppblomstringer av giftige alger, eller vil resultatet bli bedre vekst og muligheter for nye arter?

Dersom isforholdene endrer seg, vil dette få konsekvenser for den biologiske produksjonen langs iskanten og for sjøpattedyr som lever på og ved isen. Hvordan vil forholdene i for eksempel Barentshavet og de Nordiske hav bli dersom ismengden om vinteren blir vesentlig redusert?

Grensen mellom det varme Atlanterhavsvannet og det kalde vannet fra Arktis kalles polarfronten, og fungerer i mange henseende som en barriere som flere arter ikke krysser. Det store spørsmålet er hva skjer med posisjonen til denne fronten dersom klimaet endrer seg, og hvilke konsekvenser vil en eventuell forflytning ha å si for livet i havet?

#### *4.3.1.3. Oppdrettsnæringen*

Oppdrettsfisk er en svært viktig eksportartikkel og oppdrettsnæringen er i sterk vekst i Norge. Førstehåndsverdien er i dag like stor som for de samlede fiskeriene, og eksportverdien flere titalls milliarder. Klimaendringer vil påvirke miljøet for både smoltoppdrett og lakseproduksjon, både direkte (endret ferskvannstilførsel til oppdrettsområdene, og endret sjøtemperatur), og indirekte, gjennom endrede livsbetingelser for alger og parasitter.

Endrede klimatiske forhold vil også påvirke hvor det egner seg å plassere oppdrettsanlegg. Ved økt temperatur kan det tenkes at landsdeler som frem til i dag har vært lite egnet for fiskeoppdrett kan bli attraktive. Endret vindaktivitet med hyppigere og kraftigere stormer kan likevel begrense mulighetene, på grunn av økt risiko for anleggshavari. For eksisterende og planlagte anlegg kan økt ferskvannstilsig, som følge av økt nedbør og smelting av innlandsis, bli et problem i noen fjorder. Det er behov for forskning som kan bistå forvaltningen og næringen i beslutninger omkring lokalisering og type havbruksanlegg, slik at produksjonspotensialet kan utnyttes på en optimal måte, men også for å redusere anleggsskader og faren for rømming og genetisk interaksjon med villfisk.

### **4.3.2. Skog og skogbruk**

Det er flere grunner til at konsekvensene av klimaendringer kan bli betydelige for skog og skogbruket i Norge. For det første har skogsektoren stor betydning for landets sysselsetting og inntekt, særlig i distriktssammenheng. For det andre utgjør de norske skoger en viktig del av det boreale skogområdet og dette økosystemet i sin naturlige forekomst har sin klimatiske yttergrense både mot sør, nord og vest innenfor Norges grenser. Dette pålegger Norge et spesielt ansvar. For det tredje har skogbruket en svært lang tid mellom forryngelse og høsting (fra 50 til 130 år avhengig av treslag og vekstforhold) og er derfor mindre fleksibel og mer sårbar enn andre næringer når det gjelder tilpasninger til klimaendringer. Sist, men ikke minst viktig, er at effekter på skog kan ha store tilbakekoblingseffekter i forhold til klimaendringer per se. Prioriterte forskningsoppgaver er:

#### *4.3.2.1. Økosystemforskning*

Forskning om hvordan tilvekst og skadeomfang i skog og utviklingen av skogøkosystemene påvirkes av framtidige klimaendringer står sentralt: Hvordan tilpasser de ulike treslag seg endrede klimaforhold? Hvilke rolle spiller faktorer som jordbunnsforhold (for eksempel N-tilgang), proveniensvalg, genetisk variasjon i klimatilpassningsegenskaper, generasjonsintervall, individenes fenotypiske plastisitet, pollen- og frøspredningsevne, størrelsen på utbredelsesområde for den enkelte art? Kan artene karakteriseres med hensyn til egenskaper som har med klimatilpassning å gjøre; vekststart om våren, vekst om sommeren, vekstavslutning på høsten, frostherdighet vår og høst? Hvordan påvirkes kvalitetsegenskaper som stammefeil, kvistsetting og veddensitet? Det er her viktig å kombinere tradisjonell proveniensforskning med nyere molekylærgenetisk forskning, og utnytte det proveniensmaterialet som finnes nasjo-

nalt og internasjonalt for våre treslag til studier av effekten av tidligere ekstremår med hensyn på klimaskader og trevirkets egenskaper.

Videre er det behov for forskning som belyser hvordan tilvekst (brutto- og netto-tilvekst av ulike tømmerkvaliteter) og skadeomfang vil påvirkes av endrede klimaforhold. Spesielt viktig er det å få belyst i hvilken grad skaderisikoen øker som følge av økt frekvens av og økt størrelse på ekstreme klimahendelser. Det vil her også være viktig å videreutvikle metoder for å diagnostisere klimaskader på skog.

Hvordan konkurranseforholdet mellom ulike treslag og organismer påvirkes av klimaendringer, og hvilke følger det får for utviklingen av skogøkosystemene er et annet viktig forskningstema. De samme faktorene som er nevnt som aktuelle over med hensyn til klimatilpasninger hos trær, er også her aktuelle, men fokus er på samspillet mellom dem over tid.

Det er stort behov for prosessmodellering for skog og skogsjord. Klimaendring vil påvirke skogøkosystemene i et komplisert samspill mellom ulike faktorer over tid, og utvikling av hensiktsmessige modeller som gir konsistent og helhetlig behandling av dette samspillet vil måtte være en nødvendig del av forskningen om konsekvenser av klimaendringer. Det vil være nødvendig med ulike typer modeller – fra modellering som fokuserer på prosesser på enkelttre- og skogbestandsnivå (og integrerer prosesser i jord, bakke og luft), til modeller på skognivå (dvs. et sett av bestander med ulike treslag, bonitet, alder, tetthet osv;) og landskapsnivå. En utfordring vil være å finne en hensiktsmessig integrering mellom de mer detaljerte prosessmodellene og modeller der det romlige aspektet står sentralt.

#### 4.3.2.2. *Forskning om samfunnsmessige konsekvenser*

For å kunne analysere de samfunnsmessige konsekvensene av endringer i skogbruket og skogøkosystemene, er det nødvendig å utvikle analyseverktøy (modeller) som integrerer naturvitenskapelige og økonomiske/samfunnsmessige variabler på en konsistent måte. Slike modeller betegnes ofte som bio-økonomiske modeller.

Det vil oftest være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i de naturvitenskapelig modellene omtalt ovenfor og i den grad det er hensiktsmessig knytte samfunnsmessige variabler/relasjoner til dem. For skogbruket vil slike modeller være aktuelle på flere nivåer: Geografisk (bestandsnivå, skognivå, jordbruk/skognivå, regionalt nivå, nasjonalt nivå), sektorielt (skogbrukssektoren, skogbruk- og skogindustriktoren samlet, makronivå for Norge). En vil også måtte skille mellom markedsgoder (tømmer, jakt) og ikke-markedsgoder (rekreasjon, vilt, biodiversitet, vannhusholdning, m.v.).

En sentral oppgave vil være å klargjøre hva som er interessante konsekvensvariabler. Det er her naturlig å ta utgangspunkt i faktorer som er politiske målkriterier, som for eksempel sysselsetting, inntekt/verdiskapning, ikke-markedsgoder (biodiversitet, rekreasjon, kulturelle faktorer, psyko-sosiale forhold), risiko, og fordelings effekter av disse. Med hensyn til fordeling kan en f.eks. inkludere inntektsklasser og distrikt. Noen av disse variablene er vanskelig kvantifiserbare og må behandles kvalitativt og/eller eksogent.

#### 4.3.2.3. *Forskning på tilpasninger i skogbruket*

Forskningen om tilpasninger til klimaendringer må ta utgangspunkt i at skogbruket er en ekstrem langsiktig næring og at virkningene av klimaendringer på skogøkosystemene er kompliserte både i tid og rom. Sentrale problemstillinger her er:

- Hva er effekten av ulike tiltak i skogbruket for å motvirke eventuelle uheldige klimavirkninger i skogbruket?
- Hvilke kombinasjoner av tiltak er optimale? Her vil en måtte analysere ulike geografiske nivåer (bestand, skog, region). Risiko vil være viktig, og en sentral oppgave vil være å belyse risikoen ved de ulike kombinasjonene av tiltak.
- Hvordan vil fordelingen av arealutnyttelsen bli mellom jordbruk, utmark, skogbruk, og arealer som i dag er vernet eller fjellområder? Hva er konsekvensene med hensyn til vern av arealer? Avhengig av hvilke skog-, arealforvaltnings- og jordbrukspolitikk vi fører, vil klimaendringene som forventes av RegClim kunne medføre at jordbruket tar over en del av dagens høyproduktive skogarealer, mens dagens skogarealer øker i forhold til fjellskog og utmarksarealer for øvrig.

#### **4.3.3. Jordbruk og reindrift**

Jordbruksnæringen er en viktig pilar i mange distrikter og sysselsetter mellom 10 og 30% av totalt sysselsatte i mange kommuner i Norge. Reindriftnæringen har mindre sysselsettingsmessig betydning, men er viktig som basis for samisk kultur og livsform. Begge næringene er utsatte for endringer i klimaet. Det vil påvirke vekstbetingelsene, men også ha stor betydning for ulike forurensningsproblemer, binding og emisjon av klimagasser, samt utbredelse av skadegjørere. I sammenheng med reindriften er endringer i nedbørsmønster, snø- og isdekke viktig.

Som for skog utgjør selve landarealet en nøkkelfunksjon. Dette arealet disponeres av en lang rekke aktører som bønder/skogeiere, reieiere og stat/kommune. Klimaet vil være en av de faktorene som påvirker hva som er lønnsom produksjon i disse næringene. Virkemidler som rettes mot samspillet klima–areal må derfor baseres på logikken i samspillet arealer–produsenter. Det er bonden som tar beslutningen vedrørende jordbruksarealet. Dette er beslutninger vedrørende valg av plantesorter, husdyr, gjødselplan, jordbearbeiding, plantevern osv. Beslutninger fattet i det agronomiske systemet vil få konsekvenser for miljøet generelt og klimaet spesielt gjennom plantevernrester, arealets evne til å binde karbon, nitrogenutvasking og jordtap. For å kunne analysere konsekvenser i jordbrukssektoren må en utvikle bedre prediktive modeller. Det bør legges vekt på modeller som evner å fange opp samspillet mellom de ulike prosessene.

Reindriften utnytter noen av de mest marginale produksjonsarealene i landet. Endringer i snø- og isforhold er nevnt. Samspillet mellom slike klimabetingede endringer og endringer i driftsstrategier, spesielt tetthet av rein på vinterbeitene, er potensielt viktige. Viktig er også potensialet for økt invasjon av skog i beiteområdene.

Prioriterte forskningsbehov er følgende:

#### 4.3.3.1. *Prosessmodellering med vekt på binding og emisjon av klimagasser samt endring i forurensningstrykk - samspill mellom klimaendringer og agronomisk praksis*

Dette området vil dels måtte dekke forskning om hvordan endringer i klimaet vil påvirke binding/frigjøring av karbon, nitrogen samt tap av metan fra jord. Fokus må legges på det kombinerte systemet planter-jord. Her er det nær kobling til den grunnleggende forskningen omkring biogokjemiske sykluser. I sektorsammenheng er koblinger av dette til de agronomiske aspektene det sentrale. Videre vil det være behov for analyser som viser effekten av klimaendringer på tapet av næringsalter til grunn- og overflatevann og hvordan dette påvirker forurensningstilstanden i vassdragene våre, tilførslene til Nordsjøen m.m. Mildere vintrer og økt nedbør vil kunne føre til betydelig økt utvasking. Analyser av disse spørsmålene vil kreve modeller med høy grad av oppløselighet.

#### 4.3.3.2. *Endrede snøforhold – innvirkning på reinbeiting*

Mildere klima vil kunne påvirke både snømengder og isforhold. En økning i temperaturen vil bl.a. kunne føre til hyppigere episoder (spesielt på sen vinteren) hvor vekselvis snøsmelting og innfrysing gjør at lavområdene i lengre perioder er utilgjengelige for reinsdyrene. En temperaturøkning vil videre kunne føre til at Finnmarksvidda endrer karakter, med økt innslag f.eks. av dvergbjørk, eventuelt skog i et lengre tidsperspektiv. Betydningen av dette avhenger i noen grad også av det relative omfanget av sommer- og vinterbeite. Systemet synes meget følsomt – ikke bare for endringer i middeltemperatur og nedbør, men også for variasjon.

#### 4.3.3.3. *Tap av jord - erosjon*

Erosjon påvirker forurensningstilstand i vassdragene, men også mulighetene for langsiktig vedlikehold av arealenes produksjonsevne. Med hyppigere og mer intense nedbørsbyger vil avrennings- og erosjonsmønstre endre seg. For å kunne analysere hvordan klimaet virker inn på erosjon trenger man detaljert informasjon om nedbørsperioder både når det gjelder når på året disse kommer og med hvilke frekvens og intensitet. Faktorer som vær, jordart og agronomisk praksis er helt avgjørende for hvor alvorlig erosjonsproblemet vil bli i framtiden. Med utvidet vekstsesong på våren vil innhøstingen kunne skje tidligere. Med høstpløying vil dermed jorda være utsatt for erosjon i lengre perioder. Variasjoner rundt frost og tining er også kritiske. Med økt nedbør på senhøsten og vinterstid vil mangel på tele i jorda kunne resultere i økt fare for erosjon.

#### 4.3.3.4. *Skadegjørere i jordbruket*

Stigende temperaturer og mer nedbør vil kunne føre til gunstigere utviklingsvilkår for ugras, plantesykdommer og skadedyr. Noen sammenhenger kan beskrives med basis i endringer i gjennomsnittsvilkår for de enkelte sesongene. Andre forhold kan kun beskrives meningsfylt med data på relativt høyt oppløselighetsnivå (for eksempel soppangrep). Det er behov for forskning som belyser risikoen for økt omfang av skadegjørere i ulike jordbruksområder og hvilke tilpasninger som eventuelt kan foretas uten å måtte øke forbruket av plantevernmidler.

#### 4.3.3.5. *Endrede vekstvilkår for planter - samspill med andre økosystemer*

Med endringer i klima følger endringer i voksevilkårene for de ulike planteslagene. Dette vil påvirke lønnsomhet samt de relative voksevilkårene for ulike planter. Videre



vil situasjonen for skadegjørere, samt på lengre sikt også næringstilstand i jorda, påvirke disse vilkårene.

#### *4.3.3.6. Samspillseffekter mellom jordbruk og andre økosystemer*

Jordbruksarealet er i interaksjon med omkringliggende systemer – ikke minst skog. Endringer i disse biotopene vil også påvirke jordbruket/agroøkosystemet og rein-drifta. I jordbruket er kulturlandskapet et viktig element. Med økt utbredelse av skog kan det tenkes at dette vil skje på bekostning av f.eks. utmarksbeite.

#### *4.3.3.7. Behov for tiltak og endrede virkemidler*

Endrede klimatiske forhold forventes å ha effekter på det fysiske miljøet, produksjonsmulighetene og den regionale fordelingen av produksjonen. På alle disse områdene er det å forvente at en del effekter vil bli klart negative. Analyser som er rettet mot tiltak og virkemidler som kan settes inn for å motvirke disse effektene er således ønskelig. Enhver analyse av klimatiske konsekvenser i de aktuelle sektorene må ta hensyn til eksisterende og mulige fremtidige politiske rammevilkår. Landbrukspolitikken styrer i stor grad hva vi dyrker og hvor mye. Over tid kan politikken endre seg og med dette kan analysene miste mye av sin relevans. På dette stadiet er det således viktig å fokusere på kunnskapsutvikling av generell og grunnleggende art også på dette området.

### **4.3.4. Hydrologiske systemer og betingelser for vannkraftproduksjon**

Norske vassdrag vil bli påvirket av endringer i klima gjennom en rekke prosesser. Endringer i nedbør og temperatur er avgjørende for totaleffekten av klimaendringer i vassdrag. Økt nedbør øker tilsiget til vassdragene. Samtidig kan økte temperaturer gi økt fordamping. Temperaturendringer påvirker også sesongfordelingen av vannføringen gjennom endrede snøforhold. I noen sammenhenger er også vind relevant, fordi dette påvirker sirkulasjonen i innsjøene. Endringer i vassdragene vil ha konsekvenser på en rekke områder, bl.a. for energiproduksjon, ferskvannøkosystemene og for erosjon og flomutsatthet.

#### *4.3.4.1. Endringer i snøgrense og vannføring*

En prioritert forskningsoppgave er å belyse hvordan endringer i snødekkets dybde og varighet, særlig i midlere høydenivåer, påvirker sesongvariasjoner i vannføringen og vanntemperatur. Forventete klimaendringer kan medføre større avrenning om vinteren (da energibehovet også er størst), mindre vårflommer og hyppigere, kanskje større, høstflommer. Man bør utrede bruk av eksisterende reguleringsmagasiner for høstflom-dempning i tillegg til energiproduksjon. Det forhold at et endret avrenningsregime trolig vil være gunstigere for energiproduksjon enn dagens, gjør det mulig at en omlegging av magasinindisponering fra ensidig energiproduksjon til flerbruk kan forsvares samfunnsøkonomisk. Kunnskap om mulige endringer i vannføring er essensielt i forhold til betingelsene for energiproduksjon, men også i forhold til akvatiske økosystemer, inkludert edelfisk. Her er også kunnskap om endring i vanntemperatur og isleggingssesong viktig.

Videre er usikkerheten omkring den sammensatte effekten av økt temperatur og økt nedbør på snødekke og snøgrense i høyfjellet på Vestlandet bekymringsfull, ettersom senket snøgrense er en mulighet - noe som vil ha dramatisk effekt på bruken av disse områdene for jakt, fiske og vannkraftproduksjonen. Det ville også kunne føre til breframstøt og økt rasfare i en del brefronter.

Det er et problem innen hydrologisk modellering av klimaeffekter at direkte-virkningene av CO<sub>2</sub> på plantenes totale vannforbruk og dermed på vannbalansen er dårlig kvantifisert på nedbørfelt og regional skala. Usikkerheten i dette er nok til å vippe fortegnet på forventede vannføringsendringer i store deler av Skandinavia.

#### 4.3.4.2. *Forsuring av vassdrag og vannkvalitet i fjorder og bassenger*

Det er betydelig bekymring for at klimaendringer kan bety tilbakeslag for den gunstige utviklingen man nå ser i norske vassdrag som er påvirket av forsuring. Først og fremst er bekymringen knyttet til at økende temperatur gir økt nedbryting av det store deponiet organisk materiale i norsk nedbørfelt, og dermed økt nitrogentilførsel til vassdragene. En annen mulig påvirkning er endring av frekvensen av kritiske sjø-saltepisoder pga endret stormfrekvens og atmosfærisk sirkulasjon.

En god del norske terskelfjorder og bassenger har sporadisk utskiftning av dypvannet, sterkt styrt av klimaforholdene. Denne vannutskiftningen vil påvirkes av endrete klima, særlig ved endret sirkulasjonsmønster. Dette, sammen med endret nærings-tilførsel fra ferskvannssiden, kan ha dyptgripende innvirkninger på de biologiske systemene. Slike kombinerte effekter har vi dag liten kunnskap om.

#### 4.3.4.3. *Edelfisk*

Våre laksefisk-stammer, særlig villaksen, men også de andre artene, er utsatt for et sammensatt trusselbilde (antropogene påvirkninger av det fysiske miljøet, sykdom, parasitter, konkurranse fra fremmede arter osv). Risikobildet endrer seg ytterligere når klimaendringer kommer til. Å få oversikt over disse truslene og risikofaktorene er avgjørende for forvaltningen av disse stammene. Norge har et spesielt ansvar internasjonalt når det gjelder forvaltning av villaksstammene.

### **4.3.5. Transport og infrastruktur**

Gitt transportsektorens sårbarhet overfor dagens vær, er det grunn til å forvente at klimaendringer vil ha en signifikant effekt for Norge hvor transportsektoren forbinder et langstrakt land, en lang kystlinje og store fjellområder. Transportsektoren kan vise seg å være svært sårbar overfor klimaendringer i den grad dette påvirker hendelser som f.eks. flom, skodde, varme vintre, variasjoner rundt frost og tining, telehiv, steinsprang, stormer, snø- og jordskred osv. Dette kan få store konsekvenser for samfunnet generelt og aktiviteter som er avhengig av denne sektoren spesielt. Pågående aktiviteter som skredsikring og tunnelbygging osv. representerer på den annen side systemer som reduserer sektorens sårbarhet.

Endringer i hyppighet og intensitet av ekstreme vær-situasjoner vil videre få konsekvenser for veiforholdene, jernbane, flyplasser og kysttrafikk. Dette kan være både positive og negative konsekvenser avhengig av regionale utslag i klima. Sektor-myndighetene vil ha et behov for å få kartlagt mulige effekter for ulike transporttyper, og hvilke kostnader eller innsparinger disse effektene medfører. Effekter i transportsektoren vil trolig variere betydelig mellom ulike regioner og det er derfor behov for å identifisere områder som vil være spesielt utsatt for klimaendringer. Prioriterte forskningsoppgaver innen dette feltet er å belyse følgende spørsmål:

- Hva er de viktigste klima-relaterte konsekvensene for ulike deler av transportsektoren og hvilke klimavariabler er mest relevante for å analysere disse konsekvensene?
- Hvilke transporttyper (f.eks. tog, fly, ferje, personbil, buss) er mest sårbare overfor klimaendring og klimavariasjon, og hvor i landet vil klimaendring ha størst innvirkning på transportaktiviteten? Hvordan kan endringene påvirke transportsektoren med hensyn til økte kostnader eller innsparinger?
- Hvilke ringvirkninger vil effektene i transportsektoren ha for samfunnet, via konsekvenser bl.a. i andre økonomiske sektorer, i sårbare geografiske regioner og for utsatte grupper av befolkningen.

#### **4.3.6. Turisme**

Klimaendringer kan få effekter for turistnæringen både mht til organisert turisme som næringsvirksomhet og mer individuelt orientert friluftsliv. Typiske eksempler på den første kategorien vil være vintersportsanlegg hvor vinterens lengde endres (forkortes eller forsvinner helt) og områder hvor ”gode sommere” blir forringet av mer ustabil og våtere vær. På den annen side kan det tenkes at områder med gunstigere klimatiske forhold kan få et oppsving, dersom de ellers har kvaliteter som etterspørres i et reiselivsmarked. Det vil være behov for å kartlegge særlig utsatte steder hvor denne typen effekter kan ventes å oppstå på relativt kort sikt, og hvilke motstrategier som kan legges opp lokalt, regionalt og nasjonalt for omstilling og avbøtende tiltak. Med hensyn til mer individuelt orientert friluftsliv, vil konsekvensene av klimaendring trolig være mindre forutsigbare mht. områders bruk og egnethet. På lang sikt vil imidlertid betydelige endringer i flora og fauna kunne påvirke den grunnleggende oppfatningen av et landskap og dets bruk. For eksempel vil en mulig skogbevokst Hardangervidde være et vesentlig annerledes område for friluftsopplevelser og faktisk bruk enn dagens. Det langsiktige perspektivet og den grunnleggende usikkerheten i slike scenarier gjør det imidlertid vanskelig å gjøre denne typen problemstillinger forskbare.

#### **4.3.7. Helseeffekter**

De direkte helseeffektene av klimaendringer i Norge vil trolig være av relativt begrenset omfang. Økt sporedannelse og økt dannelse av sekundære luftforurensninger forårsaket av temperaturøkning er stikkord med tanke på helseeffekter i form av allergi og andre respiratoriske effekter. Overførsel av sykdommer fra ville dyr (zoonoser) kan enten øke ved at nye vertsdyr for sykdomsorganismer vandrer inn eller ved at betingelsene for allerede tilstedeværende vertsdyr endres. For eksempel, kan mildere vintre øke overlevelsesraten for skogflått, med muligheter for økt spredning av Borreliabakterien. Indirekte helseeffekter av klimaendringer kan tenkes å oppstå i form av psykiske reaksjoner på regntunge, kjølige somrer, ekstreme snømengder om vinteren, økt stormaktivitet og økt flomfare.

### **4.4. Polarområdene**

Sett i forhold til fastlandet har norske politiske myndigheter satt ambisiøse mål for å bevare økosystemer og biodiversitet på Svalbard og i Barentshavet og de Nordiske hav mest mulig intakte. Graden av menneskeskapte endringer skal søkes holdt på et minimum. Legges scenariene basert på klimamodellene til grunn, vil en klimaendring vise seg først og få størst effekt i polarområdene. Selv om endringene i klima i vår del av Arktis har vært relativt små fram til nå, varsler endringer i andre deler av Arktis

om at også våre områder er utsatte. Eksempler på dette er at utbredelsen av havis reduseres og at polarfrontens beliggenhet (der varmt og kaldt vann møtes) kan forskyves ved en klimaendring. Den til dels sterke topografiske styring av frontens posisjon, gjør det imidlertid vanskelig å si noe eksakt om hva som skjer med frontens posisjon ved en klimaendring. Både fronten og isforholdene har stor betydning både for biodiversitet og produktivitet i dette havområdet. Økosystemene i høy-Arktis er dessuten relativt enkle og hittil lite påvirket av menneskeskapt forhold. De kan derfor være velegnede modeller for forskning på kompliserte sammenhenger og responser på klimaendringer. Gjennom forskning på disse økosystemene kan det høyst sannsynlig fremskaffes generell kunnskap som også kan anvendes på mer kompliserte økosystemer lenger sør. Svalbard, Barentshavet og de Nordiske hav er dessuten de lettest tilgjengelige høy-Arktiske områdene og har en infrastruktur som gjør dem egnet for forskning. På denne bakgrunn oppfyller de terrestriske og marine høy-Arktiske områdene nord for det norske fastland kriteriet om at de kan gi Norge "unike muligheter" til å bidra med kunnskap til den internasjonale klimaforskningen. Til sammen peker alle disse forholdene mot at norsk Arktis bør gis prioritet i et forskningsprogram om effekter av klimaendringer.

#### **4.5. Sikkerhet og beredskap**

Inntrufne og framtidige klimaendringer forventes å føre til mer ekstreme værforhold og fører til at historiske observasjoner og tidsserier ikke gir et riktig underlag for risikovurderinger - usikkerheten har økt. Dette fører til at vi ikke har kontroll med risikounderlaget for eksisterende og planlagte konstruksjoner.

Studier av hvordan klimaendringer kan påvirke ulike geomorfologiske systemer er nødvendig basis for studier innen flere sektorer, og slike studier vil være nært knyttet opp til studier av hydrologiske systemer. Eksempler på sentrale forskningsoppgaver er knyttet til sikkerhet omkring bygninger, veier og andre konstruksjoner med tanke på leirområder og andre rasutsatte områder i Norge.

Når det gjelder historisk statistikk for tilsig, vannføring og flom har man nå en økt usikkerhet, også for dagens situasjon. Et sentralt beslutningsgrunnlag for utbygging av vannkraft, damsikkerhet og risikovurderinger i forbindelse med flom og flomskader er dermed beheftet med systematiske, men ukjente feil, og økt, men uspesifisert usikkerhet.

Med en planlagt økt transport av olje og radioaktivt avfall langs norskekysten, vil økt frekvens av stormer være med på å øke faren for uhell til sjøs. F.eks. kan et forlis og utslipp av olje i et område med store forekomster av fiskelarver få store og uante konsekvenser for overlevelsessevnen til larvene. Mange oppdrettsanlegg vil også kunne bli berørt. Verst vil det imidlertid være dersom et fartøy med radioaktivt avfall skulle forlise langs norskekysten. Ved en eventuell lekkasje fra et slikt forlis vil store deler av kysten kunne bli berørt, og påvirkningen vil kunne spre seg inn i Barentshavet og kanskje også opp langs kysten av Spitsbergen.

Det er også en rekke andre områder der økt kunnskap med betydning for sikkerhet og akuttberedskap er påkrevet. Dette gjelder både i forhold til menneskers sikkerhet og fare for akutte skader på økosystemer:

- Installasjoner i Nordsjøen og transport til og fra plattformene
- Dimensjonering av boliger og infrastruktur (storm, snølast)
- "Flashflood" og flomskredrisiko for boligområder og infrastruktur
- Damsikkerhet
- Giftalger

#### **4.6. Overvåking og behovet for lange tidsserier**

Behovet for lange tidsserier, spesielt innenfor forskning på effekter av klimaendringer på biologiske systemer, er udiskutabel. I mange tilfelle vil det ikke være mulig å framskaffe kunnskap om effekter av klimaendringer uten slike dataserier, eller å skille mellom naturlige variasjoner og antropogen påvirkning. Lange tidsserier er videre av avgjørende betydning for mulighetene til å drive *analoge studier* av effekter av klimaendringer, dvs. studier der en ved hjelp av analogier til tidligere klimatiske endringer forsøker å si noe om hvilke konsekvenser som kan forventes av framtidige endringer og hvordan mennesker og samfunn best kan tilpasse seg slike endringer. Det er behov for en sentral oversikt og tilretteleggelse, eventuell standardisering og kvalitetssikring, av slike dataserier. Det er tatt initiativ til å sikre slike funksjoner for modellbaserte data i Norge. Dette bør også sikres når det gjelder observasjonsbaserte data av relevans for å dokumentere effekter av klimaendringer.

Situasjonen i Norge er til dels preget av vilkårlighet og mangelfulle dataserier. For eksempel er det få forskningsinstitusjoner i Norge der en driver langsiktig, tverrfaglig klimaforskning basert på lange observasjonsserier av fysiske og biologiske parametere. Havforskningsinstituttet er ett av disse. Arbeidsgruppen mener at noe av årsaken til at det eksisterer så få tidsserier er at slike observasjoner kommer inn under begrepet overvåking; et begrep som er negativt ladet i forskningssammenheng og derfor ikke oppnår ekstern økonomisk støtte. I forbindelse med en helhetlig gjennomgang av behovet for midler til effektforskning, bør det også vurderes hvordan det kan legges til rette for overvåking og sikring av lange tidsserier. Spesielt bør det settes i gang ny forskning som vil gi retningslinjer om hvordan eksisterende og eventuelle nye overvåkningsprogrammer skal legges opp for å ha størst muligheter til å fange opp effekter av klimaendringer; inkludert valg indikatorer som skal overvåkes, og hvilken oppløsning i rom og tid datainnsamlingen må ha for å ha tilstrekkelig presisjon.

## 5 Pågående forskning

### 5.1. Effektforskning finansiert i Forskningsrådet

Forskningsrådets støtte til forskning knyttet til effekter av og tilpasninger til klimaendringer har vært beskjeden. Støtten blir kanalisert gjennom en rekke programmer og andre støtteordninger, noe som gir fragmentert innsats. Tabell 2 viser en liste over programmer og andre satsinger med pågående prosjekter som i større eller mindre grad tar opp effekter av endret klima. Merk at effekter av klimaendringer som regel bare er en av flere problemstillinger som tas opp i prosjektene som inngår i summene under hver aktivitet. Således vil summene for de enkelte aktivitetene generelt gi et overestimat på hvor mye penger som går til forskning med spesielt fokus på klimaeffekter. Dette gjelder særlig for de såkalte strategiske programmene (Gjerne kalt SIP-er og SUP-er og er mer beslektet med store enkeltprosjekter enn ordinære forskningsprogrammer). Det er ikke gjort forsøk på å sjekke om det kan finnes relevante prosjekter blant porteføljen av frie prosjekter. Det har vært en økende tendens i Forskningsrådets samlede støtte til klimaeffektforskning i perioden 1998-2001. For øvrig kan en merke seg at kun en mindre del av aktiviteten er organisert gjennom ordinære forskningsprogrammer.

Følgende programmer under oppstart har også elementer med relevans for effektforskning:

*Arktøk - Arktiske økosystemers responser på klimaendringer:* I forbindelse med at programmet ALV slutter i 2001 er det utviklet en plan for mer arktisk forskning med fokus på virkninger av klimaendringer. Midler for 2002 (ca. 6 mill. kr.) er utlyst med søknadsfrist 15. september. Forskningsrådet ønsker å se satsingen i sammenheng med styrking av forskning om effekter av klimaendringer for øvrig og vil derfor først senere avgjøre hva slags form satsingen skal ha i det lange løp.

*RAMBU- rammebetingelser, styringsmuligheter og virkemidler for en bærekraftig utvikling:* Dette brede samfunnsvitenskapelige miljøprogrammet med fokus på miljøutfordringer, forvaltning av miljø- og naturressurser og en rettferdig fordeling mellom generasjonene og med formål å bidra til en bærekraftig utvikling både i nord og sør skal etter planen starte opp fra 2002. Visse samfunnsvitenskapelige tema knyttet til klimaendringer vil kunne ha sin plass innenfor programmet.

### 5.2. Internasjonal virksomhet på feltet

Såkalte landstudier ('country studies') av effekter av klimaendringer er foretatt i mer enn 60 utviklingsland og land med overgangsøkonomi. Effekstudier er også gjennomført i Canada og i USA (se <http://www.nacc.usgcrp.gov/> om U.S. Global Change Research Program) og i flere europeiske land (se [http://www.pik-potsdam.de/cp/europa/euro\\_2.htm#LINK-euro-acacia](http://www.pik-potsdam.de/cp/europa/euro_2.htm#LINK-euro-acacia) om ACACIA - A Concerted Action towards a Comprehensive Climate Impacts and Adaptation Assessment for the

**Tabell 2. Omfanget av forskning finansiert av Forskningsrådet i 2001 relevant for effektforskning. Bevilgning i millioner kroner for budsjettåret 2001.**

<b>Aktivitet</b>	<b>Mill.kr.</b>
<b><i>Forskningsprogrammer (Oppgitt finansiering er summen av relevante prosjekter finansiert av programmet):</i></b>	
KlimaProg - Klima og klimaendringer (2002-2011)	1,5
Biologisk mangfold - dynamikk trusler og forvaltning (1998-2007)	3,2
ALV - Arktisk lys og varme (1996-2001)	1,4
SAMSTEMT - Samfunnsfaglige studier av energi, miljø og teknologi (2001-2010)	0,9
Skog - ressurser og verdiskaping (2000-2004)	0,7
<b><i>Strategiske programmer (SIP og SUP) (Oppgitt finansiering er Forskningsrådets totalbevilgning til programmet):</i></b>	
Modellering av skogproduksjon for økologisk og økonomisk forvaltning (Skogforsk 1998-2002, totalt 7,0 mill.kr.)	1,8
Molekylær basis for klimatisk tilpasning hos skogstrær (Universitetet i Tromsø 1999-2002, totalt 4,0 mill.kr.)	1,3
Optimalisering av biologisk nitrogenfiksering i grovfôrproduksjon (Planteforsk 2000-2004, totalt 10,0 mill.kr.)	2,1
NORPEC - Norwegian palaeoenvironments and climates as reconstructed from lake sediments (Universitetet i Bergen 2000-2004, totalt 13,1 mill.kr.)	3,7
Variation in space and time of cod and other gadoids: The effects and density dependence on population dynamics (Universitetet i Oslo 2000-2004, totalt 11,5 mill. kr.)	2,6
Hydrologiens betydning for forurensningers miljøpåvirkning (THERMOS-prosjektet) (NIVA 1997-2001, totalt 3,2 mill.kr.)	0,6
<b><i>Prosjekter med støtte fra Forskningsfondet (Oppgitt finansiering er Forskningsrådets totalbevilgning til programmet):</i></b>	
The ecological effects of climate fluctuations and change: multi-disciplinary and integrated approach (Universitetet i Oslo m.fl. 2001-2003, totalt 3,5 mill. kr)	0,7
Socio-economic Impacts of Climate Change in Norway: A Pilot Study of the Energy Sector (CICERO 2000-2004, totalt ca 1,5 mill. kr)	0,3
Climate Change in Norway: An analysis of economic and social impacts and adaptations (CICERO m.fl. 2001-2003, totalt 6,5 mill. kr)	1,2
<b>SUM</b>	<b>22,0</b>

EU). Effekter av klimaendringer er også et sentralt tema i det internasjonale programmet Millenium Ecosystem Assessment organisert av UNDP m.fl. (se <http://www.ma-secretariat.org/en/index.htm>). Nordisk Ministerråd oppnevnte høsten 2000 et utvalg som skulle utrede "The role of the Nordic countries in global ocean climate research". Nordisk Ministerråd vil senere avgjøre om man skal etablere en nordisk satsing innefor de nevnte områder. Det er videre flere regionale og sektor-spesifikke studier som tar for seg spesielle aspekter ved klimaendringer, som f.eks. klimaeffekter i Arktis (ACIA-studiene, se under) og effekter av havnivåstigning (SURVAS-studiene, se under). Disse studiene gjenspeiler behovet for å forstå betydningen av klimaendringer både på det økologiske og sosioøkonomiske plan, og hvor-

dan klimaendringer samvirker med andre miljøproblemer og samfunnsmessige utviklingstrender.

De store internasjonale studiene har i økende grad blitt supplert med mer lokal effektforskning, noe som har bidratt til en økt forståelse av den regionale dimensjonen når det gjelder effekter av klimaendringer. Det er dessuten de senere årene blitt fokusert mer på å vurdere *sårbarhet* for klimaendringer, til forskjell fra studier av effektene som sådan. Pågående forskning med hensyn til klimaeffekter og sårbarhet for klimaendringer er som regel basert på metoder beskrevet av bl.a. IPCC og UNEP, kombinert med resultater fra regionale nedskaleringer av globale klimamodeller á la Reg-Clim scenariene.

Internasjonalt har effektforskningen kommet lenger enn den har i Norge. En del norske forskere er imidlertid aktive i internasjonale samarbeidsprosjekter. Følgende pågående prosjekter har høy deltagelse fra norsk side:

*ACIA - Arctic Climate Impact Assessment (2000–)*: ACIA er et samarbeidsprosjekt mellom de åtte arktiske statene (Island, Danmark, Canada, USA, Russland, Finland, Sverige og Norge) for å utrede konsekvensene av klimaendringer i Arktis samt konsekvensene av økt UV-stråling grunnet reduksjon av ozonlaget. I Norge er landområdene fra Trøndelag og nordover, inklusivt Svalbard, av interesse sammen med havområdene nord for 62°N.

Prosjektet har en todelt målsetning. For det første skal prosjektet evaluere og integrere eksisterende kunnskap om klimavariasjon, klimaendringer og økt UV-stråling i Arktis, og konsekvenser av disse. For det andre skal prosjektet bidra til den politiske beslutningsprosessen ved å gi nyttig og pålitelig informasjon til politikere, myndigheter, organisasjoner og befolkningen i nordområdene. Elementer som karakteriserer nordområdene med hensyn til natur, økonomi, sysselsetting, samfunn og trivsel vil være sentrale når effekter skal studeres. Prosjektet vil ha særlig fokus på konsekvenser for økosystemer, areal- og viltforvaltning, fiskerier, reindrift, jord- og skogbruk, helse, urbefolkingskultur og infrastruktur. De første ACIA rapportene er forventet å være ferdigstilt i 2004.

*THERMocline Oriented Studies (1998–)*: Thermos-prosjektet (THERMocline Orientated Studies) er det første prosjektet i Norge hvor endringer i fysisk/kjemisk/biologiske forhold som følge av termoklinendringer vil bli undersøkt i stor skala. Prosjektet går ut på å manipulere termoklinen i en innsjø f.o.m. våren 2001, mens en nærliggende innsjø vil fungere som kontrollsjø. Manipuleringen vil gjennomføres med en stor sakte-roterende propell. Bakgrunnsundersøkelser i de to innsjøene (i Lillomarka) har pågått siden våren 1998 og finansieres foreløpig gjennom et strategisk instituttprogram (SIP) og ved egne midler ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Prosjektet vil søke NFR-støtte på det kommende klima-effektprogrammet som etter planen starter i 2002. Thermos-prosjektet vil utvikle/forbedre termoklinmodeller for innsjøer, samt prøve å finne fram til nøkkelfaktorer som vil være viktig for oppskaleringen av klimaeffekter på norske innsjøer under framtidens klimascenarier.

Av andre internasjonale effektforskningsprogrammer kan nevnes:



*GLOBEC (GLOBAL ocean ECosystem dynamics)* er det internasjonale geosfære-bio-sfæreprogrammet (IGBP) sitt kjerneprogram med ansvaret for forståelse av hvordan global klimaforandring vil påvirke antall, diversitet og produktivitet av marine populasjoner (se <http://www.pml.ac.uk/globec/>). Innenfor internasjonal GLOBEC finnes en rekke regionale og nasjonale programmer. I Nord-Atlanteren står GLOBEC (sammen med ICES) bak Cod and Climate Change Programmet. Her studeres effekter av klimavariabilitet på fluktuasjoner i torskbestandene (se <http://www.ices.dk/globec/>).

*Arctic-Alpine Terrestrial Ecosystems Research Initiative (ARTERI)*: Dette er et EU-prosjekt under paraply-programmet Environment and Climate Programme (se <http://www.dpc.dk/>).

*Synthesis and Upscaling of sea-level Rise Vulnerability Assessment Studies (SURVAS)*: EU-prosjektet SURVAS (Synthesis and Upscaling of sea-level Rise Vulnerability Assessment Studies) har som formål å utarbeide felles indikatorer som kan benyttes for å vurdere sårbarhet overfor havnivåstigning. SURVAS er organisert som et nettverksprosjekt hvor midlene finansierer workshopdeltagelse og en lønnet koordinator. Det er holdt regionale workshops i Europa, Asia, og Afrika (se <http://www.survas.mdx.ac.uk/>).

*Regional STOrms, WAve and SURge Scenarios for the 2100 century (STOWASUS-2100)*: Formålet med STOWASUS-2100 er å studere stormer, stormflo og bølger under nåværende klima og i klimaendringsscenarioer. Prosjektet omfatter atmosfærisk/oseanografisk numerisk modellering av disse fenomenene for Nord-Atlanteren. Endringer i frekvens, intensitet og lokalisering av ekstremvær med hensyn til stormer og stormflo studeres, og en søker å forstå hvilke fysiske mekanismer som ligger til grunn for endringer i disse fenomenene. (se <http://dmiweb.dmi.dk/pub/STOWASUS-2100/>)

*ECLAT-2*: Hovedmålsettingen for dette programmet er å forbedre forståelsen for og anvendbarheten av resultater fra klimamodeller under EUs effektforskningsprosjekter. Programmet skal dessuten sørge for at forskere i EU som studerer effekter av klimaendringer er oppdatert med hensyn til utviklingen innenfor klimamodellering og har kunnskap om og tilgang til nye modellresultater både innen Europa og ellers i verden (se <http://www.cru.uea.ac.uk/eclat/>).

### **5.3 Norsk kompetanse**

Det finnes mange norske fagmiljøer med relevant kompetanse for de problemstillinger som er trukket fram i denne rapporten. Det vil føre for langt å spesifisere dem nærmere her. De sitter imidlertid spredt og har i liten grad felles perspektiv og fokus for sin forskning. Dette gjenspeiler den beskjedne og usystematiske støtten til denne type forskning så langt. Skal vi peke på manglende kompetanse må det være innen økosystemforskning, som påpekt i evalueringen av biofagene nylig.

## **6. Konklusjoner og gruppens forslag til prioriteringer**

I arbeidet til FNs klimapanel er det tre problemstillinger som har stått sentralt og som er nedfelt i organiseringen av panelet:

- Hva skjer med klimaet?
- Hva blir virkningene av klimaendringer?
- Hva kan gjøres for å motvirke endringer i klimaet?

Mens det første og det siste temaet er relativt sett godt dekket av Forskningsrådets programmer og annen pågående forskningsaktivitet i Norge, er det andre temaet - effektforskningen - langt på vei et forsømt område. Arbeidsgruppen har søkt å få oversikt over relevant pågående norsk effektforskning med relevans for forståelsen av potensielle sektor- region- og systemspesifikke konsekvenser og de samlede samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer i Norge, og har i dette arbeidet kartlagt omfattende kunnskapshull. På en rekke sentrale forskningsfelt der vi mener Norge har et spesielt ansvar for å frambringe kunnskap er det avdekket behov for langt sterkere satsing og også mer grunnleggende kompetanseoppbygging. Arbeidsgruppen vurderer det derfor som nødvendig at en framtidig satsing på effektforskning i regi av Forskningsrådet har et omfang som gjør det mulig å dekke et bredt spekter av forskningsområder.

### **6.1. Behov for kunnskap langs tre perspektiver**

I prioriteringen av forskningsoppgaver erkjenner vi på et overordnet nivå tre typer av behov:

1. Grunnleggende behov for å forstå virkemåten til natur og samfunn og forholdet mellom disse som basis for å produsere kunnskap om mulige samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer (målrettet grunnlagsforskning).
2. Behov for vitenskapelig basert kunnskap for sektormyndigheter som har ansvar for spesielle næringsinteresser eller andre hensyn som kan tenkes å bli utsatt for relativt store konsekvenser av framtidige klimaendringer i Norge (sektorperspektiv).
3. Behov for helhetlig og tverrfaglig kunnskap om hvordan klimaendringer kan virke på konkrete lokalsamfunn og regioner (samfunnsperspektiv).

Kunnskap om mulige konsekvenser av klimaendringer må være basert på et solid fundament av kunnskap om hvordan de ulike biotiske og abiotiske systemer vil kunne endres og hvilke politiske og samfunnsmessige mekanismer som vil bidra til at slike endringer eventuelt får konsekvenser for menneske og samfunn.

Det andre og tredje type av kunnskapsbehov kan illustreres ved virkninger av klimaendringer langs de to dimensjonene i) sektorvirkninger og ii) regionale samfunns-virkninger.

Forskning i et sektorperspektiv skal søke å gi et helhetlig bilde av klimaendringer for en sektor eller et interesseområde på tvers av regioner. De viktigste sektorene er etter

vår vurdering primærnæringene, fiskeri og havbruk, skog og jordbruk. Samferdsel og energi er typiske infrastrukturektorer som, om de opplever vesentlige endringer i sine klimatiske rammebetingelser, vil kunne ha stor innflytelse på nesten all annen aktivitet i landet.

Det regionale samfunnsperspektivet vil derimot ta utgangspunkt i det konkrete lokal-samfunnet og søke å belyse hvordan klimaendringer vil påvirke dette gjennom aggregerte virkninger over mange sektorer og i konfrontasjon med konkrete samfunnsmessige rammebetingelser som eventuell ensidighet av næringslivet i den aktuelle lokalitet, avhengighet av kommunikasjons- og transportmuligheter, det generelle inntektsnivået, etc. Dette perspektivet vil således ivareta behovet for å se klimaendringer som en av flere endringsprosesser i samfunnet og gi mulighet for å studere samspillet mellom klimaendringer og andre endringsprosesser enten det er økonomiske, institusjonelle eller knyttet til andre miljøproblemer.

## **6.2. Prioriterte forskningsoppgaver**

Følgende forskningsoppgaver bør i følge arbeidsgruppens vurderinger prioriteres innenfor de tre hovedpilarene:

### **6.2.1. Hovedpilar I – målrettet grunnlagsforskning**

I dette perspektivet vil vi særlig fremheve følgende forskningstemaer:

1. Økosystemers responser på klimaendringer. Faglig robuste forutsigelser om hvilke effekter klimaendringene vil ha på norske natursystemer må bygge på en grunnleggende forståelse av sammenhengen mellom klimavariasjon og de biologiske prosessene i økosystemene. Det er i norsk sammenheng et stort behov for å styrke den grunnleggende forskningen om hvordan økosystemenes funksjon og struktur påvirkes av klimavariasjon. Sentrale forskningsoppgaver som gjelder generelt for terrestriske, marine og limniske systemer er:
  - a. Å identifisere klimasensitive nøkkelfunksjoner (og indikatorer for slike) i økosystemene og hvilke konsekvenser endringer i disse vil ha på økosystemenes produktivitet, dynamikk og struktur (herunder biodiversitet).
  - b. Å identifisere og kvantifisere viktige samspillseffekter mellom klimaendringer og andre antropogene miljøeffekter, herunder endringer i sykluser av karbon- og nitrogenforbindelser.
  - c. Å forutsi klimainduisert spredning av nye organismer og effektene av dette på stedege arter og økosystemprosesser.
  - d. Å styrke kompetansen på sentrale metodiske tilnæringer innen klimarelatert økosystemforskning og –modellering. Det bør legges særlig vekt på prediktiv prosess-modellering inkludert modellering av bio-geo-kjemiske sykler, eksperimentell økosystemforskning og strategier for innsamling og analyse av lange serier av observasjonsdata.
2. Utvikling av konseptuelle og kvantitative modeller for analyser av samfunnsmessige konsekvenser av klimaendringer i i-land. En sentral oppgave her er å belyse institusjoners rolle i forhold til sosioøkonomisk sårbarhet og tilpasnings-evne. Det blir en sentral oppgave å kople naturvitenskapelig kunnskap med samfunnsvitenskapelige metoder i utviklingen av modellene.

### 6.2.2. Hovedpilar 2 - sektorperspektivet

Forskning innen sektorperspektivet vil ha fokus på de 'vertikale' sammenhenger i effektkjeden for de enkelte sektorer eller interesseområder. Sett ut ifra et langsiktig nasjonalt økonomisk perspektiv bør økt kunnskap om endringer i det *marine økosystemet* og konsekvenser for fiskerinæringen være en prioritert oppgave. Ut fra et bosettings- og distriktperspektiv peker jordbrukssektoren seg ut som en viktig sektor, fordi denne næringen sysselsetter en stor andel i svært mange norske kommuner. Arbeidsgruppen mener videre at forskning om effekter på *skog og skogbruk* bør prioriteres, spesielt fordi de norske skoger utgjør en viktig del av det boreale skogområdet og dette økosystemet har sin klimatiske yttergrense både mot sør, nord og vest innenfor Norges grenser. Skogbruken har også stor distriktsmessig betydning og effekter av klimaendringer på skog kan ha store tilbakekoblingseffekter i forhold til klimaendringer. Vi ønsker videre å fremheve at det er et stort behov for forskning omkring effekter av klimaendringer i *transportsektoren*, på grunn av denne sektorens sentrale rolle både når det gjelder bidraget til samfunnets produksjonsmuligheter og opprettholdelse av bosetting i distriktene.

Prioriterte sektorer er derfor (punktene nevnt først under hver sektor er de områdene der det er viktigst å komme i gang med forskning på et tidlig tidspunkt i et eventuelt forskningsprogram):

1. Fiskerisektoren (oppdrett, kyst-, og havfiske):
  - a. Vilårene for oppdrett under endret klima med tanke på: Algeforekomster (herunder endrete næringsstoffforhold); vekstvilkår og mulighet for nye arter; samt fysisk påvirkning av oppdrettsanlegg (vind, bølger).
  - b. Vilårene for kyst- og havfiske under endret klima med tanke på: Arts-sammensetning, rekruttering, vekst, vandring og utbredelse; betydningen av plante- og dyreplankton i økosystemet; samt introduksjon av nye arter.
  - c. Forhold i fjorder som følge av endret avrenning fra land og endrete temperaturforhold med tanke på: Endrete sirkulasjonsmønstre og det pelagiske økosystemet; og utskifting av bunnvann og konsekvenser for dypvannsfauna.
  - d. Konsekvenser for norsk fiskeripolitikk – behov for endringer i virkemiddelbruken i forhold til effekter av klimaendring.
2. Skogsektoren:
  - a. Økt risiko for skader på skog (vind, frost, snø, råte, insekter, kombinasjoner av disse).
  - b. Endringer i foryngelsesforhold, tilvekst (fordelt på treslag og tømmerkvalitet) og konkurranseforhold mellom ulike treslag og organismer.
  - c. Endringer i utbredelse og sammensetning av skogøkosystem, biologisk mangfold og forutsetninger for flerbruksforvaltning av skog.
  - d. Skogsektorens rolle i karbonkretsløpet og med hensyn til utslipp av andre klimagasser enn CO<sub>2</sub>.
  - e. Utarbeidelse av analyseverktøy for studier av samfunnsmessige konsekvenser av endringer i skogøkosystemer og skogbrukssektoren.
  - f. Strategier for hensiktsmessig tilpasning av skogbruken til eventuelle klimaendringer, med hensynstagen til risiko og virkemiddelbruk.

3. Jordbruk og reindrift:
  - a. Prosessmodellering med vekt på binding og emisjon av klimagasser samt endringer i forurensningstrykk. I denne forbindelse vil det være naturlig å legge vekt på både karbon- og nitrogenforbindelser.
  - b. Klimaendringenes mulige innvirkning på beitevilkårene i reindriften.
  - c. Tap av jord ved erosjon. Endret tapsnivå, bærekraftsvurderinger, samt tiltak for å motvirke tapene.
  - d. Endret sykdoms-, ugras, og skadedyrstrykk i planteproduksjonen. Konsekvenser for bruk av plantevernmidler.
  - e. Generelle virkninger for avlingsnivå og endring av vokseområder for ulike nyttevekster. Både biologiske studier og studier av effekter på produksjonslokalisering og sysselsetting. Endret konkurranseforhold mellom jordbruk, reindrift og skogbruk. Regionale effekter.
  - f. Konsekvenser for norsk landbrukspolitik – behov for endringer i virkemiddelbruken i forhold til å motvirke negative effekter av klimaendring.
  
4. Samferdselssektoren og effekter på annen infrastruktur: Dette bør omfatte studier av mulige effekter av klimaendringer på bygninger, veier, jernbane, flytrafikk, havneforhold, rutegående hurtigbåter og større lasteskip og inkludere effekter av:
  - a. Endringer i hyppighet og lokalisering av ras (jord, stein og snø).
  - b. Forekomst av ekstrem vind.
  - c. Forekomst av underkjølt regn.
  - d. Endringer i snømengder.
  - e. Flomstørrelse og –hyppighet.
  - f. Stormflo og havnivåstigning.
  - g. Vind og bølger på ferdsel til sjøs.
  - h. Tilpasningstiltak.
  
5. Energisektoren: Sektoren påvirkes både direkte, gjennom endringer i ressursgrunnlaget (vassføring, vind) og forbrukssiden (temperatur), og indirekte, gjennom konkurransevridding mellom energibærerne. Sentrale forskningsoppgaver er:
  - a. Håndtering av økt usikkerhet i tilsigsgrunnlag i investeringsplanlegging og dagsikkerhetsvurderinger. Det forutsettes her at direkteeffekter av klimaendringer på tilsigsforholdene er dekket av igangværende prosjekter.
  - b. Bedriftsøkonomiske, samfunnsøkonomiske og miljømessige konsekvenser av konkurransevridding mellom fossile brensler og fornybare energikilder (inkludert vannkraft).
  - c. Er norsk vannkraft uten drivhuseffekt?
  - d. Konsekvenser av klimaendringer for sikkerheten i petroleumsvirksomheten i Nordsjøen.

### **6.2.3. Hovedpilar 3 – det regionale samfunnsperspektivet**

Hovedbegrunnelsen for å etablere denne pilaren er behovet for å sikre integrasjon av naturvitenskapelig og samfunnsvitenskapelig forskning på effekter av klimaendringer i konkrete eksempelstudier. Denne pilaren representerer en overbygning mellom den målrettede grunnlagsforskningen på den ene siden og forskning rettet mot sektor- og interessedespesifikke problemstillinger på den annen. I det regionale samfunnsperspektivet søker en helhetlige og tverrfaglige studier hvor effekter av klimaendringer på alle relevante sektorer og samfunnsforhold kartlegges i spesifikke regioner. I tillegg til å belyse de vertikale sammenhenger i effektkjeden for de sektorene som er rele-

vante for regionen, vil målsettingen dermed være å belyse horisontale sammenhenger, dvs. hvordan endringer i de enkelte sektorer og interesseområder kan påvirke andre sektorer og interesseområder og lokalsamfunnet og eventuelt storsamfunnet som helhet. Komparative studier av ulike regioner vil kunne gi grunnlag for å belyse relativ sårbarhet for ulike regioner, sektorer og sosiale grupper, og dermed gi basis for å vurdere sårbarhet i et overordnet nasjonalt perspektiv. Hvilke områder som skal fokuseres i den regionale pilaren vil først og fremst avhenge av omsøkte studiers potensiale med hensyn til å generere tverrfaglig forskning av høy kvalitet. I tillegg bør en tilstrebe en prosjektportefølje der studiene dekker et spekter av problemstillinger som er representative for ulike deler av landet.

Prioriterte forskningsoppgaver i et regionalt samfunnsperspektiv er:

1. Metodeutvikling med hensyn til å definere og kartlegge sosioøkonomisk sårbarhet. Blant annet er det en sentral oppgave å utvikle *sårbarhetsindikatorer* for ulike perspektiver og som kan benyttes i tilpasningøyemed både fra kommunale og sentrale myndigheters side. Aktuelle perspektiver hvor en har behov for indikatorer og sårbarhetsstudier er:
  - a. Strategier for næringsutvikling og sysselsetting; regional utvikling, herunder av områder der vilkårene for turisme og friluftsliv vil bli vesentlig endret.
  - b. Planlegging og tilpassing av beredskapssystemer (kommunale og statlige).
  - c. Det fordelingsmessige perspektivet (regioners, sektorer og sosiale gruppers sårbarhet).
  - d. Det kulturelle perspektivet (sårbarhet for tap av kulturelle kjennetegn og estetiske verdier f.eks. i form av landskapstyper).
2. Studier av *ringvirkninger* i lokalsamfunn og storsamfunn av effekter av klimaendringer og tiltak både med hensyn til tilpasninger og utslippsreduksjoner. Dette gjelder f.eks. med tanke på hvordan effekter i enkeltsektorer får konsekvenser for virksomhet i andre sektorer, og for demografi og sysselsetting generelt.
3. Studier av hvordan *klimaendringer internasjonalt* kan påvirke det norske samfunn, f.eks. via handelsmønstre, flyktningestrømmer og turisme.

### **6.3. Overvåking og behovet for lange tidsserier**

Behovet for lange tidsserier, spesielt innenfor forskning på effekter av klimaendringer på biologiske systemer, er udiskutabel. Vi stiller oss derfor positiv til tanken om at det bør opprettes et senter for katalogisering og tilrettelegging av eksisterende data om effekter av klimaendringer på samfunn og økosystemer med sikte på å gjøre tilgjengelig slike data for forskersamfunnet i en form som letter dannelsen av helhetsbilder av virkninger av allerede inntrufne klimaendringer. Et eget nettsted for effektforskning der også resultater fra klimamodelleringer gjøres tilgjengelig, f.eks. etter mønster fra The Climate Impacts LINK Project's (finansiert av UK Department of the Environment, Transport and the Regions) vil kunne styrke koblingen mellom effektforskningsmiljøer og klimamodellørene (se <http://www.cru.uea.ac.uk/link/>). Data-teknisk kan dette legges til det allerede etablerte senteret for modellbaserte klimadata. Det er likevel mulig at oppgaven med å innhente, sammenfatte og distribuere informasjon om slike observasjoner om effekter av klimaendringer bør legges til en annen institusjon enn den som har ansvaret for den datamessige tilretteleggelsen.

# Vedlegg Mandat og sammensetting av arbeidsgruppe som gitt i brev fra Norges forskningsråd

## I. Mandat

Arbeidsgruppen bes utarbeide en kortfattet rapport med en helhetlig vurdering av forskningsbehov knyttet til *virksomheter av og tilpasninger til klimaendringer* i Norge med omkringliggende havområder (inkl. Svalbard) som grunnlag for videre arbeid med råd og prioriteringer knyttet til forskningsbehov på feltet.

Gruppen bes vurdere forskningsbehov innenfor en bred tematisk ramme, herunder behov knyttet til

- Biologiske og fysiske effekter av klimaendringer på naturmiljø og ressursgrunnlag (herunder fysiske effekter som flom, skred etc., effekter på naturlige og kultiverte økosystemer)
- Samfunnsmessige og økonomiske effekter av og tilpasninger til klimaendringer på ulike samfunnssektorer og -områder (herunder fiskeri-, jordbruks-, skogbruks-, samferdsels- og energisektorene, turisme, bosettingsmønster, beredskap og folks helse og livskvalitet)

Gruppen har anledning til å foreta ytterligere avgrensninger/presiseringer.

Gruppens rapport bør ikke overskride 40 sider inkludert et sammendrag på maksimalt 5 sider og skal gis følgende hovedstruktur:

- 1 Definisjon og avgrensning  
Forskningsrådets ”definisjon” av problemområdet med gruppens avgrensninger og presiseringer.
- 2 Sentrale forskningsbehov  
Kortfattet beskrivelse av forvaltningens, næringslivets og samfunnet for øvrigs behov for ny kunnskap med utgangspunkt i hva vi vet i dag. Identifikasjon av sentrale *forskningsbehov* med utgangspunkt i de nasjonale kunnskapsbehovene.
- 3 Tilgjengelig kompetanse og rekrutteringsbehov  
Kort beskrivelse av sentrale forskningsmiljøer og større pågående nasjonale forskningsaktiviteter på feltet. Identifikasjon av evt. områder hvor det er særlig behov for rekruttering og oppbygging av kompetanse med utgangspunkt i de identifiserte forskningsbehovene.
- 4 Internasjonal virksomhet på feltet  
Kort beskrivelse av relevante større internasjonale initiativer med vekt på aktiviteter der Norge deltar/burde delta. Identifikasjon av hvilke nasjonale forskningsbehov som kan dekkes helt eller delvis ved å trekke større vekslers på internasjonal forskning. Om mulig gi eksempler på organisering av den nasjonale forskningsinnsatsen knyttet til effekter av klimaendringer i et par land det er naturlig å sammenlikne oss med.
- 5 Gruppens forslag til prioriteringer  
Begrunnet forslag til tematisk og tidsmessig prioritering mellom de identifiserte forskningsoppgavene med omtrentlig angivelse av nødvendig ny finansi-

ering for hver omtalt oppgave.

Ved identifisering og prioritering av forskningsoppgaver skal gruppen legge til grunn følgende prioriteringskriterier hentet fra Strategisk plan for Miljø- og utviklingsforskning (1996):

*Forutsetninger:*

- At problemet er eller kan bli alvorlig. At kunnskapsmangel er identifisert og at problemet er forskbart.
- At forskning på temaet kan forventes å gi resultater innenfor en overskuelig tidsperiode og med en ressursbruk som står i forhold til problemets art og omfang.

*Relevans:*

- At forskningstemaene har relevans for viktige kunnskapsbehov og norske politiske mål i internasjonal og nasjonal sammenheng.
- At Norge har en spesiell stilling eller et spesielt ansvar ut fra politiske, økonomiske, kulturelle, geografiske, naturmessige eller ressursmessige forhold.

*Forskningskompetanse:*

- At det finnes spesielt sterk forskningskompetanse på temaet i Norge, slik at forskningen kan forventes å yte viktige bidrag til internasjonal kunnskapsutvikling.
- At forskningsfeltet er så sentralt at det bør bygges opp ny norsk kompetanse.

Det forventes og forutsettes at gruppen innhenter råd og bruker kompetanse utenfor gruppens rekke der det er nødvendig.

Gruppen er oppnevnt av og rapporterer til og gjennom Norges Forskningsråd, Området for Miljø og utvikling ved Direktør Karin Refsnes. Gruppens kontaktperson i Forskningsrådet er Rådgiver Terje Mørland. Kontaktpersonen deltar i gruppens møter.

**Rapporten ferdigstilles innen 15. juli 2001.** I tillegg bes gruppen innen 23. mai 2001 levere et foreløpig innspill til Forskningsrådet som grunnlag for å vurdere alternative løsninger for å organisere en evt. økt satsing på feltet.



## 2. Sammensetting

Navn	Institusjon	Ansvarsområde
Knut H. Alfsen	CICERO Senter for klimaforskning	Leder, tverrgående
Audun Rosland	Statens forurensningstilsyn	Tverrgående spørsmål, internasjonal arena, kontakt med MD/miljøforvaltningen
Rolf Anker Ims	Institutt for biologi, Universitetet i Tromsø	Naturlige terrestre økosystemer
Pål Prestrud	Norsk Polarinstitutt	Effekter i Arktis
Arild Vatn	Institutt for økonomi og samfunnsfag, NLH	Jordbrukssektoren, kontakt med LD/landbruksforvaltningen
Birger Solberg	Institutt for skogfag, NLH	Skogbrukssektoren
Harald Loeng	Havforskningsinstituttet	Fiskerisektoren, marine økosystemer, kontakt med FID/fiskeriforvaltningen
Nils Roar Sælthun	NIVA	Akvatiske økosystemer, energisektoren, flom, skred
Terje Kleven	NIBR	Samferdselsektoren, teknisk planlegging, sikkerhet og beredskap
Kristin Aunan	CICERO Senter for klimaforskning	Koordinator/sekretær
Terje Mørland	Norges forskningsråd	Forskningsrådets kontakt

Ansvarsområdene angitt for hvert medlem må anses som forslag, og gruppen har anledning til å justere ansvarsfordelingen.

Forskningsrådet forventer ikke at det innen arbeidsgruppen skal finnes tilstrekkelig fagkompetanse til å dekke hele den tematiske bredden spesifisert i mandatet. (Tilsvarende forventes ikke at enkeltmedlemmene skal ha fagkompetanse til å dekke hele sitt ansvarsområde). Derfor forutsettes det at gruppen innhenter råd i form av ekspertnotater e.l. fra fagpersoner utenfor gruppens rekke der det anses nødvendig. Det anbefales videre at gruppen tar utgangspunkt i relevante internasjonale dokumenter og erfaringer på feltet. Budsjettmidler vil bli satt av til innhenting av råd og informasjon.