

Hov, Ø. (red.). (2023). Norsk klimaforskning og Meteorologisk institutts rolle. I Ø. Hov (red.), *Forskning til samfunnsnytte: trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning* (s. 133–320). Fagbokforlaget.  
DOI: <https://doi.org/10.55669/oa220103>

3

# Norsk klimaforskning og Meteorologisk institutts rolle

Øystein Hov (red.)

## 3.1 Innledning: Fra kartlegging av Norges klimatologi til klimasystemforskning

Øystein Hov

Hensikten med denne artikkelen er å beskrive noen hovedtrekk ved norsk klimaforskning med særlig vekt på perioden etter 1970, og der det har vært bidrag fra Meteorologisk institutt. I artikkelen beskrives også hvordan kartlegging av Norges klima og formidling har vært en av Meteorologisk institutts hovedoppgaver siden opprettelsen i 1866.

Fram til 1990-tallet var klimaforskningen i Norge disiplinær og var i tillegg til den klimatologiske kartleggingen ved Meteorologisk institutt, mest knyttet til paleoklima, havenes sirkulasjon og biogeokjemiske kretsløp av kjemiske sporstoffer som påvirker atmosfærens varmebalanse. Klimasystemforskning i Norge begynte utover på 1990-tallet ved flere institusjo-

ner og omfatter nå alle jordsystemets elementer (atmosfære, hav, ferskvann, landjord, is, biogeokjemiske kretsløp) og deres sammenkoblinger, og med mange nasjonale og internasjonale forgreninger.

I den første delen av dette kapitlet gis det noen sammenfattende synspunkter på utviklingen i klimatologisk forskning som har vært en sentral del av Meteorologisk institutts virksomhet helt fra opprettelsen i 1866, fremveksten av nasjonal klimasystemforskning fra 1990-tallet, forskningsinfrastruktur og formidling.

I de etterfølgende delene av kapitlet går vi nærmere inn på disse punktene. Til slutt har vi noen oppsummerende vurderinger av fremtidige oppgaver og utfordringer knyttet til «klimaforskning til samfunnsnytte» («climate science for service»).

### 3.1.1 Kartlegging av Norges klima har vært Meteorologisk institutts territorium

En viktig del av begrunnelsen for å opprette Meteorologisk institutt var behovet for å kartlegge Norges klima. Komiteen som planla etablering av et norsk meteorologisk institutt på 1860-tallet, fastslo at «Mangelen af et grundig og omfattende Studium af vort Lands klimatologiske Forholde længe har været et Savn i Videnskaben, som det er vor Pligt at se afhjulpet».<sup>1</sup> Konservator Henrik Mohn ble professor og den første direktøren for instituttet, før det hadde han «vært beskjeftiget med reduksjon og sammenstilling av de meteorologiske observasjoner»<sup>2</sup> ved å beregne middelverdier, summer og ekstremer av de viktigste meteorologiske elementene (klimatologi).

Syv værstasjoner som telegrafdirektøren etablerte i 1860, ble overtatt da Meteorologisk institutt ble opprettet 1. desember 1866. I 1871 var det klimatologiske stasjonsnett økt til 53 værstasjoner.<sup>3</sup> Nedbørens betydning for vannkraftproduksjon førte til at Stortinget i 1894 gjorde en bevilgning til opprettelse og drift av 263 nye nedbørstasjoner og til etablering av nedbøravdelingen på Meteorologisk institutt i 1895. Mens Meteorologisk institutt med tilhørende klimaavdeling de første årene var en del av Universitetet

1 Barlaup, A. (red.) (1968). *Det norske meteorologiske institutt 1866–1966*. Fabritius og Sønners forlag, s. 24.

2 Ibid., s. 24.

3 Ibid., s. 27.

i Oslo, sorterte nedbøravdelingen lenge under «Departementet for de offentlige arbeider», senere «Arbeidsdepartementet».

Om nedbøravdelingens opprettelse heter det i «Nedbøriakttagelser i Norge» 1899:<sup>4</sup> «Landets Vasdrag har som bekjendt i den senere Tid faaet en stadig voxende Betydning for den tekniske og industrielle Virksomhed. Kravene paa mere detaillerede Oplysninger om Elvenes Vandføring, forsaavidt som denne er afhængig af Nedbørens Fordeling, kunde snart ikke længere tilfredsstilles ved Observationsmaterialet fra Instituttets regulære Stationer, hvorfor der paa Foranledning af den norske Ingeniør og Arkitektforening for Stortinget blev fremsat kongelig Proposition om Bevilgning paa Kanalvæsenets Budget til Oprettelse og Drift av 263 nye Nedbørstationer under det meteorologiske Instituts Administration.»

Meteorologisk institutt ble skilt ut fra Universitetet i Oslo i 1909 og ble en selvstendig institusjon under Kirke- og undervisningsdepartementet. Dermed tilhørte klima- og nedbøravdelingene ved Meteorologisk institutt to forskjellige departementer. Først i 1984 ble avdelingene slått sammen og arbeidsoppgavene samlet.

Klimaavdelingen registrerte og kvalitetskontrollerte data fra vær- og klimastasjonene, gjorde statistiske beregninger og publiserte resultatene i Meteorologisk årbok. Nedbøravdelingen hadde ansvar for opprettelse, nedlegging, inspeksjon og kvalitetskontroll av nedbørstasjonene, og publiserte nedbørstatistikk i Nedbøriakttagelser for Norge. Klimaforskningen ved Meteorologisk institutt var til inn på 1990-tallet knyttet til klima- og nedbøravdelingene. Hovedvekten var på tradisjonell, samfunnsviktig klimatologi. Metodikken var observasjonsbasert, og det var en langsiktig og kontinuerlig forpliktelse. Hensikten var ikke å forstå prosessene i jordas fysiske klimasystem, men å sørge for at Norges landområder kunne karakteriseres klimatologisk for så store deler av den instrumentelle tidsepoken som mulig og slik at tidsseriene med observasjoner og deres statistiske egenskaper er sammenlignbare uten store brudd eller hopp på grunn av stasjonsflytting, instrumentskifte eller endring av vegetasjon eller bebyggelse nær stasjonene (homogenitet). Vekten var på dataserier for én og én variabel, først og fremst temperatur og nedbør, senere også vind. Disse dataseriene ble vedlikeholdt og videreført til enhver tid.

---

4 Nedbøriakttagelser i Norge 1899. Det norske meteorologiske institutt.

Thor Werner Johannessen, som ledet klimaavdelingen fra 1957 til 1979, ga en levende beskrivelse av «Klimaavdelingen – arbeidsmetode og arbeidsområder» i boken som kom ut ved instituttets 100-årsjubileum i 1966.<sup>5</sup> Avdelingen behandlet klimaobservasjonene. De ble anvendt i land- og hagebruk, av luftfarten, regional- og områdeplanleggere, arkitekter, ingeniører, byggforskere og entreprenører, vei- og jernbaneingeniører, forsvaret, forsikringsselskapene, turisttrafikken, transportbedrifter, sport- og idrettsorganisasjoner, seiler- og motorbåtforeninger, kristelige organisasjoner som arrangerte utendørs stevner, vassdragsreguleringer, hydrologisk avdeling og iskontoret ved Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, Oslo lysverker, Samkjøringen, helsevesenet, en rekke elektrisitetsverk landet rundt og avisene. Målsettingen var å levere et kvalitetssikret og ajourført datagrunnlag til de ulike brukergruppene. Meteorologisk institutt ga viktige bidrag til samfunnssikkerhet og risikoreduksjon i alle værutsatte samfunnssektorer i Norge gjennom å skaffe til veie datagrunnlag for dimensjonering, planlegging og daglig drift. Observasjonssystemet og bearbeidelsen av observasjonene var motivert og drevet av dette formålet. Thor Werner Johannessen brukte ikke ordet «forskning» om arbeidet i klimaavdelingen. De ansatte var «funksjonærer» i ulike kategorier. Observasjonene, bearbeidelsen og dokumentasjonen var styrt av kravene som anvendelsene stilte. Oppbyggingen og driften av det nasjonale klimaobservasjonssystemet og bearbeidelsen og publisering av dataene for en lang rekke formål, var brukerinformert og i enkelte tilfeller brukerstyrt forskning, slik som til planlegging av vassdragsreguleringer og kraftoverføringslinjer. Forskertittelen var ikke i bruk på Meteorologisk institutt før på 1970-tallet.

Meteorologisk institutt har vært og er ganske enerådende når det gjelder kartleggingen av Norges landklima. Observasjoner kan komme også fra andre institusjoner, men Meteorologisk institutt kvalitetssikrer, setter dataene i system og formidler dem til ulike samfunnsformål, og sørger for sammenheng og oppdatering. Det er en levende infrastruktur som har økt i verdi med tiden. Samfunnet rundt anerkjenner at instituttet har og fyller denne rollen. Norges klimatologi er instituttets territorium. Mandatet er gitt av regjeringen.

---

5 Ibid., s. 137–154.



### 3.1.2 Klimasystemet i endring. Fra klimatologi til klimasystemforståelse

Rundt 1970 vokste miljøinteressen fram. Klimautviklingen var en del av dette. Det norske og internasjonale forsknings- og forvaltningslandskapet endret seg. Norsk institutt for luftforskning (NILU) ble etablert i 1969, Miljøverndepartementet i 1972 og Statens forurensningstilsyn (nå Miljødirektoratet) i 1974. Miljøforskningen og -forvaltningen etterspurte også vær- og klimatologiinformasjon, og anvendelsesområdet ble utvidet.

Hverken enkeltpersoner ved Meteorologisk institutt eller instituttet som institusjon tok en ledende rolle nasjonalt eller internasjonalt i klimaforskningen i tidsrommet fra Stockholmskonferansen i 1972 og til det nasjonale RegClim-prosjektet startet i 1997. Instituttet konsentrerte seg om Norges klimatologi. Stockholmskonferansen ble holdt i regi av FN og var på regjeringsnivå, United Nations Conference on the Human Environment. Den ble holdt i juni 1972 og var den første store, globale miljøvernkonferansen. Åpningsdagen 5. juni er siden markert som verdens miljøverndag. I alt 113 land deltok. Sovjetunionen og de østeuropeiske statene deltok ikke. Stockholmskonferansen vedtok FNs miljøvernerklæring «Declaration on the Human Environment», der menneskehetens forpliktelse overfor natur og miljø ble slått fast. Et annet resultat av konferansen var opprettelsen av FNs miljøvernprogram UNEP. På Stockholmskonferansen deltok en stor norsk delegasjon ledet av Olav Gjærevoll, som var miljøvernminister. Han hadde med embetsverk fra Miljødepartementet, en av dem var ekspedisjonssjef Erik Lykke, og stortingspolitikere, bl.a. Per Borten. Det var flere fagrådgivere, blant dem var Kjell Baalsrud, som var sjef for NIVA, mens Brynjulf Ottar, NILUs instituttsjef, var «alternative representative». <sup>6</sup> Meteorologisk institutt var ikke med. Sveriges «case study» som ble presentert på Stockholmskonferansen, var «Air Pollution across National Boundaries: The Impact on the Environment of Sulfur in Air and Precipitation». <sup>7</sup>

Verdens meteorologiorganisasjon WMO arrangerte flere klimamøter der det til å begynne med var deltagelse på direktørnivå fra Meteorologisk

6 Se <https://digitallibrary.un.org/record/1659277?ln=en>

7 Bolin, B., Granat, L., Ingelstam, L., Johannesson, M., Mattsson, E., Oden, S., Rodhe, H. & Tamm, C.O. (1971). *Air pollution across national boundaries: the impact on the environment of sulfur in air and precipitation*. Sweden's case study for the United Nations Conference on the Human Environment. Royal Ministry for Foreign Affairs and Royal Ministry of Agriculture, Stockholm.

institutt. F.eks. deltok direktør Kaare Langlo på det som var den første World Climate Conference i 1979 i Genève sammen med Arne Grammeltvedt, som da var professor ved Universitetet i Bergen, og Ingolf Kanestrøm, som var førsteamanuensis og senere professor i meteorologi ved Universitetet i Oslo. Møtet i 1979 førte til etableringen av World Climate Programme (WCP) der World Climate Research Programme (WCRP) er forskningsdelen, bygget over erfaringene fra Global Atmospheric Research Programme (GARP) som direktør Ragnar Fjørtoft hadde tillagt stor betydning for utviklingen av værvarslingen globalt.<sup>8</sup>

Norsk rådgivningsutvalg for Verdens klimaprogram (WCP) ble opprettet av Kirke- og undervisningsdepartementet i 1980 straks etter den første klimakonferansen i Genève i 1979, og hadde som mandat å foreta en samlet vurdering av Norges engasjement i WCP, og virke som rådgivende utvalg for norsk klimaforskning i WCP. Utvalget hadde fem års funksjonstid og ble ledet av Kaare Langlo.<sup>9</sup> Utvalget publiserte en kort rapport i 1983 der muligheten for global oppvarming ble viet oppmerksomhet<sup>10</sup> på grunnlag av internasjonale forskningspublikasjoner, blant annet av Syukuro Manabe og Klaus Hasselmann som i 2021 fikk Nobelprisen i fysikk for «groundbreaking contributions to our understanding of complex systems», nærmere bestemt «for the physical modelling of Earth's climate, quantifying variability and reliably predicting global warming».<sup>11</sup> Utvalgets arbeid førte i første omgang ikke til nye forskningsinitiativ. Det observasjonsbaserte, klimatologiske, rutineorienterte utgangspunktet var fortsatt Meteorologisk institutts bidrag, drevet av klimaavdelingen som i praksis var en ganske selvstendig virksomhet i instituttet både når det gjaldt observasjoner, analysemetoder, etter hvert IT-løsninger og internasjonalt samarbeid, ikke minst med de andre nordiske landene. Dette gjøres det nærmere rede for senere i artikkelen.

WMO, UNEP og International Council of Scientific Unions (ICSU) arrangerte klimakonferansen som ble holdt i Villach i Østerrike i 1985.

8 Se nærmere om GARP i artikkelen om Norges vei til medlemskap i ECMWF.

9 De øvrige medlemmer var Arnt Eliassen, UiO, Arne Grammeltvedt, UiB, Rikard Ljøen, Havforskningsinstituttet, Martin Mork, UiB, Brynjulf Ottar, NILU, Arne Skjelvåg, Norges landbruksvitenskapelige forskningsråd, Ås, Torgny Vinje, Norsk Polarinstitutt.

10 Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier: Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press, s. 400.

11 <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/>

NIVAs instituttssjef fra 1980, Lars Overrein, deltok fra Norge. I perioden 1972–1980 ledet han det store, interdisiplinære forskningsprosjektet «Sur nedbørs virkning på skog og fisk» (SNSF). I 1988 var det ministerkonferanse i Toronto, «The Changing Atmosphere». Statsminister Gro Harlem Brundtland var hovedtaler om «Our Common Future», også kalt Brundtland-kommisjonens rapport. Foruten henne deltok Per Bakken fra Miljøverndepartementet (MD), han var viktig i forhandlingene som førte til Montrealprotokollen om reduksjon av utslipp som reduserer ozonlaget, ekspedisjonssjef Jan Thompson fra MD og Arne Tollan fra NVE. Ingen deltok fra Meteorologisk institutt, skjønt statsministeren var hovedtaler, temaet var relevant for Meteorologisk institutt som forvaltningsinstitusjon og møtet var organisert av WMO der instituttets direktør er Norges faste representant.

Senere på 1980-tallet ble drivhuseffekten og klimautviklingen utredet av et interdepartementalt utvalg. På oppdrag fra Miljøverndepartementet kom en rapport i november 1989 som et bidrag til dette arbeidet, skrevet av Geir Ole Braathen, Harald Dovland og Bjørn Aune.<sup>12</sup> Geir Ole Braathen var forsker og Harald Dovland prosjektsjef og fra 1989 til 1995 direktør ved NILU. Bjørn Aune ledet Klimaavdelingen ved Meteorologisk institutt. I rapporten beskrives klimasystemet, globale observasjoner og modellberegninger. Bjørn Aunes kapittel har overskriften «Norsk klima de siste 100 år» og er et utdrag fra rapporten «Lufttemperatur og nedbør i Norge. Utvikling i løpet av tiden med instrumentelle målinger»,<sup>13</sup> en sammenstilling av klimatologidataene ved Meteorologisk institutt fram til da uten videre diskusjon eller vurderinger. I en annen rapport til Miljøverndepartementets utredningsarbeid oppsummerte bl.a. Anton Eliassen og Arne Grammelvedt, hhv. meteorologidirektør og direktør for Meteorologisk institutt, hva som kunne sies om klimaendringer lokalt og i Norge som en følge av en fremtidig dobling av atmosfærens CO<sub>2</sub>-innhold, basert på resultatene fra den koblede NCAR-modellen som lot atmosfære og hav strømme fritt, beskrevet av Washington og Meehl, 1989.<sup>14</sup> Vurderingene om videre klimaendringer i Norge står seg

12 Braathen, G.O., Dovland, H. & Aune, B. (1989). *Foreløpig rapport fra NILU og Meteorologisk institutt om drivhuseffekten og klimautviklingen* (NILU OR: 79/89). Norsk institutt for luftforskning.

13 Rapport 26/89 fra Meteorologisk institutt. Rapporter fra Meteorologisk institutt kan lastes ned fra <https://www.met.no/publikasjoner/met-report>

14 Washington, W.M. & Meehl, G.A. (1989). Climate sensitivity due to increased CO<sub>2</sub>: Experiments with a coupled atmosphere and ocean general circulation model. *Climate Dynamics*, 4, 1–38.

i grove trekk også i dag, men grunnlaget for dem er selvfølgelig et helt annet nå over 30 år senere.<sup>15</sup> En mer omfattende rapport til den interdepartementale klimautredningen ble publisert i april 1990<sup>16</sup> med forfattere fra Havforskningsinstituttet (HI), NILU, Meteorologisk institutt, Universitetet i Oslo (UiO) (marinbiologi og meteorologi) og Universitetet i Bergen (UiB) (paleoklimatologi, meteorologi og oseanografi).

I 1989 la Nasjonal komité for miljøvernforskning i NAVF ledet av professor Lars Walløe og med Anton Eliassen som nestleder, fram forslaget om «Program for klima- og ozonforskning».<sup>17</sup> Det var bevilget penger fra regjeringen til å starte programmet i regi av Norges allmennvitenskapelige forskningsråd (NAVF). Programmet hadde som formål at på klimaområdet skulle måling og overvåking av drivhusgassene og troposfærens sammensetning styrkes, havets og biosfærens rolle studeres, og det skulle bli mer målrettet arbeid når det gjelder paleoklima og klimamodeller. Innen ozonforskningen skulle måling av stratosfæreozone og totalozon forbedres, og arbeidet med atmosfærekjemisk modellering skulle intensiveres. Tredje hovedfelt var studier av fysiske og biologiske effekter av endringer i klima og ozonlaget.

Programstyrets leder var Øystein Hov, forsker ved NILU og professor i miljørettet meteorologi ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen 1989–1996 da han overtok som direktør for NILU. Kirsten Broch Mathisen i Forskningsrådet var fagsekretær. Andre medlemmer i programstyret var blant andre geologiprofessor Jan Mangerud fra UiB, forskningsleder Johan Blindheim fra HI, geologiprofessor Tore Worren fra Universitetet i Tromsø og Anton Eliassen fra Meteorologisk institutt. Flere av dem som i dag er blant seniorene i norsk klima- og polarforskning, fikk etter hvert sin forskerutdanning finansiert gjennom klima- og ozonprogrammet.

Det var ikke nevneverdig internasjonalt engasjement ved Meteorologisk institutt på 1980-tallet i klimaforskning i regi av WCRP eller International Global Biosphere Programme (IGBP), de toneangivende internasjonale klimaforskningsprogrammene fra slutten av 1970-tallet og i flere tiår fram-

15 Eliassen, A., Grammelvedt, A., Mork, M., Pedersen, K., Weber, J.E., Braathen, G. & Dovland, H. (1989). *Klimaendring i Norge ved økt drivhuseffekt*. Rapport til Miljøverndepartementets klimautredningsgruppe.

16 Blindheim, J., Braathen, G.O., Dovland, H., Gray, J.S., Hanssen-Bauer, I., Hov, Ø., Isaksen, I., Mangerud, J., Mork, M. & Pedersen, K. (1990). *Drivhuseffekten og klimautviklingen* (NILU OR: 21/90).

17 Se <https://www.nb.no/items/578d11373d199726cf45e769364de7be?page=0&searchText=%22forskningsprogram%20for%20klima%20og%20ozon%22>

over, selv om klimaendringsproblematikken var blitt mer aktuell også for instituttets kjerneaktivitet. WCRP ligger under WMO, UNESCOs Intergovernmental Oceanography Commission (IOC) og ICSU i fellesskap, mens IGBP var organisert under ICSU. Den første IPCC-rapporten kom i 1990 og fikk stor oppmerksomhet faglig, politisk og hos allmennheten.<sup>18</sup>

Klimatologiarbeidet og -forskningen ved Meteorologisk institutt bevarte karakteren som tjenesteytende, «science for service». Det vokste fram internasjonalt samarbeid som støttet opp under den metodologiske utviklingen, først med meteorologiske institutter i andre nordiske land og enkelte land på Kontinentet, og senere også med akademiske institusjoner i inn- og utland. Dette gjøres det nærmere rede for senere i denne artikkelen.

Klima- og ozonprogrammet i NAVF (fra 1993 i Norges forskningsråd) finansierte i første fase 1989–1996 hovedsakelig forskning innen fagfelt der Norge hadde en sterk internasjonal vitenskapelig status fra før. Forskningen omfattet blant annet tidligere tiders klima både på land og til havs (paleoklima), virkninger av klimaendringer på naturlig vegetasjon, regionale klimaprosesser i havet, CO<sub>2</sub>-opptaket i Nord-Atlanteren, og atmosfæriske fysiske og kjemiske prosesser som påvirker utvekslingen av strålingsenergi med verdensrommet. Forskningen var både eksperimentell, observasjons- og modellbasert, og fokuserte på enkeltprosesser. Etter hvert mente styret for Klima- og ozonprogrammet at det var grunnlag og behov for et koordinert nasjonalt klimaforskningsprosjekt for å kunne ta fatt på mer omfattende problemstillinger. Dette falt også sammen med Miljøverndepartementets behov, som i et brev til Klima- og ozonprogrammet fra avdelingsdirektør Håvard Toresen 24. oktober 1996<sup>19</sup> skrev:

Regionale klimamodeller: Ved prioritering av den nasjonale klimaforskningen sier Klima- og NO<sub>x</sub>-meldingen at det bør stimuleres til forskning innen områder der Norge pga. geografisk beliggenhet, faglig tradisjon og kompetanse har spesielle forutsetninger til å tilføre det internasjonale samfunnet ny viten omkring klimaspørsmål. Forskningen bør videre søke å bidra til økt kunnskap og innsikt innen problemområder hvor den vitenskapelige usikkerheten er stor.

18 <https://www.ipcc.ch/report/climate-change-the-ipcc-1990-and-1992-assessments/>

19 Brev fra MD til Norges forskningsråd 24. oktober 1996, ref. 96/ -ILD Bno.

I arbeidet med å redusere usikkerheten i fremskrivningen av klimautviklingen peker IPCC i sin annen hovedrapport, fremlagt i desember 1995, bl.a. på behovet for utvikling av regionale klimamodeller som med større nøyaktighet kan beskrive hvordan de globale klimaendringene slår ut på regionalt nivå. Utvikling av regionale modeller for Skandinavia og deler av Nord-Atlanteren som et supplement til dagens globale klimamodeller vil kunne gi vesentlig ny informasjon både om den globale klimautviklingen og hvordan klimaet vil slå ut i Norge og våre egne nærområder. Det vises i denne forbindelse til eget brev datert 17. juni 1996 til Forskningsrådet fra formannen i styringsgruppen for Klima- og ozonforskningsprogrammet med en omtale av behovet for økt innsats på dette området.

Vi ber om at det for 1997 settes av 4–5 mill. kr. på Klima- og ozonforskningsprogrammets budsjett til utvikling av regionale beskrivelser av klimautviklingen i Norge og våre nærområder.

Dette ga støtet til et nasjonalt koordinert prosjekt RegClim ledet av Trond Iversen som da var professor ved Institutt for geofysikk, UiO. Han redegjør nærmere for RegClim senere i denne artikkelen. Sekretariatet for prosjektet lå fra starten av ved Meteorologisk institutt. Prosjektet tok til i 1997–1998, og grunnlag og metodikk ble lagt både for dynamisk nedskalering, empirisk-statistisk nedskalering, global klimamodellering, trendanalyser av tids-serier, havmodellering, analyser på paleotidsskala osv. i Norge. RegClim fikk stor betydning for forvaltningen og allmennheten gjennom formidlingen av resultatene, der det ble tatt utgangspunkt i spørsmålene som var stilt fra Miljøverndepartementet da programmet ble etablert. RegClim lyktes etter hvert å bli et nasjonalt, samlende prosjekt, og erfaringene vunnet i prosjektet var en del av grunnlaget for Bjerknessenteret for klimaforskning som fikk status som Senter for fremragende forskning i 2002.<sup>20</sup> Over en tiårsperiode utviklet RegClim-samarbeidet norsk vitenskapelig og teknisk kompetanse innen klimamodellering, og etablerte et solid grunnlag for avanserte studier av menneskeskapte klimaendringer og deres effekter på natur og samfunn. Prosjektet utløste nye nasjonale satsinger som ennå (2022) gir betydelige bidrag til internasjonal forskningsbasert jordsystem-modellering, globale

---

20 Vollset, M., Hornnes, R. & Ellingsen, G. (2018). *Calculating the world: The history of geophysics as seen from Bergen*. Fagbokforlaget, s. 302 ff.

og regionale klimaberegninger, analyser av observasjonsdata og økt forståelse av jordas klimasystem. Det ble utviklet forskningsinfrastruktur som har vokst og utviklet seg videre og som er sentral i dagens klimaforskning, klimatilpasning og i utformingen av politikken som skal føre til reduserte drivhusgassutslipp.

Klimautviklingen er av stor samfunnsbetydning. Det må et samspill til over tid mellom forskning, publisering, forskningspolitikk, anvendelse av resultater i forvaltning og næringsliv, formidling til allmennheten og organisasjoner nasjonalt og internasjonalt for å realisere samfunnsbetydningen av forskningen og for at forskningen skal være samfunns- og brukerinformert. Intellektuelle, organisatoriske, politiske og økonomiske ressurser må mobiliseres på en felles arena og holdes der over tid for at de samfunnsmessige utfordringene skal nærme seg en løsning. Dette kan karakteriseres som å etablere, ta og beherske territorier. Trond Iversen ledet oppbyggingen av det «nasjonale klimaforskningsterritoriet» gjennom RegClim-prosjektet.

### 3.1.3 Klimaforskningens infrastruktur

Observasjonsinfrastrukturen for nedbør som ble opprettet av Meteorologisk institutt på slutten av 1800-tallet, hadde en viktig samfunnshensikt og var dermed gjenstand for varig myndighetsstøtte. Infrastrukturen var en del av instituttets kjernevirksomhet og har vært brukt i tallrike konkrete anvendelser. Den er grunnlaget for forskning og utvikling, og den har fått følge av utvidelser med flere værparametere og koblinger til annen infrastruktur slik som kvalitetssikring, dataforvaltning og tilgjengeliggjøring, avledede tjenester, modellutvikling og -verifikasjon, og andre observasjonsplattformer som radiosonder, bøyer på havet, værradar og ikke minst satellittbaserte observasjoner. Den er nå en del av en bred infrastruktur som Meteorologisk institutts operasjonelle virksomhet baserer seg på, samtidig som den også er en forskningsinfrastruktur. En slik sammensmeltning gjør at anvendelseserfaringene er med i grunnlaget for videre forskning. Kvalitet, hensiktsmessighet og fornyelse av den operasjonelle infrastrukturen økes også gjennom at den er basis og gjenstand for forskning og utvikling.

Observasjonene som ble startet før 1900, har gitt stor samfunnsmessig avkastning i form av et sikrere grunnlag for værutsatte samfunnsinvesteringer og i redusert økonomisk samfunnsrisiko. Så lange tidsserier gir også et

bedre grunnlag for å studere historiske klimavariasjoner og for å vurdere de statistiske egenskapene ved ekstremverdier for temperatur, nedbør og vind, og som ofte er dimensjonerende for værutsatte konstruksjoner.

Erfaringen fra Meteorologisk institutt tilsier at samfunnsnær forskningsinfrastruktur har mye å vinne på å ta utgangspunkt i, sammenfalle med og forsterke den operasjonelle. Det motsatte er mindre effektivt, dvs. å håpe på at en forskningsinfrastruktur også kan vise seg å ha varig nytte som en operasjonell infrastruktur. En forutsetning for at den operasjonelle infrastrukturen (observasjoner, modeller, dataforvaltning) også skal tjene som en forskningsinfrastruktur er at den stilles til rådighet for forskning og utvikling også utenfor instituttet. Dette var tidligere ikke så utbredt ved Meteorologisk institutt, men har høyere prioritet i dag, og forutsetningene ligger bedre til rette med internett og en åpen datapolitikk. Ikke minst er det viktig at universitets- og høyskolesektoren tar instituttets infrastruktur i bruk i forskning og undervisning. Bruken av instituttets infrastruktur kan imidlertid hindres av individuelle preferanser i akademisk sektor og vansker ved Meteorologisk institutt i form av svak vilje til tilrettelegging og åpenhet. I praksis er det av stor betydning at kombinerte forsknings- og operasjonelle infrastrukturer legges til institusjoner som trenger denne infrastrukturen for å realisere sine hovedoppgaver, og som har en langsiktig finansiering. Når institusjoner i akademia kobler seg nokså tett på infrastrukturen f.eks. ved Meteorologisk institutt, vil det over tid skje en gjensidig kvalitetsheving på flere måter: (i) Erfaringstilfanget fra anvendelsene kan informere forskningen, og anvendelsene øker i kvalitet og bredde når forskere og brukermiljøene går om hverandre, og (ii) kandidater i utdanning i akademisk sektor blir fortrolige med hva som er metoder, muligheter og utfordringer i anvendt sektor, noe som er til gjensidig fordel både for kandidatene og for sektoren mange av dem vil finne ansettelse i senere.

### 3.1.4 Forskning til samfunnsnytte – formidling av klimakunnskap

Formidlingen fra Meteorologisk institutt var fram til 1990-tallet basert på data og informasjon som instituttet selv hadde samlet inn og vurdert. Den tok utgangspunkt i materiale som instituttet hadde kontroll på og kjente alle deler av prosessen for fra «råmateriale» fram til informasjon og kunnskap.



Perspektivet var nasjonalt, informert av nyttehensyn, og arbeidet var basert på metodikk utviklet gjennom samarbeid med tilsvarende klimatologimiljøer særlig i Norden for øvrig, men også innen Europa og i regi av WMO (Commission for Climatology). Formidlingen ble etter hvert mer preget av en helhetsoppfatning av klimautviklingen, det var særlig merkbart etter at RegClim ble startet i 1997 som et nasjonalt prosjekt med vekt på å øke forståelsen av klimasystemet og dets endring.

Meteorologisk institutts formidling av forskningen har først og fremst vært gjennom brukerinformerte og forskningsdrevne tjenester fra den operasjonelle virksomheten. En rekke formidlingskanaler, karakteristiske for «forskning til samfunnsnytte», er brukt, som publisering i vitenskapelige tidsskrifter, oppsummering av kunnskapsnivået for bestemte temaer – «assessments», rapporter for bestemte formål og oppdragsgivere, nasjonal klimastatistikk i bokform, populærvitenskapelige beskrivelser, løpende tjenester som månedsoversikter og som elektronisk tilgang til datagrunnlaget for norsk klimatologi. Omfanget av publisering i vitenskapelige tidsskrifter har vokst i takt med omfang og relevans av klimaforskningen. Tradisjonelt har instituttets viktigste publiseringskanal for klimaforskning og klimakunnskap vært rapporter skrevet som svar på et spesifikt oppdrag eller problemstilling, årbøker eller dedikerte oppstillinger av klimatologisk informasjon. Instituttet har også en lang historie med populærvitenskapelig publisering, bl.a. gjennom periodiske publikasjoner som kom ut i en del år til stofftilfanget var forholdsvis uttømt, som *Været*,<sup>21</sup> *Vær og Klima* og *KLIMA*.<sup>22</sup>

---

21 Startet i 1977 (slutt i 1988 da Vær og Klima overtok fram til 1995) som et samarbeid mellom Meteorologisk institutt og Universitetsforlaget og skulle omfatte populærvitenskapelige artikler om meteorologi, alt om vær som kan ha allmenn interesse og være av opplysende karakter (ref. Det norske meteorologiske institutts årsberetning for budsjettåret 1. januar–31. desember 1977, Gunnar Spinnangr var ansvarlig redaktør, s. 16).

22 Tidsskriftet KLIMA kom ut 1978–1985 med hovedformål å publisere rapporter og artikler om klima og med vekt på praktisk informasjon (ref. Det norske meteorologiske institutts årsberetning for 1. januar 1978–31. desember 1978, Bjørn Aune var ansvarlig redaktør, s. 24).



Figur 3.1 Klimapublikasjoner fra Meteorologisk institutt: De populærvitenskapelige tidsskriftene *Været* (1977–1988) og *Vær og Klima* (1989–1995), tidsskriftet *Klima* (1978–1985) og eksempel på fagrapport *Klima*, som kom ut fra 1983, nå kalt *Meteorologisk institutt-klimarapport* (se [www.met.no](http://www.met.no)).

Meteorologisk institutts klimarapporter opp gjennom årene har vært saksorienterte. Hensikten har vært å bidra til planlegging og risikoreduksjon for spesifikke samfunnsinvesteringer og tiltak som f.eks. ras- og flomsikring og utbyggingsoppgaver som bruer og flyplasser. Klimaforskningsformidlingen ved Meteorologisk institutt har vært saksrettet uten å dekke en bredere forståelsesagenda enn det instituttet selv kunne stå inne for. Dette har bidratt til at instituttet, fortjent eller ufortjent, har stor troverdighet i offentlighetens øyne når det gjelder kunnskap og informasjon om nasjonalt klima, klimaendringer og også årsaken til endringene. Men instituttet har også fått kritikk for ikke tidlig og tydelig nok å ha uttalt seg om menneskeskapte klimaendringer og konsekvensene de har og kan få. Se også artikkelen «Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC» av Trond Iversen, Anton Eliassen og Øystein Hov senere i boken.

Fra slutten av 1990-tallet har klimautviklingen og klimaforskningen ført til at gapet er redusert mellom den tradisjonelle klimatologiske kunnskapsfrembringelsen ved instituttet og formidlingen av forskningsresultater om klimasystemets funksjon og endring. Det er blitt naturlig og nødvendig å knytte kunnskapen om nasjonal klimatologi til de globale rammebetingelsene for nasjonalt klima – disse endres så mye at det har ganske stor påvirkning på nasjonalt klima og klimaprognoiser. Gjennomslagskraften som instituttet oppnår i denne delen av klimaformidlingen, bygger på tilliten og troverdigheten opparbeidet i befolkningen og i spesialiserte sektorer gjennom klimatologi- og værvarslingsarbeidet som strekker seg mer enn 100 år bakover i tid, og ved at dette arbeidet har hatt en faktaorientert innretning uten særlig personfokusering. Statsmeteorologenes bidrag i klimaformidlingen, f.eks. gjennom den årlige gjennomgangen av «fjorårets klima», har betydning fordi de har høy troverdighet fra værmeldingen.<sup>23</sup> «Klimaforskningsindustrien» kan være en samlebetegnelse på alle kunnskapsmiljøer som er opptatt av klimaforandringene, og den lever i en symbiose med «medieindustrien» som er en samlebetegnelse på alle slags formidlingskanaler. Meteorologisk institutt er etter denne definisjonen en del av «klimaforskningsindustrien», men instituttets formidlingshistorie i klimaforskning

---

23 Om «TV-meteorologen som klimaformidler», se f.eks. <https://www.emetsoc.org/outreach-award-for-norwegian-tv-meteorologists-communicating-climate-change/>

er bare i liten utstrekning et barn av denne symbiosen, selv om det er blitt vanligere at forskere også ved Meteorologisk institutt sier at «de er bekymret over klimautviklingen». Medieindustrien ønsker å fremstille forskeren som et helt menneske av kjøtt og blod og med følelser slik at vedkommende kan intervjues ute i naturen i et observasjonsoppdrag og med gravrøst «formidle sin fortelling» eller «reise» og si at «denne prøven viser hvor alvorlig situasjonen er, og jeg er meget bekymret».

Et annet særtrekk ved Meteorologisk institutts forskningsbaserte klimaformidling er at den reflekterer kjernekunnskap i virksomheten, og den hverken står eller faller med en bestemt persons medvirkning eller et bestemt prosjekt eller en bestemt tidsavgrenset finansiering. Klimaformidlingen ved Meteorologisk institutt reflekterer strukturkapital som er bygget opp som en sentral del av institusjonens virksomhet over en svært lang rekke år, med metodikk som er sammenhengende og som legger til rette for en kontinuerlig verdikjede gjennom den instrumentelle tidsperioden, supplert med modellinnsikt for de siste 30 år eller så. Denne virksomheten gir Meteorologisk institutt en særlig plass og betydning i formidlingen av norsk klimaforskning.

Med en slik plass følger også et ansvar for å ha et selvkritisk blikk på egen virksomhet. Det kan settes spørsmålstegn ved fastholdelsen av at fokus fortsatt er på klimatologien for det norske fastlandet og Svalbard, i mindre grad på forholdene i norsk økonomisk sone til havs eller for større landområder, eller på andre værelementer enn temperatur, nedbør og vind. Det er også på tide å revurdere nytten av et begrep som «normal» eller «mot normalt» når de statistiske egenskapene ved parametrene det regnes ut «normale» statistiske fordelinger for, gjerne over en 30-års periode, endrer seg systematisk så mye som nå.

Det tradisjonelle instituttperspektivet gir en trygg og forutsigbar ramme, men verdikjeden for forskning og tjenesteyting utvikler seg og eies i stadig mindre grad av en bestemt institusjon. I norsk klimatologi har det vært naturlig for Meteorologisk institutt å se hen til Havforskningsinstituttet, Norges vassdrags- og energidirektorat, Norsk Polarinstitut og deler av akademia og instituttsektoren for forskningssamarbeid. Erfaringene og samarbeidsrelasjonene fra RegClim-prosjektet og Bjerknnessenteret for klimaforskning (BCCR) i Bergen har hatt en vesentlig betydning for den videre utviklingen av klimaforskning i Norge, og for det faglige grunnlaget og evnen

til å yte relevante tjenester til arbeidet med nasjonal klimatilpasning. Meteorologisk institutt etablerte i 2011 Klimaservicesenteret (KSS) for dette formålet, der også NVE, BCCR og forskningsselskapet NORCE er partnere. Dette er nærmere beskrevet nedenfor.

## 3.2 Kartlegging av Norges klima

### 3.2.1 Meteorologisk institutts stasjonsnett – innledning

Øystein Hov

Meteorologisk institutts stasjonsnett har et klart og viktig samfunnsformål: Å redusere risiko både på kort og lang sikt i alle værutsatte deler av samfunnet. Observasjonsinfrastrukturen er en kjernevirksomhet som brukes i tallrike konkrete anvendelser, den er grunnlaget for forskning og utvikling, og den har fått følge av utvidelser og koblinger til kvalitetssikring, datalagring, tilgjengeliggjøring og gjenbruk, avledede tjenester, modellutvikling og verifikasjon. Observasjonsinfrastrukturen er en sentral del av infrastrukturen som instituttets operasjonelle virksomhet baserer seg på, samtidig som den også er viktig for instituttets forskning og forskningsinfrastruktur. Dette gir og har gitt stor samfunnsmessig avkastning i form av risikoreduksjon knyttet til samfunnsinvesteringer i sektorer som er væravhengige eller værpåvirket, og det har gitt grunnlaget for sikrere avkastning i for eksempel energisektoren der kunnskap om fremtidig vær og klima er avgjørende for produksjon, prisdannelse og omsetning. Nærmere eksempler følger i dette kapitlet.

Meteorologisk institutt stiller den operasjonelle infrastrukturen (observasjoner, modeller, dataflyt) til rådighet for forskning og utvikling også utenfor instituttet, og det praktiseres en åpen og gratis datapolitikk. Ikke minst er det viktig at universitets- og høyskolesektoren tar instituttets observasjonsinfrastruktur i bruk i forskning og undervisning. Dette er viktige momenter i vurderingen av den langsiktige samfunnsavkastningen av forskningsinfrastruktur. Antall vitenskapelige publikasjoner er et gjengs kvantitativt mål for slik avkastning. Vel så viktig er det at forskningsresultater som har samfunnsrelevans, brukes til å forsterke verdikjedene i samfunnsleveranser eller samfunnstjenester, for eksempel i sikrere værmeldinger eller et bedre grunnlag for vurdering av sannsynlig utfallsrom for fremtidige klimaendringer.

I arbeidet med å utvikle tjenester er vitenskapelige publikasjoner ofte bare et «råstoff». En brukerinformert forståelse av hva som er spesielt viktige elementer i tjenesteleveransene kan derimot bidra direkte til å informere videre forskningsinnsats.<sup>24</sup>

### 3.2.2 Utviklingen av Meteorologisk institutts stasjonsnett

Eirik J. Førland

Instituttets stasjonsnett er gjennom årene betydelig utvidet, men noen av de tidligste vær- og nedbørstasjonene er fortsatt i drift. I Meteorologisk institutts klimarapportserie<sup>25</sup> er det presentert stasjonshistorie for bl.a. Utsira 1867–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 37/96), Karasjok 1876–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 9/96), Vardø 1829–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 10/96), Oksøy 1869–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 11/96), Ona 1868–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 14/96), Bodø 1867–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 20/96), Tromsø 1867–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 22/96) og Dombås 1864–d.d. (Meteorologisk institutts klimarapport 09/2021). Verdens meteorologiorganisasjon WMO ba nylig medlemslandene velge ut spesielt viktige hundreårsserier. For Norge er dette Utsira, Færder (1885), Dombås, Karasjok, Vardø, Bjørnøya og Jan Mayen. Senere i dette kapitlet er det en beskrivelse av lange måleserier og målinger i Arktis. Det ble etter hvert vanskelig å skaffe dyktige observatører til å foreta manuelle observasjoner 3–4 ganger i døgnet året gjennom, og med nye tekniske løsninger ble stasjonsnettet gradvis automatisert. For korttidsnedbør var automatiske målinger med Plumatic vippepluviograf i regulær drift fra 1968, og utover på 1970-tallet begynte overgang til automatiske målinger også av andre værelementer, først av temperatur, fuktighet og vind for å kartlegge mulige endringer i lokalklima ved vassdragsreguleringer. Auto-

---

24 Narayanamurti, V. & Odumosu, T. (2016). *Cycles of invention and discovery*. Harvard University Press, 170 p.

25 Klimarapportserien er digitalisert og kan lastes ned fra <https://www.met.no/publikasjoner/met-report>

matiske målinger i utvalgte områder ble da utført med norske Aanderaa-værstasjoner<sup>26</sup> der dataene ble lagret lokalt på magnetbånd. Observasjonsinfrastrukturen er etter hvert kraftig utvidet, først og fremst gjennom satellittobservasjoner fra slutten av 1970-tallet, gjennom automatiske værstasjoner som erstatter de manuelle, og ikke minst gjennom værradarnettverket i Norge og Norden. Observasjonene fra andre etater og fra privatpersoner er etter hvert også tatt i bruk. Formålet avgjør hvilke observasjonskilder som er egnet, samtidig som metodikk i værvarsling og klimaforskning konvergerer. Gjennom reanalyse brukes numerisk værvarsling med dataassimilasjon til å beregne været på nytt spesielt for tidsperioden med satellittobservasjoner, men også lenger bakover i tid. Bøyenettverket til havs er også viktig i denne forbindelse. Meteorologisk institutt hadde tidlig et program for automatiske bøyer i havet, for eksempel heter det i årsberetningen for 1967 at «værskipene er blitt sterkere engasjert i Meteorologisk institutts program for automatiske stasjoner i bøyer. Dette har ført til at en av og til har måttet dirigere skipene bort fra den faste stasjonen for å foreta kontroll av en drivende bøye».<sup>27</sup> Men for klimatologiarbeidet ved instituttet var ikke de drivende bøyene av betydning, og heller ikke satellittobservasjoner før evnen til å assimilere slike data i reanalysesammenheng er blitt utviklet i de senere årene.

Hvor tett stasjonsnett trengs i Norge, og hvor bør stasjonsnettet styrkes? En objektiv metode til å vurdere hvor tett stasjonsnett som trengs til å kartlegge geografiske variasjoner i hhv. minimumstemperatur og døgnedbør, er beskrevet i Meteorologisk institutts klimarapport 07/97. For temperatur ble det funnet at antall stasjoner i et «optimalt nettverk» (212) ikke var langt unna antall stasjoner (202) som ble brukt i analysen. Men den geografiske fordeling av eksisterende stasjoner var ikke optimal. I Meteorologisk institutts klimarapport 21/98 ble det presentert en total vurdering av observasjonsbehovet for klimatologiske formål med utgangspunkt i instituttets nett av målestasjoner. Vurderingene ble så sammenholdt med anbefalinger fra WMO og praksis i andre land. Rapporten konkluderte med at det var et underskudd på målestasjoner for både temperatur, nedbør og en del andre

26 Cand.real. Ivar Aanderaa grunnla Aanderaa instruments i Bergen i 1966 (instrumentering i oseanografi og meteorologi).

27 s. 9 i Det norske meteorologiske institutts årsberetning for budsjettåret 1. januar–31. desember 1967.



viktige værelement, og Meteorologisk institutt definerte deretter syv værstasjoner og 12–15 nedbørstasjoner som internasjonale Reference Climate Stations (RCSs) på fastlandet.

### 3.2.3 Kvalitetskontroll og system for lagring og henting av data

Eirik J. Førland

Klimaanalyser forutsetter at observasjonene er sammenlignbare over lange tidsperioder og har en nøyaktighet som gjør det mulig å bestemme små endringer. Kvalitetskontroll av værobservasjoner er beskrevet i en rekke klimarapporter fra Meteorologisk institutt (bl.a. 04/95, 06/98, 08/02 og 11/03).

Stasjonsnettet, observerte værelement, instrumentering, observasjonstider, innsending av data, kvalitetskontroll, måleteknikk osv. har endret seg betydelig over tid. I 1963 ble det publisert en «Oversikt over de offisielle meteorologiske stasjoner og observasjoner i Norge i årene 1866–1956»,<sup>28</sup> og her gis det også en beskrivelse av utviklingen av rutinebearbeidelsen av instituttets meteorologiske data. Det var tungvint og tidkrevende å kontrollere og kvalitetssikre innsamlede data før datamaskinalderen. Fra og med 1. januar 1957 ble værobservasjonene registrert elektronisk via hullkort i instituttets datamaskin. Dette forenklet arbeidet med kontroll, lagring og bearbeidelse av data. Senere er også en stor del av observasjonene før 1957 digitalisert.

Observasjonene på værstasjonene som ble brukt i værvarslingen, ble telegrafert inn til instituttet i nær sann tid. Dette var «synop»-observasjoner<sup>29</sup> som bare hadde med et begrenset utvalg av de observerte klimaelementene. De komplette observasjonene ble notert i en dagbok som ved utgangen av hver måned ble sendt til instituttet. «Klimastasjonene» hadde samme måleopplegg som værstasjonene, men i stedet for å telegrafere inn

28 Harbitz, H. (1963). Oversikt over de offisielle meteorologiske stasjoner og observasjoner i Norge samt over rutinebearbeidelsen av dem i årene 1866–1956. Technical Report no. 6. Meteorologisk institutt, Oslo.

29 Bakkemålinger med «synoptiske» (oppsummerende; henviser til begrepet «synopsis») målinger av parametre som temperatur, trykk og sikt f.eks. hver 6. time. Begrepet «synoptic» kan forveksles med «synoptisk skala» som i meteorologi refererer til værphenomen med horisontal utstrekning på rundt 1000 km.



målingene ble de notert i en dagbok som ble sendt i posten ved utgangen av hver måned. «Nedbørstasjonene» målte kun nedbør og snødybde/snødekke, og målingene ble sendt ukentlig i posten som «ukekort». Høsten 1997 startet utplassering av PC-er på de synoptiske værstasjonene der observatørene registrerte og overførte fullstendige observasjoner. Dette ble organisert gjennom prosjekt «PC i observasjonstjenesten» (Meteorologisk institutts klimarapport 07/99). Innsending av data fra de fleste nedbørstasjonene gjøres nå via sms-meldinger på mobiltelefon.

I 1990 begynte en oppbygging av en database for klimadata, som beskrives i Meteorologisk institutts klimarapport 09/99. Kvalitetskontroll av sanntidsdata er diskutert i rapport 11/99, mens rapport 17/99 beskriver objektive metoder for kvalitetskontroll og interpolasjon av klimadata. Databaser, kvalitetskontroll og utveksling av klimadata og metadata<sup>30</sup> ble utviklet i et samarbeid med nordiske og europeiske meteorologiske institutter.<sup>31</sup> Datatilgangen for alle ble åpnet i 2004 gjennom nettjenestene *eKlima* og *wsklima*, som i 2021 ble erstattet av tjenestene *seklima* og *frost*. Datalagring, kvalitetskontroll og distribusjon fornyes, drevet fram av den store økningen i observasjoner både når det gjelder antall målepunkter og målefrekvens.

### 3.2.4 Innovasjon ved Meteorologisk institutt: Utvikling og testing av nytt måleutstyr

Eirik J. Førland

Erfaringene med de operasjonelle observasjonene førte til utvikling av nye instrumenter i samarbeid med andre. Kommersielle instrumenter ble testet for å se om de egnet seg for norske forhold. Dette ble spesielt viktig når manuelle målinger gradvis ble erstattet av automatisk måleutstyr og overføring av data fra 1970-tallet av.

30 metadataene beskriver de fysiske dataene og angir f.eks. parameter, elektronisk format, fremstillingsmetode, enheter, eierskap og kvalitetssikring. I økende grad beskrives metadata ved hjelp av vokabular som er basert på internasjonal standard og som gjelder på tvers av disipliner og fagfelter.

31 Se Meteorologisk institutts klimarapport 05/00.

## Temperatur

For å gi et riktig mål for lufttemperaturen må termometeret ikke være utsatt for solstråling eller nedbør. Fra de første temperaturmålingene i Norge for over 200 år siden (se også kapittel 3.2.8.2) har ulike strålingsskjermer, bur og hytter vært brukt for å beskytte termometrene. Strålingsskjermer ble ikke brukt i de tidlige målingene ved Astronomisk observatorium i Oslo. Der var tre termometre plassert slik at ett av dem alltid var i skyggen. Da instituttet tok over ansvaret for observasjonsnettet, ble det brukt veggbur i tre. Etter hvert ble metall standard. Veggburet ble på 1930-tallet skiftet ut med en frittstående «hytte», først med enkle trevegger, senere doble. Fra 1946 ble de doble treveggene skiftet ut med doble sjalusivegger for bedre luftgjennomstrømming. Overgangen til automatiske temperaturmålinger kom med enklere og billigere strålingsskjermer enn trehyttene. Det ble også tatt i bruk små sylindriske strålingsbeskyttere av plast bygd opp av ringer for å gi lufting ved sjalusi. Skjermene brukt i Norge har et dobbelt sett av ringer for å få dobbelt sjalusi, først konstruert i 1974. Det er utført omfattende analyser av forskjeller mellom ulike strålingsskjermer, og avviket fra ventilert termometer ble estimert for de ulike skjermtypene og publisert på grunnlag av nordiske erfaringer.<sup>32</sup>

## Nedbør

Nedbørmengde som også benevnes nedbørhøyde, er i prinsippet ett av de enkleste klimaelement å måle. Nedbørhøyden betegner høyden over bakken nedbøren ville stått dersom intet rant bort eller fordampet. Alt som trengs for å måle er en bøtte og en tommestokk. Men i virkeligheten er det mange forhold å ta hensyn til for å måle nedbør nøyaktig: Måleroverflaten må være horisontal, måleren må ikke stå for nær vegetasjon eller bygninger, området rundt måleren bør være flatt, måleren må stå så høyt at den ikke snør ned vinterstid, fordamping av oppsamlet nedbør må hindres, og måleren bør være slik konstruert at oppsamlet snø ikke blåser ut av den. For å redusere turbulens som fører til at snø blåser ut av måleren, var den norske snømåleren firkantet.

---

32 Nordli, Ø., Alexandersson, H., Frich, P., Førland, E.J., Heino, R., Jónsson, T. & Tveito, O.E. (1997). The effect of radiation screens on Nordic time series of mean temperature. *Int. J. Climatol.*, 17, 1667–1681.

Den internasjonale meteorologiske organisasjonen (IMO) vedtok i 1873 en standardisering av nedbørmålere. Åpningen av måleren skulle være 225 cm<sup>2</sup>, og en løs trakt skulle brukes for å redusere fordamping om sommeren. Trakten ble fjernet om vinteren for å gjøre mer plass for oppsamling av snønedbør. De manuelle norske Meteorologisk institutt-nedbørmålerne besto av en sirkulær regnmåler og en firkantet snømåler til bruk i den kalde årstid. De norske nedbørmålerne ble laget manuelt, og ble etter hvert kostbare å produsere og vedlikeholde. Fra 1980-tallet gikk Meteorologisk institutt etter grundig testing gradvis over til bruk av svensk SMHI-nedbørmåler støpt i aluminium. For å sikre lange, homogene måleserier er de norske Meteorologisk institutt-nedbørmålerne fortsatt i bruk på noen få gamle målestasjoner.

Måling av nedbør er beheftet med mange feilkilder. Den viktigste er redusert oppfangning når en del av nedbørpariklene blåser forbi åpningen av nedbørmåleren og gir «oppfangningssvikt». I kraftig vind og nedbør som snø kan nedbørmålerne i enkelte tilfeller fange opp mindre enn halvparten av nedbøren som faller. Meteorologene var tidlig klar over problemet med oppfangningssvikt, og i 1906 begynte instituttet å montere vindskjerm på de fleste målestasjonene. For analyser av vannbalanse og kartlegging av tilgjengelig vann i kraftverkens nedbørfelt trengs data for «sann nedbør» der det er korrigert for oppfangningssvikt. Studier av oppfangningssvikt i norske nedbørmålere har blitt publisert både i Meteorologisk institutts klimarapporter (41/85, 24/96 og 31/96) og i internasjonale tidsskrift.<sup>33</sup>

Ved de første nedbørmålingene i Norge var måleenheten desimal-linjer som tilsvarer ca. 3 mm (Meteorologisk institutts klimarapport 07/2022), fra 1867 ble millimeter benyttet som måleenhet.<sup>34</sup> I perioden 1866–1875 var ikke fokus på døgning nedbør, men i stedet på hvor mye som falt i hver nedbørepisode. Observatøren kunne enten måle nedbør om morgenen eller

33 Førland, E.J., K. Isaksen, J. Lutz, I. Hanssen-Bauer, T.V. Schuler, A. Dobler, H.M. Gjelten & D. Vikhamar-Schuler. (2020). Measured and modelled historical precipitation trends for Svalbard. *Journal of Hydrometeorology*, 21(6), <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0252.1>

Førland, E.J. & Hanssen-Bauer, I. (2000). Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false? *Climatic Change*, 46, 485–509, <https://doi.org/10.1023/A:1005613304674>

34 Harbitz, H. (1963). *Oversikt over de offisielle meteorologiske stasjoner og observasjoner i Norge samt over rutinebearbeidelsen av dem i årene 1866–1956*. Technical Report no. 6. Det norske meteorologiske institutt, Oslo.

vente til nedbøren hadde stoppet.<sup>35</sup> Ofte valgte nok observatørene det siste. Fra 1876 ble reglene endret til at nedbøren skulle måles om morgenen på alle stasjoner. Fram til 1916 var det ulike regler for om nedbørmengden skulle noteres på datoen den ble målt eller på foregående dag. Fra 1916 ble nedbøren på nedbørstasjonene målt hver morgen, på værstasjonene morgen og kveld.

Det ble etter hvert stort behov for hyppigere nedbørmålinger enn en eller to ganger i døgnet. I et samarbeid mellom Meteorologisk institutt og Kongsberg Våpenfabrikk ble det derfor på midten av 1960-tallet utviklet en vippepluviograf kalt «Plumatic» der nedbøren ble registrert lokalt på magnetbånd. Magnetbåndet hadde to spor; ett der det ble lagret en tidspuls hvert minutt og ett der hver vipp på 0,2 mm ble registrert. Plumatic kunne dermed registrere nedbørintensitet ned til en varighet på ett minutt. Plumatic var ikke oppvarmet og snø som falt i oppfangeren, smeltet derfor ikke. Den var derfor kun i drift fra ca. 15. mai til 15. oktober. De første Plumatic-målerne kom i bruk i 1968. På grunn av intern nedprioritering ble en stor del av stasjonene med slike målere lagt ned etter 1987.

For å kartlegge nedbørmengde i ubebodde og vanskelig tilgjengelige områder utviklet Meteorologisk institutt på 1960-tallet en pluviograf kalt «Totalisator» med så stor oppsamlingskapasitet at det var nok med avlesing noen få ganger i året. Denne pluviografen hadde vindskjerm, og stativet var så høyt at måleren ikke snødde ned vinterstid. Nedbør som snø ble smeltet ved at det ble fylt glykol i måleren om høsten, og et tynt lag med lettflytende olje ble brukt til å redusere fordampning. Avlesningene måtte gjøres manuelt ved å senke ned en målestav til den berørte væskeoverflaten.

De manuelle pluviometrene var tungvinte i bruk. Vannkraftprodusentene ville ha pluviometre med sanntidsoverføring av data. I 1980–1981 ble det gjort forsøk i hagen ved Meteorologisk institutt på Blindern med ulike kommersielle vippepluviometre med oppvarming og med vektpluviometre,<sup>36</sup> og i 1991–1992 med en ny type vippepluviometer med oppvarming (Meteorologisk institutts klimarapport 47/92). Oppvarmede vippepluviometre var dårlig egnet til måling av snønedbør særlig i høyfjellet, og vektpluvi-

---

35 Ibid.

36 Klima 04/1981.

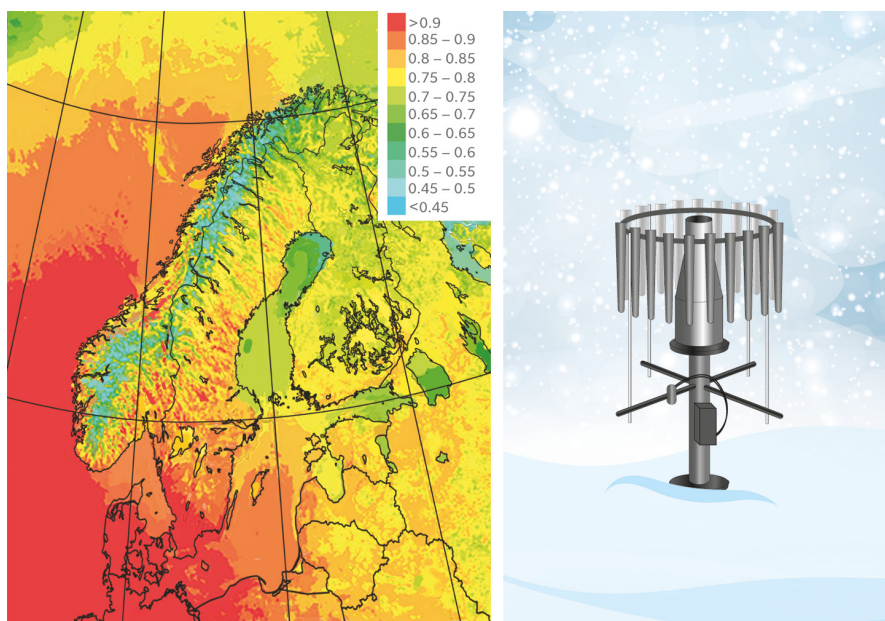
viometrene hadde elektronikkstøy ved overføring av registreringene. Norges Geotekniske Institutt (NGI), Meteorologisk institutt og Geonor samarbeidet derfor om utvikling av en automatisk måler, der vekten av oppsamlet nedbør ble registrert i en bøtte opphengt i «svingende strenger». Måleren ble først testet i 1983 på forsøksfeltet på Blindern og deretter på NGIs snøskredstasjon på Strynefjell.<sup>37</sup> Måleren ga resultater som samsvarte godt med manuelle målinger med norsk måleutstyr, og registrerte med høy oppløsning i tid og nedbørmengde. Den ble også testet i et nordisk testfelt i Jokioinen, Finland (Meteorologisk institutts klimarapport 24/96) og i Ny-Ålesund (Meteorologisk institutts klimarapport 31/96). I de senere år har Geonor-måleren vært en referansemåler i feltforsøk på Haukeli i Solid precipitation intercomparison experiment (SPICE) organisert av WMO 2012–2015.<sup>38, 39</sup> Geonor-måleren (T-200B) er nå mye brukt verden over, og leveres med oppsamlingskapasitet på 600, 1000, 1500 og 3000 mm.

---

37 Bakkehøi, S., Øien, K. & Førland, E.J. (1985). An Automatic Precipitation Gauge Based on Vibrating-Wire Strain Gauges. *Hydrology Research*, 16(4).

38 <https://community.wmo.int/activity-areas/imop/intercomparisons/spice>

39 Wolff, M., Isaksen, K., Brækkan, R., Alfnes, E., Petersen-Øverleir, A. & Ruud, E. (2013). Measurements of wind-induced loss of solid precipitation: description of a Norwegian field study. *Hydrology Research*, 44, 35–43, <https://doi.org/10.2166/nh.2012.166>



**Figur 3.2** (Figur til venstre) Andel av total nedbør som ventes å bli fanget opp med en SA (Single Alter) Geonor nedbørmåler i perioden 1. desember 2018 til 28. februar 2019 basert på observasjoner og beregninger av vind, nedbør og temperatur hentet fra de operasjonelle værprognosene.<sup>40</sup> (Figur til høyre) Single Alter Geonor nedbørmåler med Single Alter skjerm.<sup>41</sup>

### Snødybde og sikt

Automatiske snødybdemålere ble testet i 1996 på Finse og på Hovden (Meteorologisk institutts klimarapport 26/96). I forbindelse med vurdering av værforhold ved lokalisering av ny hovedflyplass, testet instituttet ulike automatiske siktmålere på Gardermoen i 1990–1993 (Meteorologisk institutts klimarapport 05/94).

40 Koltzow, M., Casati, B., Haiden, T. & Valkonen, T. (2020). Verification of solid precipitation forecasts from numerical weather prediction models in Norway. *Weather and Forecasting* 33, 2279–2292.

41 Storaker og Schwartz, tegning i Alertness-prosjektet, Meteorologisk institutt.

### 3.2.5 Anvendt klimatologi og samfunnsnyttige klimadata

Eirik J. Førland

I mandatet for Meteorologisk institutt fra 1866 het det at de «indvunne Oplysninger skulle af Institutet bearbejdes til Nytt for Videnskaben og det praktiske Liv samt til regelmæssige Tider offentliggjøres». <sup>42</sup> Etter kvalitetskontroll ble derfor de meteorologiske observasjonene og klimastatistikk oppsummert ved slutten av hver måned. Observasjoner og statistikk ble hvert år publisert i Meteorologisk årbok, og fra 1944 også i et «Pentadehefte for landbruket». <sup>43</sup> Etter at elektronisk databehandling var tatt i bruk, ble det månedlig fra 1963 sendt ut en «Klimatologisk månedsoversikt» for samtlige værstasjoner i landet. Slike oversikter utgis fortsatt i publikasjonsserien MET Info som «Været i Norge – Klimatologisk månedsoversikt».

Klassisk klimatologi var ifølge Thor Werner-Johannessen klimaet slik det var, mens dynamisk klimatologi forklarte hvorfor klimaet var slik det var. Ifølge ham hadde det store behovet for spesielle klimadata for praktiske formål tvunget frem en ny gren, anvendt klimatologi, og undergrupper som landbruksklimatologi, aeronautisk klimatologi, bygningsklimatologi, fyringsklimatologi, medisinsk klimatologi osv. Klimaavdelingen var i mange år mest opptatt av ulike former for anvendt klimatologi, og arbeidet bl.a. med normalverdier, kartlegging av snøakkumulering, dimensjonerende verdier, korttidsnedbør og intensitet-varighet-frekvens (IVF)-verdier for nedbør.

#### 3.2.5.1 Normaler

Direktørene for nasjonale meteorologiske institutter møttes i München 1891 og vedtok at «Bestyrerne af de forskjellige meteorologiske Centralanstalter anmodes om, fra Tid til anden at offentliggjøre Tabeller over deres Landes Klima, beregnede saavidt mulig efter de nøjagtigste forhaandenværende Metoder og for saa mange Stationer som mulig». <sup>44</sup> Dette ble fulgt opp

42 Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press Spartacus Forlag.

43 Barlaup, A. (red.) (1968). *Det norske meteorologiske institutt 1866–1966*. Fabritius og Sønners forlag, s. 137–154.

44 Mohn, H. (1895). Klimatabeller for Norge. Videnskabselskabets Skrifter. I. Matematisk-naturvidenskapelig. Klasse 1895, No. 10. A.W. Brøggers Bogtrykkeri, Kristiania.

med rapporten «Klimatabeller for Norge» i 1895.<sup>45</sup> I denne rapporten var det foretatt en «Henførelse av samtlige Temperaturmedia til den 50-aarige Periode 1841–1890». Middelerverdier over lange tidsperioder («normaler») kunne benyttes til å studere tidsutvikling, sammenligne gjennomsnittsverdier for ulike målesteder både nasjonalt og internasjonalt, og til å se hvor mye f.eks. en aktuell månedstemperatur avviker fra gjennomsnittlig eller «normal» temperatur. Det ble etter hvert enighet om at 50-års perioder var for lange, og at perioder på tre ganger lengden av solflekksyklusen (~11 år) måtte være tilstrekkelig.<sup>46</sup> På møtet i den Internasjonale meteorologiske organisasjon i Warszawa i 1935 ble det vedtatt å beregne «standard normaler» for meteorologiske elementer for 30-årsperiodene 1901–1930, 1931–1960 osv. I «Nedbøren i Norge 1895–1943»<sup>47</sup> ble middelerverdier («normaler») for perioden 1901–1930 publisert for flere nedbørelementer. Rapporten gir også maksimalverdier for nedbørmengde og snødybde, samt middelerverdier for NVEs normalperiode 1900–1940. Mange ønsket en geografisk fremstilling av nedbørforholdene i Norge, men ifølge rapporten gjorde topografien og antall stasjoner det vanskelig å lage slike kart. For å gi en grov oversikt uten å legge for mye vekt på detaljene, ble det likevel fremstilt 15 kart over midlere nedbørhøyder for år og måneder samt for antall dager med nedbør over hhv. 0,1 og 1,0 mm. Middelerverdier for en for en rekke temperaturparametere er presentert i «Lufttemperaturen i Norge 1861–1955».<sup>48</sup>

I 1960 bestemte WMO at det skulle utarbeides normaler for perioden 1931–1960, og at alle meteorologiske institutter skulle publisere slike normalverdier for sine geografiske ansvarsområder. For Norge ble det brukt måleserier fra 389 stasjoner for beregning av nødvendig statistikk. Fra 1956 ble observasjonene punchet på hullkort, slik at for perioden 1931–1960 forelå data fra de fem siste årene på digital form. Men det ble for omfattende å registrere alle observasjonene fra hele perioden 1931–1955 på hullkort slik at bare de månedsvise oppsummeringene ble registrert for 64 stasjoner som

---

45 Ibid.

46 På den tiden var det en utpreget oppfatning at solaktiviteten hadde en betydning for været og klima på jorden, jf. Benestad, R. (2005). *Solar Activity and Earth's Climate*, Praxis-Springer, Berlin and Heidelberg, 287 pp.

47 Meteorologisk institutt (1949). *Nedbøren i Norge 1895–1943*. Del I og II.

48 Meteorologisk institutt (1957). *Lufttemperaturen i Norge 1861–1955*. DNMI, Oslo.



hadde vært i drift hele eller store deler av normalperioden. For disse referan-  
sestasjonene ble normalverdier og annen statistikk beregnet «by means of  
our electronic computer». <sup>49</sup> For de øvrige stasjonene ble statistikken bereg-  
net manuelt. Denne omfattende statistikken over lufttemperatur i Norge  
1931–1960 er publisert av Inger Bruun. <sup>50</sup> Der gis det også oversikt over  
tilgjengelige målestasjoner og metodikk benyttet til beregningene. Bruun og  
Haaland <sup>51</sup> publiserte middelveidier for antall dager per år med ulike værfor-  
hold. Det ble beregnet forekomst av 20 værparametere for temperatur, ned-  
bør, snødekke, vindstyrke, skydekke og tåke. Tabellene inneholder bl.a. antall  
dager med minimumstemperatur under  $-10^{\circ}\text{C}$ , nedbør over 10 mm, storm,  
hagl, tordenvær, klarvær og snødekke.

For normalperioden 1961–1990 forelå alle klimadata på digital form,  
men det måtte bringes på det rene om måledataene var sammenlignbare  
for hele trettiårsperioden (homogenisering, se kapittel 3.2.7), og flere måle-  
serier måtte kombineres før normalverdiene kunne beregnes. Normalver-  
diene for temperatur og nedbør 1961–1990 er publisert i Meteorologisk  
instituttets klimarapporter 02/93 (temperatur) og 39/93 (nedbør). I disse rap-  
portene er det også beskrevet hvilken metodikk som ble benyttet til bereg-  
ning av temperatur- og nedbørnormaler for denne perioden. Under arbeidet  
med disse normalverdiene ble det innledet samarbeid med Statens kartverk  
for å presentere klimakart som et hovedtema «klima» i Nasjonalatlas for  
Norge. Dette var før kartanalyser for klima kunne utføres med geografisk  
informasjonssystem-verktøy (GIS) som i dag. Fra Kartverket fikk Meteoro-  
logisk institutt store, detaljerte kart over Norges topografi samt transpa-  
rente kart med samme målestokk der normalverdiene for alle stasjoner var  
plottet inn. Ved å legge klimakartene over det topografiske kartet tegnet  
forskerne (Bjørn Aune, Eirik J. Førland og Gustav Bjørbæk) med stø hånd  
isolinjer for hvert klimaelement ved subjektivt å ta hensyn til stasjonsver-  
dier, avstand fra kysten og høyden over havet. Nedbør- og avrenningskart ble  
samordnet med NVE. Det ble laget kart for års- og månedsverdier av tempe-

---

49 Bruun, I. (1967). *Climatological Summaries for Norway. Standard Normals 1931–1960 of the Air Temperature in Norway*, Meteorologisk institutt, Oslo.

50 Ibid.

51 Bruun, I. & Håland, L. (1970). *Climatological Summaries for Norway: Standard normal 1931–1960 of number of days with various weather phenomena*. Meteorologisk institutt, Oslo.

ratur, nedbørmengde, nedbørhyppighet, vekstsesong, snø, vind samt oversikt over langtidsvariasjoner av temperatur og nedbør.<sup>52</sup> Til dette kartverket ble det også laget et populærvitenskapelig hefte<sup>53</sup> som beskriver bl.a. vær og klima i Norge, drivkreftene bak været, klimasoner og klimautviklingen. Over Nord-Europa var det store endringer i normalnedbøren fra 1931–60 til 1961–1990 (Meteorologisk institutts klimarapport 07/96).

Dataarkiv, kvalitetskontroll og homogenisering av tidsserier har gjennomgått store forbedringer. Mens det for normalperiodene 1901–1930, 1931–1960 og 1961–1990 tok flere år før verdiene var ferdig beregnet, forelå verdier for normalperioden 1991–2020 straks 2020 var omme, og rapporter med nye normalverdier ble publisert i 2021 (Meteorologisk institutts klimarapporter 05/21 og 08/21).

### 3.2.5.2 Snøforhold og snøakkumulering

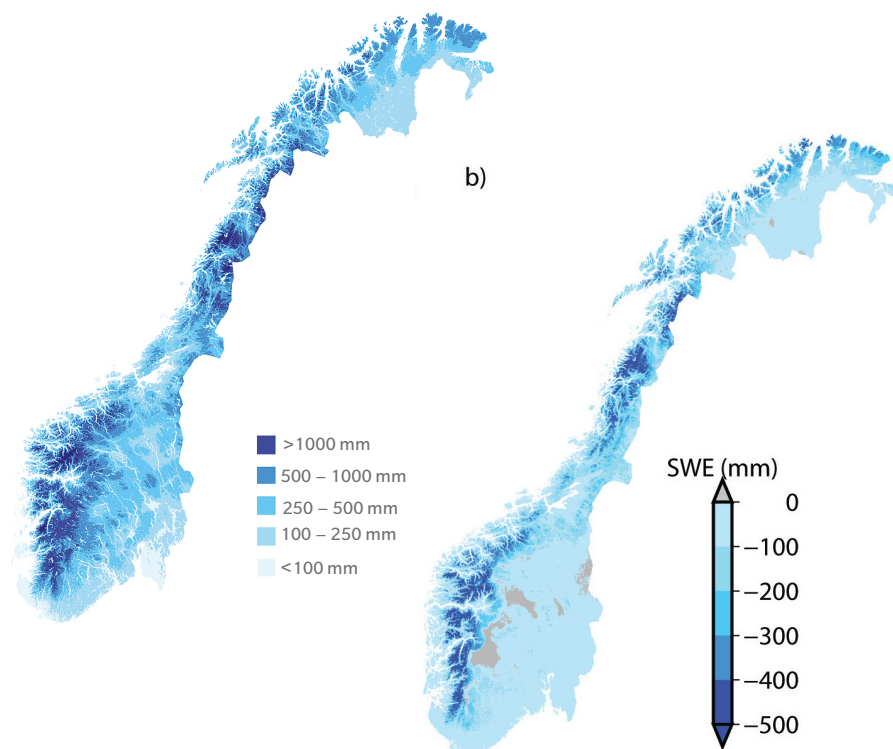
Fra 1951 fremstilte Meteorologisk institutt kart for 400, 800 og 1200 moh. over startdatoen for snøakkumuleringssesongen og over snøakkumulering i prosent av normalverdier. Kartene for startdato for snøakkumuleringssesongen viste et mål for når varig snølegging hvert år startet i ulike deler av landet. Kartene over snøakkumulering ga et mål for brutto snømagasin fra starten av snøleggingen og frem til hhv. 31/1, 28/2, 31/3 og 30/4 under forutsetningen at all nedbør i denne perioden ble akkumulert i snømagasinet. Kartene ga aktuell snøakkumulering i prosent av normal snøakkumulering, som er sum av normal nedbør fra og med «normal startdato». Den normale startdatoen for snølegging ble regnet som ti dager etter at middeltemperaturen om høsten i normalperioden 1931–1960 falt under 0 °C. All nedbør som kom etter denne datoen, ble regnet å falle som snø eller bli akkumulert i snølaget for områdene over de tre høydenivåene. Nærmere beskrivelse av fremstillingsmåte og anvendelse av disse snøkartene er gitt av bl.a. Gustav Bjørbæk (Været 1979 og 1980).<sup>54</sup> Snøakkumuleringsskartene var etterspurte av vannkraftprodusentene som ville beregne hvor mye vann som var lagret som snø i de ulike nedbørfeltene. En oppsummering av snøakkumuleringss-

52 Statens kartverk (1993). *Nasjonalatlas for Norge. Hovedtema 3 Klima*. Statens kartverk, Hønefoss.

53 Aune, B. (1993). *Klima. Nasjonalatlas for Norge*. Statens kartverk, Hønefoss.

54 Klimarapport 43/94, Bjørbæk, G. (1979). Når legger snøen seg i Norge? *Været* 04/1979 og Bjørbæk, G. (1980). Hva er et snøakkumuleringsskart? *Været* 01/1980.

kartene i perioden 1951–1994 er gitt i Meteorologisk institutts klimarapport 43/94. I dag beregner NVE landsdekkende kart over snøforhold hver dag, og kartene presenteres bl.a. på [www.senorge.no](http://www.senorge.no). Kart over dagens forhold og projeksjoner for fremtidens midlere snømagasin uttrykt som «snøvannsekvivalent», er presentert i «Klima i Norge 2100»-rapportene,<sup>55</sup> se figuren under.



**Figur 3.3** Figur a) viser beregnet midlere årsmaksimum for snødybde i perioden 1971–2000 (mm vannekvivalent), b) viser beregnet endring fram til 2071–2100 under forutsetning av et høyt utslippsscenario for klimagasser framover (RCP8.5).<sup>56</sup>

55 Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S. Sandven, A.B. Sandø, A. Sorteberg & B. Ådlandsvik (2015). *Klima i Norge 2100 – Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning, oppdatert i 2015*. NCCS report no. 2/2015 ([www.klimaservicesenter.no](http://www.klimaservicesenter.no)).

56 Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, S. & Ådlandsvik, B. (red.) (2016). *Klima i Norge 2100*, <https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/kin2100>

Meteorologisk institutts klimarapport 28/97 gir en oversikt over høyest målte snødybder på Meteorologisk institutts målestasjoner i perioden 1957–1996. Snølaster på landbruksbygg er vurdert i Meteorologisk institutts klimarapport 12/90, og på ekspedisjonsbygget på Gardermoen i Meteorologisk institutts klimarapport 21/94. I Meteorologisk institutts klimarapport 12/96 vises resultater fra ulike snøsmeltingsmodeller som benytter instituttets rutinemessige meteorologiske observasjoner og prognoser, og som dermed kan gi prognoser for snøsmelting opp til syv dager frem i tid. For å kunne vurdere potensiell snøsmelting i kombinasjon med kraftig regn ble det i Meteorologisk institutts klimarapport 28/97 skissert en metodikk for å estimere hvilke temperaturer som kan påregnes i slike episoder i ulike høydenivå.

### 3.2.5.3 Dimensjonerende verdier

Meteorologisk institutts klimaekspertise var fra 1970-tallet aktivt med i eksternt finansiert oppdragsforskning innen ulike tema, bl.a. til å beregne dimensjonerende klimalaster for kraftledninger, radio- og TV-master, broer, flyplasser, offshore konstruksjoner samt påregnelig maksimal nedbør for nedbørfelt. En stor del av beregningene er dokumentert i instituttets klimarapporter.

I årene fra 1947 ble det under ledelse av statsmeteorolog Håkon Råstad utført forskning på nedising av kraftledninger.<sup>57</sup> Klimaavdelingen beregnet etter hvert vind- og islaster for en rekke ulike traseer for kraftledninger, publisert f.eks. i Meteorologisk institutts klimarapporter 10/84, 11/84, 12/84. Til sammen ble det utarbeidet mer enn 30 rapporter for ulike linjestrekninger, men på slutten av 1980-tallet ble Meteorologisk institutts ekspert på dette området headhunted til Statnett som overtok beregningene. Det ble også utført mer enn 50 beregninger av vind- og islaster på radio- og TV-master, f.eks. Nordhue (Meteorologisk institutts klimarapport 17/88), Bremanger (Meteorologisk institutts klimarapport 11/89), Stord (Meteorologisk institutts klimarapport 5/90), Melhus (Meteorologisk institutts klimarapport 6/90) og Greipstad og Lyngdal (Meteorologisk institutts klimarapport 02/01). For beregning av vindpåkjenning for prosjekterte broer ble det foretatt målinger og beregninger av vindforhold for en rekke broer, bl.a. Varoddbroen (Meteo-

57 Barlaup, A. (red.) (1968). *Det norske meteorologiske institutt 1866–1966*. Fabritius og Sønners forlag, s. 189.

rologisk institutts klimarapport 13/90), Askøybroen (Meteorologisk institutts klimarapport 23/90), Hardangerbroen (Meteorologisk institutts klimarapporter 31/90 og 32/93) og Raftsundet/Lofast (Meteorologisk institutts klimarapporter 3/94 og 9/94). Det ble også utført beregning av ekstreme vind- og bølgeforhold for kaianlegg, bl.a. i Farsund (Meteorologisk institutts klimarapport 26/92) og for Stad skipstunnel (Meteorologisk institutts klimarapport 34/87).

Omfattende utredninger av klimaforhold ble gjort for eksisterende og prosjekterte flyplasser, bl.a. Værøy (Meteorologisk institutts klimarapporter 38/91 og 42/94), Båtsfjord (Meteorologisk institutts klimarapporter 26/90, 20/94 og 8/95), Sandane (Meteorologisk institutts klimarapport 12/93), Førde (Meteorologisk institutts klimarapport 14/93), Sandane (Meteorologisk institutts klimarapport 18/93) og småflyplasser rundt Oslo (Meteorologisk institutts klimarapporter 25/93, 29/93 og 35/93). I forbindelse med prosjektering av ny hovedflyplass ble det utført omfattende datainnsamling og analyser av værforhold både for Hobøl (Meteorologisk institutts klimarapport 12/92), Gardermoen og Hurum. Sikt og vindforhold ble beskrevet i flere rapporter, bl.a. Meteorologisk institutts klimarapporter 02/88, 07/88, 42/91 og 14/92. For Gardermoen omhandlet klimarapportene også tåkeoppløsning (Meteorologisk institutts klimarapport 41/92), dimensjonerende klimaverdier (Meteorologisk institutts klimarapport 50/92), snølaste på ekspedisjonsbygningene (Meteorologisk institutts klimarapport 21/94), nedbørintensitet (Meteorologisk institutts klimarapport 03/95) og mulige lokale klimaendringer av utbyggingen (Meteorologisk institutts klimarapport 24/95). Per-Ove Kjensli mfl. gjennomgår instituttets rolle ved planlegging av ny hovedflyplass i en egen artikkel i denne boken.

I de nye damforskriftene fra 1980-tallet inngikk bl.a. beregning av dimensjonerende flomverdier og påregnelig maksimal flom. Disse flomesimatene skulle fastsettes på grunnlag av analyse av de mest ugunstige kombinasjoner av meteorologiske og hydrologiske forhold. Til dette trengtes estimat av bl.a. observerte og sannsynlige nedbørverdier for ulike nedbørfelt, dvs. verdier med høye gjentaksintervall, samt av såkalt påregnelig maksimal nedbør PMP. Retningslinjer for beregning av ekstreme nedbørverdier og PMP for ulike varigheter for representative punkt finnes i Meteorologisk institutts klimarapporter 3/84, 23/87 og 21/92, og for arealnedbør i Meteorologisk institutts klimarapport 8/98. Totalt er det publisert mer enn

100 rapporter om påregnelige ekstreme nedbørverdier i ulike vassdrag. For å vurdere mulighet for overtopping av demningen ble det utført en analyse av nedbør og vindforhold ved høye vannstander i Aursjøen (Meteorologisk institutts klimarapport 23/93).

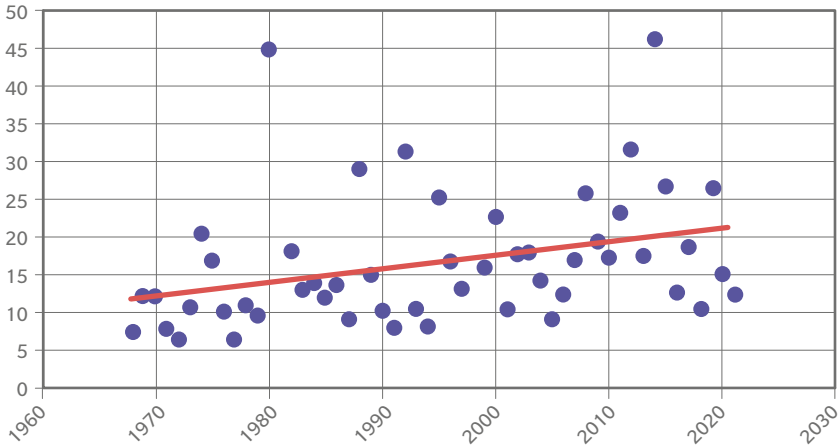
#### 3.2.5.4 Korttidsnedbør og intensitet-varighet-frekvens (IVF)-verdier

For dimensjonering av avløpsnett for overflatevann i tettbygde områder ble det etter hvert behov for data for nedbørintensitet. Pluviografer med grafisk registrering var i bruk i Norge allerede i 1920-årene, men det var først da de norskproduserte Plumatic-vippepluviografene (se kap. 3.2.4) kom i regulær drift i 1968 det ble mulig å lage statistikk for intensitet-varighet-frekvens (IVF) av nedbør. De norske IVF-verdiene gir estimat av returperioder for intens nedbør med varighet ned til ett minutt. Slike verdier kan brukes til å finne hvor mye nedbør som kan falle f.eks. i løpet av én time med 10-, 50- eller 100-års returperiode («100-års nedbør»), eller hvor sjelden en observert nedbørmengde er. IVF-verdier både som grafer og tabeller for målestasjoner og vilkårlige lokaliteter er fritt tilgjengelige på [www.klimaservicesenter.no](http://www.klimaservicesenter.no). I «Prosjekt rensing av avløpsvann»<sup>58</sup> ble det sparsomme datagrunnlaget vi hadde tidlig i 1970-årene brukt i utviklingen av et dataprogram som definerer og velger ut nedbørverdier fra datamaterialet for korttidsnedbør som da var lagret på magnetbånd ved Meteorologisk institutt. Basert på middelerverdier av varighet og intensitet av regn ble såkalt «modellregn» benyttet ved prosjektering av avløpsanlegg.

Meteorologisk institutt hadde bare et fåtall Plumatic-stasjoner i drift, men det ble stor etterspørsel etter IVF-verdier både for steder med målinger og ofte for steder uten slike målinger. Meteorologene måtte derfor benytte eksisterende målestasjoner og «ekstrapolere» IVF-statistikk der det manglet målinger. På slutten av 1980-tallet ble Meteorologisk institutts Plumatic-stasjonsnett redusert, og i stedet ble det innledet samarbeid med kommuner, landbruket og kraftprodusenter om opprettelse og drift av pluviometre. Meteorologisk institutt førte tilsyn med en del av disse stasjonene, og utarbeidet IVF-verdier som gjenytelse for tilgang til dataene som ble samlet inn.

---

58 Liseth, P., Hatling, J., Baalsrud, K., Finsrud, R & Goa, O. (1980). *Forskningsprogrammet for rensing av avløpsvann PRA*. Avsluttende rapport fra prosjektkomiteen, Norsk institutt for vannforskning, rapport 1268.



**Figur 3.4** Maksimal årlig en-times nedbør på Blindern 1968–2021 (fra Anita Verpe Dyrredal).

### 3.2.5.5 Romlig modellering av ulike klimaelement

Hvordan virker Norges topografi inn på den geografiske fordeling av ulike klimaelement? Kunnskap om dette har stor samfunnsbetydning. Det første klimaatlas for Norge ble publisert av Mohn i 1923,<sup>59</sup> og flere studier beskriver nedbørfordeling for ulike vindretninger og vær-situasjoner. Iso-linjene ble trukket basert på grunnlag av punktobservasjoner og meteorologisk kunnskap, eller ved bruk av multippel regresjon (Klima nr. 2 1979). Meteorologisk institutt var tidlig ute med å benytte geografisk informasjonssystemverktøy (GIS) til romlig analyse av klimaelement, og i Meteorologisk institutts klimarapporter 18/98 og 26/98 er det demonstrert hvordan det i GIS brukes multippel regresjon til romlig analyse av midlere månedstemperatur. Også nedbørfordelingen for ulike vindretninger kunne analyseres ved hjelp av GIS, og samtidig kunne systematiske avvik mellom det numeriske værvarelet og observert nedbør kartlegges (Meteorologisk institutts klimarapport 10/02). I Meteorologisk institutts klimarapport 10/03 er det gitt

59 Mohn, H. (1923). Atlas de climat de Norvège. Nouvelle édition par Aage Graarud et Kristen Irgens. *Geof. Publ.* 2(7), 5 pp + 60 pl.

en oversikt over manuelle historiske metoder (f.eks. «Lamb's værtyper» og «Grosswetterlagen») for klassifisering av storskala atmosfærisk sirkulasjon, og vist hvordan disse kan erstattes av automatiske klassifiseringsmetoder og etterfølgende GIS-basert analyse av romlig fordeling av ulike klimaelement. I senere tid (2005–2010) har forsker Ole Einar Tveito ved Meteorologisk institutt ledet et europeisk samarbeid<sup>60</sup> om klassifiseringsmetoder.

På slutten av 1990-tallet erstattet GIS-baserte analyser de tidkrevende manuelle analysene av snøakkumulering og de håndtegnede avvikskartene for temperatur og nedbør i de månedsvise klimaoversiktene. GIS-verktøy ble også benyttet til romlig modellering av ulike klimaelement i nordisk og europeisk samarbeid. Oversikt over europeisk samarbeid om bruk av GIS til romlig klimaanalyse er gitt i Meteorologisk institutts klimarapporter 13/01 og 28/02. For kraftverksbransjen ble GIS-verktøy brukt til å beregne varslet arealnedbør (Meteorologisk institutts klimarapport 12/02), og til å generere historiske tidsserier for temperatur og nedbør for utvalgte nedbørfelt (Meteorologisk institutts klimarapport 25/02).

### 3.2.6 Internasjonalt samarbeids betydning for klimatologiforskningen

Eirik J. Førland

Som nevnt over har instituttets arbeid med Norges klimatologi utviklet seg i en internasjonal kontekst med tillitsfulle relasjoner til beslektede fagmiljøer først og fremst ved de meteorologiske institutter i de øvrige nordiske land, men også med forskningsmiljøer i andre europeiske land og i internasjonale organisasjoner i Norden, Europa og globalt.

Spesielt tett har samarbeidet vært med kolleger i de nordiske land, og i perioder med ekstern finansiering. I 1981 ble det under Nordisk hydrologisk program opprettet en «Nordic Working Group for Precipitation», der Bjørn Aune og Eirik J. Førland var norske deltagere. Hovedmålene de første årene var å følge opp i fellesskap i Norden en henstilling fra WMO i 1977

---

60 Ole Einar Tveito mfl. (2016). *COST Action 733: Harmonization and Application of Weather Type Classifications for European Regions*, Final Scientific Report, Universität Augsburg, Germany.



om at medlemslandene skulle innføre operasjonell korrigering for oppfangningsvikt i nasjonale nedbørmålere.<sup>61</sup> Arbeidsgruppen lagde også forslag til metodikk for beregning av arealnedbør.<sup>62</sup>

I 1986 satte WMO i gang et samarbeidsprosjekt om «Solid Precipitation Measurement Intercomparison».<sup>63</sup> Det finske meteorologiske institutt (FMI) opprettet et forsøksfelt i Jokioinen som tilfredsstilte WMOs anbefalinger, og inviterte de andre nordiske land til å plassere sine nasjonale målere for uttesting i feltet. Både manuelle, norske målere (Meteorologisk institutts regn- og snømåler og den «nye» SMHI-MET-aluminiumsmåleren) og den nye automatiske vektpluviografen fra Geonor ble testet i feltet. Nordic Working Group for Precipitation var faglig ansvarlig for feltforsøkene, og basert på resultatene fra Jokioinen publiserte arbeidsgruppen en manual for korrigering av nedbør i ulike måler typer.<sup>64</sup> I regi av WMO Solid precipitation intercomparison experiment (WMO-SPICE) har Meteorologisk institutt deltatt med målinger på eksperimentfeltet på Haukeli av nedbør som snø, regn og sludd over tidsrom fra minutter til timer og sesong, og måling av snødybde på bakken og sammenhengen med snøfallsmålinger.<sup>65</sup>

- 
- 61 Dahlström, B., E.J. Førland, H. Madsen, J. Perälä & R. Solantie (1986). *The improvement of point precipitation data on an operational basis. Description of a general method for point precipitation correction with regard to application in practice.* Nordic Hydrological Programme NHP-Report No. 17.
- 62 Dahlström, B., E.J. Førland, H. Madsen, J. Perälä & R. Solantie (1986). *Estimation of Areal Precipitation.* Nordic Hydrological Programme NHP-Report No. 18.
- 63 WMO (1988). *WMO Solid precipitation measurement intercomparison: final report.* WMO/TD-No. 872; IOM Report No. 67.
- 64 Førland, E.J., P. Allerup, B. Dahlström, E. Elomaa, T. Jónsson, H. Madsen, J. Perälä, P. Rissanen, H. Vedin & F. Vejen (1996). *Manual for operational correction of nordic precipitation data.* Norwegian Meteorological Institute, Report no. 24/96.
- 65 Kochendorfer, J., Nitu, R., Wolff, M., Mekis, E., Rasmussen, R., Baker, B., Earle, M. E., Reverdin, A., Wong, K., Smith, C. D., Yang, D., Roulet, Y.-A., Meyers, T., Buisan, S., Isaksen, K., Brækkan, R., Landolt, S. & Jachcik, A. (2017). Testing and development of transfer functions for weighing precipitation gauges in WMO-SPICE, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 1437–1452.



**Figur 3.5** Omfattende instrumentering og målinger på Haukeliseter testfelt har gitt ny innsikt i oppfangingsvikt av vinternedbør. Dette har gitt oss økt kunnskap om egenskaper og kvalitet til kjente og nye sensorer, samt bedre forståelse av andre kjente feilkilder ved nedbørmålinger. Foto: Roy Rasmussen

Det var lenge vanskelig å utveksle klimadata mellom institusjoner og land. De nasjonale meteorologiske institutter ville selv utnytte den kommersielle og vitenskapelige verdi av slike data. Også for forskningsprosjekt var det tungvint og kostbart å fremskaffe internasjonale klimadata. Datasettene hadde oftest klausuler om at tilgangen bare gjaldt bruk i et bestemt prosjekt, og uten rett til videredistribusjon. Men det kunne forekomme «lekkasjer» til andre brukere. Ett av de nordiske land la på noen ekstra desimaler i dataene de utleverte, slik at de kunne følge med på «lekkasje-strømmen». Enkelte institusjoner laget egne internasjonale datasett basert på synop-telegrammer. Her forekom det ofte feil og manglende verdier slik at disse datasettene var av dårlig kvalitet.

Medlemmene i den nordiske arbeidsgruppen for nedbør argumenterte for å etablere et felles og fritt tilgjengelig nordisk klimadatasett med kvalitetskontrollerte og homogeniserte dataserier. Danmarks Meteorolo-

giske Institut tok ledelsen. og etter hvert førte dette til EU-støtte til prosjektet North Atlantic Climatological Dataset, NACD (1993–1995),<sup>66</sup> som for perioden 1890–1990 skulle etablere homogeniserte månedsverdier for lufttemperatur, nedbør, lufttrykk, skydekke og snødekke fra ca. 70 stasjoner i Danmark, Storbritannia, Sverige, Norge, Belgia, Nederland, Finland, Island, Polen og Tyskland. Dette datasettet ble gjort åpent tilgjengelig<sup>67</sup> og ble svært etterspurt. Meteorologisk institutt benyttet datasettet bl.a. til en analyse av regionale forskjeller i langtidsutvikling av lufttemperatur i NACD-området (Meteorologisk institutts klimarapport 01/96), og av endring av nedbør i Nord-Europa mellom de to normalperiodene 1931–60 og 1961–90 (Meteorologisk institutts klimarapport 07/96).

Med støtte fra Nordisk ministerråd fortsatte de nordiske land i 1996–1998 oppbygging og oppdatering av den nordiske del av NACD-datasettet og analyse av ekstremverdier i prosjektet REWARD – Relating Extreme Weather to Atmospheric circulation using a Regionalised Dataset (Meteorologisk institutts klimarapporter 16/98 og 17/98). Fra 1999 har det nordiske samarbeidet vært en delaktivitet under det nordiske meteorologiske samarbeidet i NORMET med prosjektet Nordklim fra 1999–2011 (Meteorologisk institutts klimarapport 08/01) og som Nordic Framework for Climate Services, NFCS fra 2011.<sup>68</sup> I de senere år har NFCS-samarbeidet vært konsentrert om klimatjenester, nye klimanormaler (1991–2020) og om ekstrem nedbør.<sup>69</sup>

Det er en kontinuitet i samarbeidet som startet i arbeidsgruppen for nedbør i 1981 til dagens nordiske rammeverk for klimaservice (NFCS). De fleste av de nordiske samarbeidsprosjektene ble ledet av Meteorologisk institutt (Eirik J. Førland og i de senere år av Anita Verpe Dyrddal), og en stor del av resultatene er rapportert i Meteorologisk institutts klimarapportserie.

---

66 Klimarapport 7/96 gir en nærmere beskrivelse av «Det nordatlantiske klimadataprojektet NACD».

67 Frich, P., Alexandersson, H., Ashcroft, J., Dahlström, B., Demarée, G., Drebs, A., ... Tveito, O.E. (1996). North Atlantic climatological dataset (nacd version 1) – final report. Danish Meteorological Institute, *Scientific Report*, 96(1), 40 s.

68 Löwendahl, E., E. Engström, R. Ruuhela, H. Tuomenvirta, E. Førland, H.T. Tilley Tajet, K.A. Iden, H. Björnsson, C. Kern-Hansen & J. Hesselbjerg Christensen (2012) Co-operating efforts within the Nordic Framework for Climate Services. *EMS Annual Meeting Abstracts*, 9, EMS2012-370 <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2012/EMS2012-370.pdf>

69 Dyrddal, A.V., J. Olsson, E. Médus, K. Arnbjerg-Nielsen, P. Post, S. Aniskevica, S. Thorndahl, E. Førland, L. Wern, V. Maciulyte & A. Mäkelä (2021) Observed changes in heavy daily precipitation over the Nordic-Baltic region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38, 100965, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100965>

Flere europeiske land ønsket å bli med i det nordiske klimasamarbeidet. Avdelingsleder Bjørn Aune og andre tok initiativ til en utvidelse og fikk klarsignal til å etablere European Climate Support Network (ECSN) på et direktørmøte for de europeiske meteorologiske institutter i Reading i Storbritannia i 1992. Formålet var å styrke det europeiske klimasamarbeidet og etablere fritt tilgjengelige klimadatasett, både modellbaserte og modelluavhengige. Meteorologisk institutt har vært med i ECSN Advisory Committee siden starten. I 1996 var 16 land medlemmer og seks land observatører i ECSN, og samme år organiserte ECSN den første European Conference on Applied Climatology, ECAC, i Norrköping. Disse ECAC-konferansene har siden blitt arrangert hvert annet år, og lenge med ECSN som medarrangør. Fra desember 1995 ble ECSN en del av den europeiske samarbeidsorganisasjonen EUMETNET for de nasjonale meteorologiske instituttene, og fra 2005 er ECAC-konferansene blitt en del av aktivitetene til European Meteorological Society (EMS).

I 1998 fulgte ECSN opp det nordiske NACD-samarbeidet om klimadatasett med prosjektet European Climate Assessment and Dataset». <sup>70</sup> NACDs kvalitetskriterier og lagringsformat for klimadata ble da utviklet videre, og det ble lagt til rette for enkel internasjonal utveksling av de etablerte datasett som også omfattet NACD-seriene. Dette europeiske datasettet er nå videre utvidet både med antall land, klimaparametere og tidsperiode. <sup>71</sup>

I 2007 fikk Meteorologisk institutts direktør Anton Eliassen internasjonalt gjennomslag for at meteorologiske data skal være fritt tilgjengelige. Dette har totalt endret den internasjonale utvekslingen av klimadata. Samarbeid om lange, homogeniserte klimaserier er fortsatt grunnlaget for klimaforskning og overvåkning av global klimautvikling.

Meteorologisk institutt har hatt som mål å være en lojal og aktiv partner i det internasjonale klimasamarbeidet innen IMO/WMO. Direktør Hen-

70 Klein Tank, A.M.G., J.B. Wijngard, G.P. Können, R. Böhm, G. Demarée, A. Gocheva, M. Miletta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, R. Heino, P. Bessemoulin, G. Müller-Westermeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Pálsdóttir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, R. Aberfeld, A.F.V. Van Engelen, E.J. Førland, M. Miletus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J.A. López, B. Dahlström, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander & P. Petrovic (2002). Daily Dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. of Climatology*, 22, 1441–1453.

71 <https://www.ecad.eu/>

rik Mohn (Meteorologisk institutts direktør 1866–1913) deltok på den første konferansen til den Internasjonale Meteorologiske Organisasjonen (IMO) i Wien i 1873, og ble der valgt inn i den meteorologiske komiteen.<sup>72</sup> Direktør Theodor Hesselberg (Meteorologisk institutts direktør 1915–1955) var president i IMO i perioden 1935–1951.<sup>73</sup> I 1951 ble IMO omorganisert og lagt under FN-systemet som World Meteorological Organisation (WMO), og Meteorologisk institutt har gjennom klimaavdelingen vært med i WMOs klimakommisjon (CCI) fram til WMOs omorganisering i 2020 da klimaarbeidet ble en del av de to nye kommisjonene Commission for Observation, Infrastructure and Information Systems (Infrastructure Commission) og Commission for Weather, Climate, Water and Related Environmental Services & Applications (Services Commission) og er også et element i Research Board som nå organiserer forskningsarbeidet i WMO.

### 3.2.7 Homogenisering av dataseriar

Øyvind Nordli

Endringar i bygningsmasse og vegetasjon rundt måleinstrumenta kan påverke målingane både av nedbør og temperatur og gje det vi kallar homogenitetsbrot i ein måleserie. Vi ynskjer å studere endringar og variasjonar i klimaet uforstyrra av endringar i miljøet på stasjonane der det blir observert.

Instrumenta kan også bli modifiserte for til dømes å redusere oppfangingsvika i nedbørmålaren, eller for å skjerme termometera mot kortbølgestråling slik at dei ikkje blir varmare enn lufttemperaturen. Slike utbetringar kan truge homogeniteten i ein dataserie. Når ein by veks, kan temperaturen bli endra. Ein målestasjon i byen vil då relativt sett kunna få høgare temperatur etter som tida går jamført med ein målestasjon i omlandet. Bystasjonen kan likevel ikkje reknast for inhomogen fordi han nettopp reflekterer ein reell temperaturoppgang, men temperaturen må justerast om han skal representere temperaturtrenden for landområda.

72 Nilsen Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press / Spartacus Forlag, Oslo.

73 Barlaup, A. (red.) (1968). *Det norske meteorologiske institutt 1866–1966*. Fabritius og Sønners forlag.

Så snart måleseriane var så lange at dei kunne brukast til klimaanalyse, vart også eventuelle inhomogenitetar i seriane diskuterte. Likevel får ikkje problemet nokon stor plass i dei kjende klimapublikasjonane til Hesselberg og Birkeland som kom utover på 1940-talet. Analysane hadde ei felles overbygning som var synleg allereie i tittelen: «Säkulare Schwankungen des Klimas von Norwegen». I undertittelen kom så namnet på det vêrelementet analysen handla om. Det galdt temperatur, nedbør, trykk og fukt. I tillegg til klimaanalysen er også sjølve seriane trykte. Ein kan sjå publikasjonar av Inger Bruun<sup>74</sup> som eit framhald av arbeida til Hesselberg og Birkeland. Bruun var klar over behovet for homogenitetstesting, og på nedbørstasjonar der det hadde vore endringar, vart forholdstal før/etter brotett oppgjeve.

Homogenitetsproblemet gjorde seg meir eller mindre gjeldande i alle land, slik at internasjonalt samarbeid var svært naturleg, og ikkje minst etter lengta både når det galdt praktisk gjennomføring og metode. På nordisk basis kom samarbeidet som ein del av NACD, sjå kapittel 3.2.6. Klimatologen Hans Alexandersson ved SMHI utvikla ein testmetode som etter kvart vart kalla SNHT (Standard Normal Homogeneity Test). Ved bruk av metoden gjekk ein ut frå dei seriane som var venta å vera mest homogene, heldt så fram med serie etter serie til heile stasjonsnettet var homogenisert. Metoden vart fyrst publisert og prøvd på nedbør i Sørvest-Sverige,<sup>75</sup> men kunne også brukast på andre vêrelement. For Noreg vart metoden brukt for nedbør<sup>76</sup> og temperatur.<sup>77</sup>

Det er eit formidabelt arbeid å homogenisere eit nasjonalt stasjonsnettverk med alle dei vurderingane som må gjerast. Ikkje minst krev det detaljert kjennskap til målingane. Lars Andresen ved Meteorologisk institutt tok i bruk eit system utvikla av Petr Štěpánek frå det tsjekkiske meteorologiske

- 
- 74 Bruun, I. (1962). *The air temperature in Norway 1931–60*. Det norske meteorologiske institutt.  
Bruun, I. (1967). *Standard normals 1931–60 of the air temperature in Norway*. Meteorologisk institutt.
- Bruun, I. & Schou, G. (1949). *Nedbøren i Norge, 1895–1943*. H. Aschehoug.
- 75 Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of climatology*, 6, 661–675.
- 76 Hanssen-Bauer, I. & Førland, E.J. (1994). Homogenizing Long Norwegian Precipitation Series. *Journal of Climate*, 7(6), 1001–1013.
- 77 Nordli, Ø. (1997). Homogenitetstesting av norske temperaturseriar II. DNMI-klimarapport 29/97, 1–43.

instituttet, og klarte ved hjelp av det å homogenisere heile det norske nettverket.<sup>78</sup>

Det internasjonale samarbeidet manifesterte seg også som eit europeisk samarbeid i regi av COST<sup>79</sup> (European Cooperation in Science and Technology). Olivier Mestre frå Météo France var leiar for samarbeidet og var sterkt medverkande til at programpakka HOMER vart etablert. Pakka vart mykje brukt ved Meteorologisk institutt. Parallelt med dette tok det ungariske meteorologiske instituttet til med å arrangere årlege seminar om homogenitetstesting. Nestoren der var Tamás Szentimrey, som tidleg utvikla ein alternativ metode<sup>80</sup> (MASH) til SNHT.

Den vedvarande interessa for homogenitetstesting og justering av klimaseriar speglar kor viktig dette arbeidet er for den delen av klimatologien som er basert på statistikk. Inhomogene data kan til dømes gje feil storleik på trendar i dataseriar, og kan smitte over til klimanettverk basert på «gridding». Gjennom alle åra med internasjonalt samarbeid har Meteorologisk institutt vore aktivt med. Det har vore viktig for å halde god kvalitet på den delen av samfunnsoppdraget som gjeld klima.

### 3.2.8 Etablering av lange, homogene dataseriar for Noreg

#### 3.2.8.1 *Bruk av ulike datakjelder for å forlengje dataseriar bakover i tid* Øyvind Nordli

Eit hovudmål i klimaforskinga er å skaffa kunnskap om klimaet lengre tilbake i tid enn det måleseriar med instrument kan gje. Dei lengste måleseriane i Noreg går med få unntak ikkje lengre tilbake enn 150 år. For å koma over dette tidsskiljet, må dermed andre datakjelder brukast. Ein tyr då til såkalla proksy-data, eller indirekte data. Det er data som ikkje i og for seg er klimadata, men som samvarierer med meteorologiske vêrelement som nedbør og temperatur. Det kan vera sediment på havbotnen og i innsjøar som

78 Andresen, L. (2011). Homogenization of monthly long-term temperature series of mainland Norway. Norwegian Meteorological institute, met.no.note, 02/2011.

79 ES0601 – Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach (HOME).

80 Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH).



kan registrerast lagdelt nedover i avsetningane og dermed daterast. Det kan vera foraminiferar som er eincella slimdyr som lever i havet. Og i innsjøar finst hovudet av fjørmygglarvar og pollen frå ulike plantar og tre. Fossil av trestammar i myrer kan gje informasjon om historisk skoggrense.

Slik forskning gjorde store framsteg utover 1990-talet, ikkje minst ved Universitetet i Bergen som lukkast med å få tilsett paleobotanikarane Hilary og John B. Birks. Dei var ekspertar på pollenanalyse. Der var også breforskaren Atle Nesje og Hans Petter Sejrup som arbeidde med analyse av havsediment, og det var samarbeid med Universitetet i Tromsø ved Morten Hald og med Noregs geologiske undersøkingar ved Eilif Larsen.

På Triaden-møtet i mars 1997<sup>81</sup> om norsk satsing på klimaforskning var hovudfokus framtidig klimautvikling under global oppvarming (sjå kap. 3.3.3). Det var viktig å sjå framtidig klimautvikling i samheng med historiske klimaendringar og variasjonar. Det paleoklimatologiske miljøet i Noreg var sterkt, men det var liten kontakt mellom dette miljøet og Meteorologisk institutt. Det vart difor på Triaden-møtet semje om å satse både på projeksjonar av framtidig klimautvikling i RegClim-prosjektet, og å styrke arbeidet med historisk klimautvikling ved å knyte paleomiljøet tettare saman med forskinga på lange historiske rekkjer med instrumentelle data ved Meteorologisk institutt. Dette samarbeidet vart fremja gjennom prosjektet NORPAST leia av Eilif Larsen og seinare gjennom NORPAST-2 leia av Morten Hald. Meteorologisk institutt vart med i bae prosjekta, og hadde som oppgåve å arbeide med ei heilt spesiell gruppe prokxy-data som vi kalla historiske prokxy-data. Namnet fall naturleg å bruke fordi det var tale om skriftleg materiale. Det kunne finnast i offentlege arkiv, men mykje er òg i privat eige.

Mange ulike prokxy vart prøvd. Frå gardsdagbøker (eller bondedagbøker) vart temperaturen om våren jamført med starten på våronna, vår/sommartemperaturen vart jamført med starten av kornskurden (startdato for skjering av kornet) og dato for isløysing på vatn vart jamført med temperaturen på ettervinteren/våren. Av desse vart isløysinga<sup>82</sup> og starten på korn-

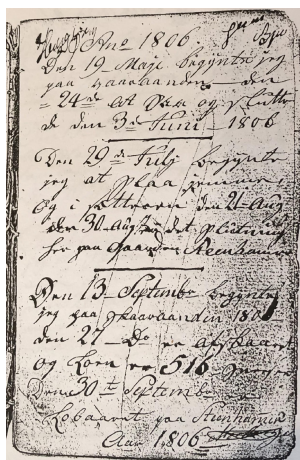
81 Norges forskningsråd (1997). Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag. Program for workshop «Regional klimautvikling under global oppvarming», Triaden hotell, Lørenskog 13.-14. mars 1997.

82 Ein dag ringde gardbrukaren Torstein Johnsrud til Meteorologisk institutt og fortalde at han hadde isløysingsdata frå Randsfjorden tilbake til 1769. Dette stod ikkje til truande sidan dei eldste kjende seriane i Noreg ikkje gjekk lengre attende enn til om lag 1850, bortsett frå nokre sporadiske observasjonar. Vi reiste likevel snøgt opp til Randsfjorden og kunne konstatere at han hadde ei dagbok



skurden brukte. Det rikaste materialet og den beste korrelasjonen ( $R^2 \approx 0.8$ ) var for kornskurden. For å finne overgangslikninga frå skurddato til temperatur vart perioden 1870–1900 brukt. Jmføringa kunne vanskeleg bli gjort etter 1900 fordi mekaniseringa av jordbruket skaut fart og det vart forska på å betre plantematerialet. Å bruke data føre 1870 var heller ikkje greitt fordi dei meteorologiske observasjonane ikkje var like pålitelege så tidleg.

Instrument-seriar vart forlenga bakover i tid frå ulike landsdelar med unntak av Nord-Noreg der det ikkje vart funne godt nok materiale. På Austlandet vart eit rikt materiale av bondedagbøker funne, slik at vår- og sommartemperaturen kunne rekonstruerast tilbake til 1749 (Meteorologisk institutts klimarapport 01/01). Dermed overlappa den rekonstruerte serien med serien av instrumentobservasjonar frå Stockholms universitet. Varme og kalde periodar samsvara, men trenden mot varmare klima i Austlands-serien var sterkare enn i Stockholmsserien. Dette genererte ein internasjonal debatt om overoppheting av termometer i dei eldste seriane.<sup>83</sup>



**Figur 3.6** Dagbok frå garden Stenhammar i Elverum kommune for året 1806. Vi ser at «vaaraanden» tok til 19. mai og «skaaraanden» den 13. september. Dette er informasjon som kan brukast til klimarekonstruksjon.

med datoar heilt fram til 1900-talet. Dei vart brukte til å rekonstruere middeltemperaturen for februar–april utover perioden med instrument-observasjonar som ikkje finst for Austlandet frå 1700-talet.

83 Moberg A., H. Alexandersson, H. Bergström & P.D. Jones (2003). Were the southern Swedish summer temperatures before 1860 as warm as measured? *Int. J. Climatol.*, 23, 1495–1521.

3.2.8.2 *Lange temperatur-seriar*

Øyvind Nordli

Pioneren i arbeidet med å få etablert lange dataseriar i Noreg basert på instrumentelle observasjonar er utan tvil Bernt Johannes Birkeland (1879–1955).<sup>84</sup> Han hadde mellom anna bakgrunn frå Meteorologisk observatorium i Bergen som var operativt frå januar 1904. Føremålet med observatoriet var stormvarsling. Niels Johan Føyn var styrar med Birkeland som assistent. Etter fyrste verdskrigen kom Vilhelm Bjercknes tilbake til Noreg, «Bergensskulen» vart etablert og observatoriet mista oppgåvene med stormvarsling. Alt tyder på at Birkeland hadde ynskt å halde fram med stormvarsling,<sup>85</sup> men han kom ikkje med i krinsen kring Bjercknes og kunne dermed ikkje halde fram. Då er vi komne til 1920 og Birkeland var vel 30 år gamal, og kunne gå laus på nye oppgåver. Vi får aldri vita kva tankar han hadde om å bli tilsidesett, men måten han gjekk inn i klimatologien på, viser at han snøgt opparbeidde ei genuin interesse for emnet. Resultata talar for seg sjølve.

Birkeland nøydde seg ikkje berre med å analysere dei data som Meteorologisk institutt (frå 1866) hadde skaffa fram, men gjekk heilt tilbake til starten av dei norske instrumentelle målingane. Universitetet i Oslo kom i 1811, og professor Jens Esmark tok til å måle temperaturen i hagen sin der han budde i Øvre Vollgate 7 frå 1. januar 1816. Esmark heldt fram med målingane til like før han døydde 26. januar 1839. Professor Hansteen hadde starta målingar ved Astronomisk observatorium 2. april 1837.

Birkeland tok til med målingane i Oslo,<sup>86</sup> og kvaliteten var generelt god. Særleg forvitneleg er den nemnde serien frå Observatoriet som enno var i drift då Birkeland publiserte arbeidet sitt. Serien vart ikkje avslutta før ved årsskiftet 1933/34. Han er unik på grunn av lengde, og ved det at det vart observert med same instrument gjennom heile perioden. Det var tre termometer, eitt på kvar av veggane aust, vest og nord, slik at observatørane alltid

84 Nekrolog over Bent J. Birkeland stod i Årsberetning for budsjettåret 1. juli 1954 til 30. juni 1955 for de meteorologiske institusjoner i Norge, utgitt av Det norske meteorologiske institutt og trykt i juli 1956.

85 Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press Spartacus Forlag, Oslo.

86 Birkeland, B.J. (1926). *Ältere Meteorologische Beobachtungen in Oslo (Kristiania). Luftdruck und Temperatur in 100 Jahren*. Geofys. Publ. III, Geofys. Publ.: Oslo, 56 pp.

kunne finne ein vegg som hadde skugge. Også trykk vart observert, og i delar av perioden jamvel nedbør utan at Birkeland behandla den.

Dei neste observasjonane som Birkeland tok tak i, var frå Bergen.<sup>87</sup> Dei starta med ein serie av C.F.G. Bohr, som var overlærer ved Bergen katedralskole. Observasjonane strekte seg over åra 1818–1826, men dei originale dagbøkene er komne bort. Seinare fylgde andre observatørar etter, men mange år og månader vantar observasjonar, og dei originale dagbøkene finst ikkje lenger. Fyrst med observasjonane frå Lungegårdshospitalet som starta i 1860, finst det komplette observasjonar frå Bergen.

Prost Nils Hertzberg starta observasjonar i Ullensvang i Hardanger alleireie i 1798. Her hadde Birkeland ei svært komplisert oppgåve med å tolke observasjonane, for Hertzberg etterlet seg berre såkalla døgnmiddel som i realiteten ikkje var døgnmiddel, men middel over dagen då han meinte at natta ikkje var viktig.<sup>88</sup>

Birkeland fylgde opp arbeidet med dei lange datarekkjene ved å levere inn eit nytt manuskript i august 1933,<sup>89</sup> denne gongen om observasjonane i Vardø. Dei tidlege observasjonane vart tekne på Vardøhus festning. Her fanst personell som kunne gjera ein innsats også for meteorologien, og alt frå 1. juni 1829 til 31. mai 1831 vart det observert kvar time gjennom heile døgnet etter eit opplegg som var tilrettelagt av professor Hansteen. Vidare vart det observert ved festninga i perioden 1840–1852, og deretter av den russiske visekonsulen i Vardø, Paul Greve Skanche, 1856–1875. Denne rekkja overlappar dermed med stasjonen til Meteorologisk institutt frå 1867.

Etter andre verdskrigen heldt Birkeland fram med å analysere gamle observasjonsrekkjer, denne gongen frå Trondheim.<sup>90</sup> Språket var no endra frå tysk i dei tidlegare publikasjonane til engelsk. Rekkja tek til med observasjonane til Johan Daniel Berlin i perioden 1762–1782 som dermed kan

87 Birkeland, B.J. (1930). *Ältere Meteorologische Beobachtungen in Bergen. Luftdruck und Temperatur seit 100 Jahren*. Geofys. Publ. V, 56 pp.

88 Birkeland, B.J. (1931). *Ältere Meteorologische Beobachtungen in Ullensvang. Luftdruck und Temperatur seit 100 Jahren*. Geofys. Publ. Vol IX, pp. 1–40.

89 Birkeland, B.J. (1935). *Ältere Meteorologische Beobachtungen in Vardö. Luftdruck und Temperatur seit 100 Jahren*. Geofys. Publ., X, 52 pp. Birkeland, B.J. (1935). *Mittel und Extreme der Lufttemperatur*. Geofysiske Publikasjoner. VII, 155 pp.

90 Birkeland, B.J. (1949). *Old meteorological observations at Trondheim. Atmospheric Pressure and Temperature*. Geofys. Publ., XV, 38 pp.

reknast for å vera dei eldste i Noreg (i litteraturen kan ein finne 1761 som startår, men det er feil). Deretter har Birkeland nytta det som fanst av data-rekkjer. Det er observasjonar gjorde av privatpersonar av eiga interesse. I lange periodar har det ikkje vore observert i Trondheim. Då har Birkeland interpolert med data frå stasjonar så langt unna som Edinburgh, København og Stockholm. Desse stasjonane er også brukte til å homogenisere dei observerte data.

Denne gjennomgangen syner at materialet som Birkeland hadde, varierte mykje i kvalitet. Kvaliteten i Oslo er best som ein kunne vente, sidan det er seriar gjorde av professorar ved universitetet. Rekkja frå Vardø burde også ha bra kvalitet etter det som går fram av arbeidet til Birkeland. Verre er det med rekkja frå Ullensvang der ein ikkje kjenner anna enn såkalla døgnerdiar, og også i dei eldste delane av Trondheimsrekkja er det problem. Birkeland skriv sjølv om dette: «... the figures should not be trusted too much, such as they are presented. The whole degree is fairly acceptable, but the decimal fraction is uncertain. This applies even more to the interpolations.» Problemet med dette er at brukarane av datarekkja ikkje kan ventast å ha lese artikkelen og dermed undervurderer uvissa.

Forvitneleg var det òg å kunne jamføre rekonstruksjonen av temperaturen i Trøndelag basert på gardsdagbøker tilbake til 1701 (Meteorologisk institutt's klimarapport 05/04) med Birkelands langtidsserie frå Trondheim. Ein konstaterte homogenitetsbrot i Trondheimserien til Birkeland i somme av dei åra det var observatørbyte i serien. Her var det tale om private observatørar som observerte heime, slik at byte av observatør også kunne vera eit byte av termometer, oppstilling og observasjonstid.

Birkeland og medhjelparar la ned eit stort arbeid ved å spora dei gamle dataseriane, leite fram eventuelle metadata, skaffe seg kjennskap til observasjonsmetodar og prosedyrar. Og sist, men ikkje minst informasjon om kva for einingar som vart brukte av dei ulike observatørane for dermed å kunne konvertere data til moderne einingar. Mykje av denne informasjonen vart skaffa ved tidkrevjande søk i brevsamlingar. Papir som Birkeland etterlet seg, har i stort monn vore brukte til å digitalisere data, noko som har spara instituttet for mykje strev. Dette er ein viktig del av arven etter Birkeland.

Eit spesielt problem ved manuelle observasjonar er manglande observasjonar om natta. Det var berre eit fåtal av stasjonane som hadde alle nattobservasjonane, og klimastasjonane hadde berre observasjonar kl. 08, 14 og

20. Eit reint aritmetisk middel av observasjonane over døgnet ville bli for høgt med unntak av midtvinters i Nord-Noreg og på Svalbard. I starten vart løysinga å kutte ut middagsobservasjonen og nøye seg med eit middel av observasjonane morgon og kveld med ei finjustering ved hjelp av ein konstant som varierte med månad og stad. I andre land vart løysinga å vekte kvar observasjon, slik at summen vart liggjande nær eit sant døgnmiddel.

Den vidgjetne klimatologen Wladimir Köppen (1846–1940) hadde ei anna løysing. I 1888 publiserte han ein formel for døgnmiddel der det vart brukt tre faste observasjonar på dagtid i tillegg til døgminimum.<sup>91</sup> Døgminimumet vart vekta med ein konstant (Köppens konstant) som varierte med tid på året og stad. I 1875 vart minimums-termometeret innført i det norske stasjonsnettet. Dermed hadde instituttet dei data som skulle til for å bruke Köppens formel. Konstanten vart funnen ved hjelp av skrivande instrument, termograf, på somme stasjonar. Der slike ikkje fanst, vart det interpolert.<sup>92</sup>

Instituttet venta ikkje lenge med å ta i bruk Köppens formel, for allereie i 1891-årboka ser vi han brukt. For å få eit einsarta datasett, vart månadsmiddeltemperatur etterrekna så langt tilbake ein kunne, dvs. til og med 1876. Vidare inspirerte formelen den norske klimatologen Føyn til å prøve ein tilsvarende formel for tidlegare år der middagsobservasjonen vart vekta for å få rett månadsmiddel.<sup>93</sup>

Ved starten av dette hundreåret vart fleire og fleire av stasjonane automatiserte og timesobservasjonar vart rutinemessig lagra i databasen. Dermed var det tilsynelatande ikkje behov for Köppens og Føyns formlar lenger då døgnmiddel-temperaturar kunne reknast ut som aritmetiske middel av 24 timesobservasjonar. Overgangen frå manuelle til automatiske observasjonar kunne lett føre til homogenitetsbrot om ikkje konstantane i formlane var heilt rette. Difor er konstantane etterrekna med det rike materialet som no står til rådvelde.<sup>94</sup>

91 Köppen, W. (1888). Über die Ableitung wahrer Tagesmittel aus den Beobachtungen um 8h a.m., 2h p.m. und 8h p.m. *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie*, 16, 341–354.

92 Birkeland, B.J. (1935). Mittel und Extreme der Lufttemperatur. Geofysiske Publikasjoner. VII, 155 pp.

Høgåsen, S. (1993). *Mean temperature in Meteorology*. DNMI-klima, report no. 40/93, 7 pp.

93 Nordli, Ø. & O.E. Tveito (2008). Calculation of monthly mean temperature by Köppen's formula in the Norwegian station network. met.no report, No. 18/2008 Climate, 13 pp.

94 Nordli, Ø. (2022). *Metadata for the Norwegian Meteorological Station Network 1866–1956*. MET report No. 7/2022.

Om lag 90 år etter at Birkeland arbeidde med Oslo-serien, vart serien homogenisert på nytt med moderne metodar.<sup>95</sup> Målingane frå Astronomisk Observatorium fekk no ein større plass på kostnad av dei frå Meteorologisk institutt på grunn av den unike stabiliteten i målingane gjennom nesten 100 år på observatoriet. Vidare vart no serien kopla saman med serien frå Blindern der det enno er aktive målingar. Dermed dekkjer den homogeniserte Oslo-serien heile perioden frå 1837 til i dag. Fram til 2012 er ein svak urban trend fjerna.

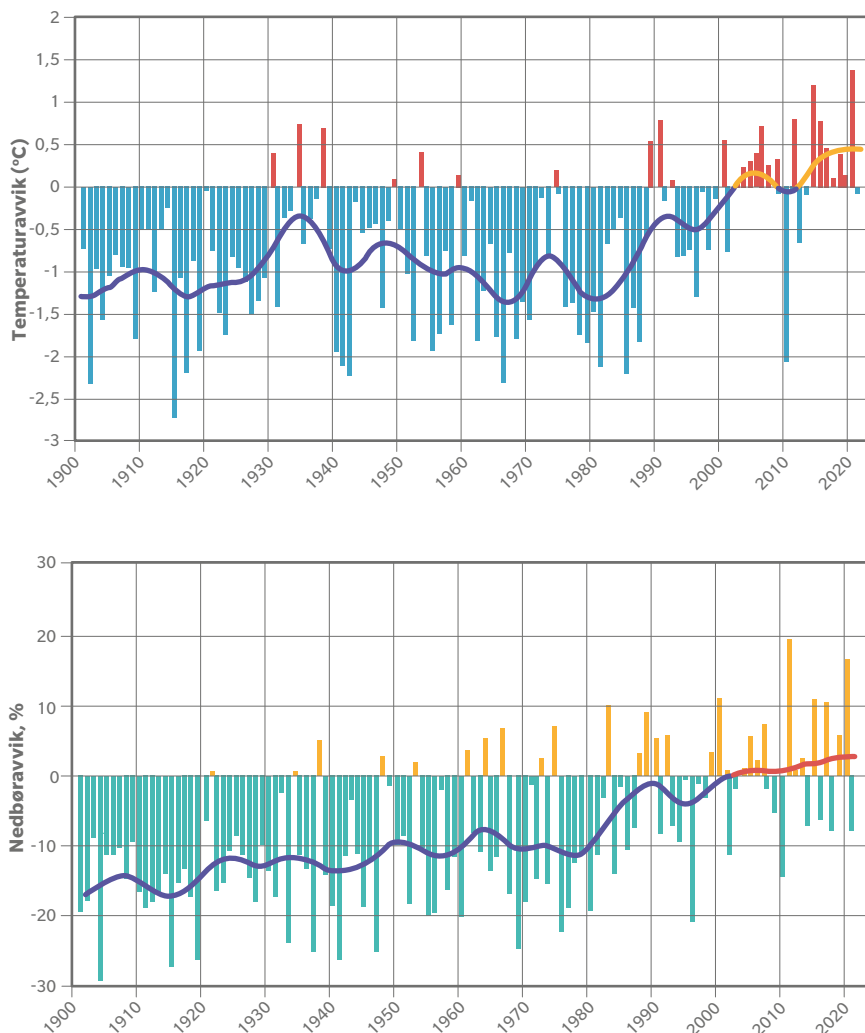
Interessa for den fyrste som starta meteorologiske observasjonar i Oslo, Jens Esmark, har auka etter at Geir Hestmark gav ut ein omfattande biografi om han.<sup>96</sup> Esmark observerte i perioden 1816–1838, slik at det så vidt vart overlapp med observasjonane frå observatoriet. Også serien til Esmark er homogenisert på nytt.<sup>97</sup> Det viste seg at kvaliteten var god jamført med andre seriar frå andre universitet på den tida. Esmark møtte i samtida sterk motstand for istidsteorien sin som utfordra det etablerte vitskaplege miljøet, og sjølv var han lite med i den vitskaplege debatten. Underleg er det derimot at det er fyrst no innsatsen hans er verkeleg anerkjent.

---

95 Nordli, Ø, G. Hestmark, R.E. Benestad & K. Isaksen (2014). The Oslo temperature series 1837–2012: homogeneity testing and temperature analysis. *Int. J. Climatol.*, <https://doi.org/10.1002/joc.4223>

96 Hestmark, G. (2017). *Istidens oppdager. Jens Esmark, pioneren i Norges fjellverden*. Kagge Forlag.

97 Hestmark, G. & Ø. Nordli (2016). Jens Esmark's Christiania (Oslo) meteorological observations 1816–1838: the first long-term continuous temperature record from the Norwegian capital homogenized and analysed. *Clim. Past*, 12, 2087–2106, <https://doi.org/10.5194/cp-12-2087-2016>.



**Figur 3.7** Temperatur- og nedbørutvikling i Noreg sidan 1900 vist som avvik frå 1991–2020-normalane og basert på homogeniserte datasett. (Ole Einar Tveito, 2022. Manuskript under skriving til Int. J. Climatology)

3.2.8.3 *Lange nedbørseriar*

Eirik J. Førland

På grunn av etter måten få målestasjonar og uvisse om kvaliteten på målingane meinte avdelingsleiar Bjørn Aune at nedbørmålingane i Noreg starta for alvor fyrst då nedbøravdelinga ved Meteorologisk institutt vart skipa i 1895 (Meteorologisk institutts klimarapport 26/89). Også avdelingsleiar Inger Bruun konsentrerte seg i sin publikasjon, *Nedbøren i Norge*,<sup>98</sup> om målingane frå og med 1895. Det hadde vore målt nedbør også før den tid, men målingane var sporadiske og vanskelege å kvalitetssikre. I motsetning til temperatur var det ikkje gode proksey-data til å forlengje seriar bakover i tid. Historisk finst det opplysningar om år og periodar med ekstrem tørke, store flaumar og snørike vintrar, men det har ikkje vore mogleg å bruke dette til å rekonstruere eldre nedbørseriar.

Bruun og Schou<sup>99</sup> gjev eit oversyn for somme nedbørseriar frå før 1895 som har så god kvalitet at dei er nytta av Meteorologisk institutt. Den eldste stasjonen i dette oversynet er Oslo-observatoriet med start i 1839. Men målarer var plassert på altanen til observatoriet – neppe ei ideell plassering (kanskje var det årsaka til at Birkeland ikkje tok med nedbør i publiseringa av Oslo-serien). I perioden 1860–1869 vart det starta 11 nye stasjonar med nedbørmålingar: Bergen, Bodø, Brønnøysund, Dombås, Elverum, Florø, Kristiansund, Lærdal, Mandal, Skudeneshavn og Ålesund. I perioden 1870–1879 vart det starta 22 nye stasjonar, og 43 stasjonar i 1880–1889. Nokre av stasjonane vart lagde ned etter kort tid.<sup>100</sup> Inger Bruun presenterte ein omfattande nedbørstatistikk for perioden 1876–1895 med ca. 30 stasjonar. I «Nedbøriakttagelser for Norge 1912» blir det ifølge Bruun gjeve middelveidiar, maksimum og minima for observasjonsperioden frå stasjonane vart starta og til og med 1910, og dessutan for «normalperioden 1876–1910».<sup>101</sup>

Meteorologane var tidleg klar over måleproblema med nedbør (kapittel 3.2.4). Difor vart alle stasjonane «underkastet en grundig homogenitetsun-

98 Bruun, I. & G. Schou (1949). *Nedbøren i Norge, 1895–1943*. H. Aschehoug (tabell I).

99 Ibid.

100 Mohn, H. (1899). Klimatabeller for Norge. Videnskabselskabets Skrifter. Math-naturv. Klasse. 1899, No 5.

101 Bruun, I. & G. Schou (1949). *Nedbøren i Norge 1895–1943*. Det norske meteorologiske institutt, Oslo.



dersøkelse» for normalperioden 1901–1930.<sup>102</sup> Dei viktigaste årsakene til brot var «anbringelse av skjerm, flytning av nedbørstolpen, forandring i bebygelse eller beplantning i nærheten av stolpen, skjev nedbørstolpe, lekk måler», og einskilde gonger skifte av observatør. Monteringa av vindskjerm som starta i 1906 (kapittel 3.2.4) førte til homogenitetsbrot i ei rekkje gamle nedbørseriar. Inger Bruun publiserte eit oversyn med årstal for montering av vindskjerm.<sup>103</sup> På nokre få utvalde gamle målestasjonar heldt målingane fram utan vindskjerm for å unngå homogenitetsbrot.

På grunn av utfordringane med nedbørmålingane føre 1895 er det også i dei seinare undersøkingane av lange norske nedbørseriar brukt 1895 som startår. Desse seriane vart på 1990-talet kvalitetskontrollerte og testa for homogenitetsbrot med SNHT-metoden (kapittel 3.2.7). Denne metodikken gjev både sannsynleg årstal for brot og forslag til justeringsfaktor. Resultat frå desse homogenitetsanalysane av nedbør er presenterte i Meteorologisk institutts klimarapportar 02/91, 13/91 og 01/92, og er oppsummerte av Hanssen-Bauer og Førland i 1994.<sup>104</sup> Av dei 165 lange seriane som vart analyserte, var det berre 50 som kunne klassifiserast som homogene, 79 vart homogene etter éi justering, og for 36 seriar var det fleire brot som gjorde homogenisering vanskeleg. 47 % av brota var på grunn av flytting av målarer, 18 % endring i omgjevnaden (bygningar, vegetasjon etc.), 9 % montering av vindskjerm, 3 % ny observatør, 3 % hadde andre årsaker (funne i inspeksjonsrapportar). For 21 % av brota var det ikkje mogleg å finne årsaka. Justeringsfaktorane for einskilde stasjonar varierte frå 0,8 til 1,2; med systematisk auke i årsmiddelnedbør ved montering av vindskjerm (+13 %) og endring i omgjevnaden (+5 %). Desse tala kan vera justerte også i det seinare av Lars Andresen.

Desse resultatata understrekar kor viktig homogenitetstesting er for å kunna analysere historiske endringer i nedbør. Røynslene frå arbeidet viste også at pga. dei store geografiske skilnadene i nedbørtilhøva i Noreg, trengst eit tett nett av nedbørstasjonar for å sikre god homogenitet i lange målese-riar. Det er difor ikkje gjort freistnad på å forlengje nedbørseriane lengre til-

---

102 Ibid.

103 Ibid., tabell 2.

104 Hanssen-Bauer, I. & Førland, E.J. (1994). Homogenizing long Norwegian precipitation series. *J. Climate*, 7, 1001–1013.

bake i tid enn til 1895. Det vart på 1990-talet gjort fleire analysar av dei lange tidsseriane, mellom anna for å vise regional utvikling av nedbøren over lang tid (Meteorologisk institutts klimarapport 13/94) og til studiar av trendar og variabilitet (Meteorologisk institutts klimarapport 27/95).

### 3.2.9 Observasjonar i Arktis

Ketil Isaksen

#### 3.2.9.1 Meteorologisk institutt i norsk polarhistorie

Etableringen av værstasjonene på Svalbard er en del av norsk polarhistorie og danner grunnlaget for en viktig del av klimaforskningen til instituttet og vår forståelse av klimautviklingen i denne delen av Arktis.

Olaf Devik og Ole Andreas Krogness ledet oppbyggingen av Værvarslinga for Nord-Norge og etableringen av værstasjoner på Svalbard, Jan Mayen og Grønland.<sup>105</sup> I 1911 anla Telegrafvesenet den første faste telegrafstasjon og Meteorologisk institutt-værstasjon ved Finneset-Green Harbour nær Barentsburg på Svalbard. Sommeren 1911 kom Spitsbergen radio på Finneset. Dette sikret kommunikasjon til Hammerfest fram til 1929, og fra 1933 var det telegraf i Longyearbyen. Svalbardtraktaten ble inngått i 1920 og trådte i kraft i 1925. I 1930 ble den meteorologiske stasjonen flyttet til Longyearbyen, mens telegrafen samme år ble flyttet til Isfjord Radio, der Meteorologisk institutt etablerte sin stasjon i 1934. I 1920 ble det etablert en meteorologisk stasjon på Bjørnøya, og i 1945 på Hopen (en tysk stasjon ble etablert der i 1943).

---

105 Drivenes, E.A. & Jølle, H.D. (2004). Norsk polarhistorie. II. Vitenskapene. Norwegian polar history. II. The science.



**Figur 3.8** Bildet er fra stasjonen i Longyearbyen slik den var i 1930 sammen med oppstartsår for de bemannede stasjonene til Meteorologisk institutt på Svalbard. Foto: Meteorologisk institutt

På initiativ fra det meteorologiske miljøet i Tromsø og Bergen ledet den norske ingeniøren Hagbard Ekerold en ekspedisjon til Jan Mayen sommeren 1921, og annekterte øya for den norske stat samtidig som Utenriksdepartementet pekte på Meteorologisk institutt som en naturlig «eier» på landets vegne.<sup>106</sup> Den nordlige delen av Jan Mayen ble okkupert av Meteorologisk institutt i 1922, hele øya i 1926. Ved kongelig resolusjon 8. mai 1929 ble Jan Mayen lagt inn under norsk statsoverhøyhet, og ved lov av 27. februar 1930 ble øya en del av riket.<sup>107</sup>

Meteorologisk institutt spilte en rolle i «Grønlandssaken», som var en tvist mellom Norge og Danmark om suvereniteten over Grønland på 1930-tallet. For å markere norske interesser ble det etablert norske radio- og meteorologiske stasjoner på Øst-Grønland, bl.a. i Myggbukta (1926–1957) og Torgilsbu (1932–1940).

Stasjonshistorie og observasjoner for de arktiske stasjonene er nærmere beskrevet i Meteorologisk institutts klimarapport 17/96.

106 Nilsen Y. & M. Vollset (2016). *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press / Spartacus Forlag, Oslo.

107 [https://snl.no/jan\\_mayen](https://snl.no/jan_mayen)



### 3.2.9.2 Værstasjonene på Svalbard og Jan Mayen var sentrale i andre verdenskrig

Kulturminnene etter værstasjonene og historien viser at værobservasjonene på Svalbard var av stor betydning for krigen i Europa,<sup>108</sup> og både de allierte og tyskerne opprettet værobservasjoner og ødela motstanderens.<sup>109</sup> I august 1941 ble russere og nordmenn som bodde på Svalbard, evakuert. De allierte evakuerte Bjørnøya 2. august 1941 og satte stasjonen ut av drift. I begynnelsen av september 1941 ødela den britiskledede Operasjon Gauntlet Isfjord radio-stasjonen.<sup>110</sup> De norske stasjonene på Svalbard var derfor ikke operative i store deler av andre verdenskrig.

Tyskerne etablerte flere bemannede og automatiske værstasjoner på øygruppen, bl.a. på Hopen i november 1944 og i Rijpfjorden på Nordaustlandet sommeren 1944 under den 12 mann sterke operasjon «Haudegen». Dataserien fra Rijpfjorden dekker perioden september 1944 til september 1945 og er bearbeidet og analysert.<sup>111</sup> Det ble fra tysk side også gjort for-

108 <https://svalbardmuseum.no/no/kultur-og-historie/krigen/>

109 Blyth, J.D.M. (1951). German meteorological activities in the Arctic, 1940–1945. *Polar Record*, 6, 185–226, <https://doi.org/10.1017/S0032247400040596>

Elbo, J.G. (1952). The war in Svalbard, 1939–1945. *Polar Record*, 6, 484–495, <https://doi.org/10.1017/S0032247400047276>

Selinger, F. & Glen, A. (1983). Arctic meteorological operations and counter-operations during World War II. *Polar Record*, 21, 559–567, <https://doi.org/10.1017/S0032247400021963>

110 Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier: Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press.

111 Sinnhuber, B.M. (2021). Historic temperature observations on Nordaustlandet, north-east Svalbard. *Polar Research*, 40.

søk med ubemannede automatiske værstasjoner der observasjoner av vind, lufttrykk og temperatur ble overført via radio. Meteorologiske observasjoner rundt Longyearbyen ble gjort av både norske og allierte, men om noen av disse originaldata fortsatt eksisterer, er uklart.<sup>112</sup> Gap i de lange måleseriene fra Svalbard under andre verdenskrig er særlig uheldig siden dette var på slutten av en lengre varm periode på første halvdel av 1900-tallet.

Mange av Meteorologisk institutts værstasjoner på Svalbard var bemannet fram til 1980-tallet, og noen var blitt brukt til forskningsformål under andre verdenskrig og var automatiske målestasjoner. Bare de vestlige og sørlige delene av Svalbard var dekket. Utover på 1980-tallet kom nye automatiske stasjoner på fjerntliggende steder nordover og østover på Svalbard, etter hvert med observasjoner overført i nær sanntid via satellitt. Det ga et bedre grunnlag for værvarslingen. Miljøundersøkelser og -overvåking kom også for alvor i gang og økte behovet for observasjoner, ikke minst av miljøvariable, drevet av letingen etter olje og gass rundt Svalbard og i Barentshavet. Etableringen av Arktisk råd (Arctic Council) med arbeidsgruppen Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) i 1991 og med Lars-Otto Reiersen som generalsekretær, var en særdeles viktig milepæl i kartleggingen av miljøet i Arktis og for vurderinger av miljøkonsekvenser av økonomisk aktivitet. I Norge startet det statlige miljøovervåkningsprogrammet MOSJ (Miljøovervåkning Svalbard og Jan Mayen) i 1998,<sup>113</sup> blant annet begrunnet med økende petroleumsvirksomhet og skipsfart i området. Meteorologisk institutt har hele tiden bidratt med data og annen kunnskap til vurderingsrapportene.

Den første automatiske stasjonen på Kvitøya fra Meteorologisk institutt ble etablert i 1986. Ragnar Brækkan ved instituttets observasjonsavdeling ledet dette arbeidet. Slike automatstasjoner kunne være av forskjellig type og utrustning. De enkleste målte trykk og temperatur, de mer avanserte målte også vind og luftfuktighet. Fra 1980-tallet og fram til 2010 var tre forskjellige stasjonstyper benyttet. ICEX-kapslene fra Christian Michelsen Research i Bergen hadde robuste, lukkede enheter med alt montert inne i en dråpeformet kapsel med kraftig polyesterkappe. Temperaturmålingene var noe utsatt

---

112 Ibid.

113 <https://www.mosj.no/no/>

for strålingsfeil og hadde også relativt stor treghet. Denne stasjonstypen ble nyttet på Kvitøya og Phippsøya fram til ca. 2000. Drivende stasjoner på havisen i polbassenget bruker denne stasjonstypen i dag. SIPRO-stasjonen fra Jotron/Christian Michelsen Research var en videreutvikling av ICEX-kapselen og var en mer tradisjonell, automatisk værstasjonskonstruksjon, med enhet for datainnsamling, databehandling og transmisjon. Flere typer eksterne sensorer kunne kobles til, og Meteorologisk institutt kunne benytte sine egne standardiserte sensorer for trykk, temperatur, luftfuktighet og vind. Denne stasjonstypen ble nyttet på Gråhukuken og Edgeøya fram til 1997.

Aanderaa automatiske værstasjoner ble utviklet som et samarbeidsprosjekt mellom Meteorologisk institutt og Aanderaa instrumenter i Bergen for bruk i polare strøk. Denne stasjonen var også tradisjonell med innsamlingsenhet, prosesseringsenhet, transmitter og muligheter for tilkobling av flere eksterne sensorer. Instituttet benyttet denne på Karl XII øya, Edgeøya og Verlegenhukuken fram til 2010.

Fra og med august 2010 er det brukt Campbell-basert utstyr og Iridium satellittkommunikasjon på alle stasjoner. Disse stasjonene ble utviklet i et samarbeid mellom Meteorologisk institutt og Instrumenttjenesten på Ås. De første årene utviklet Meteorologisk institutt programvare og effektiviserte kommunikasjon via Iridium.

Fram til 2010 skjedde dataoverføringen gjennom det satellittbaserte ARGOS-systemet, der stasjonene sendte meldinger direkte til instituttet hver gang en satellitt passerte. Omløpstiden for satellittene var ca. 100 minutter. Antall satellitter varierte fra en eller to til fem i slutten av perioden. I de siste årene fram til 2010 fikk instituttet data jevnt fordelt over hele døgnet med telegrammer så og si hver time. I de første årene manglet data for deler av døgnet, spesielt om ettermiddagen og kvelden.

Observasjonene fra de automatiske værstasjonene på Svalbard ble brukt til værvarslingsformål. Fram til 2010 ble ikke dataene lagret eller etterkontrollert. Ragnar Brækkan og medarbeidere sørget for lagring og enkel «manuell» kontroll av observasjonene slik at de kunne brukes i miljøovervåkingssammenheng. Fra januar 2005 ble nedlesing og lagring endret med fortløpende konvertering av data til fysiske størrelser og med kvalitetskontroll. Fra 2010 kommer dataene via Iridium satellittkommunikasjon.

### 3.2.9.3 Analyse av Svalbards klima

Svalbards klima ble beskrevet av Bernt Johannes Birkeland basert på målinger på fangststasjoner på øygruppen.<sup>114</sup> Han gjorde også den første systematiske analysen av temperaturdata fra stasjonen ved Finneset-Green Harbour for perioden 1912–1926,<sup>115</sup> og var blant de første som pekte på den ekstraordinære temperaturutviklingen på Svalbard på begynnelsen av 1900-tallet. Han antydte at temperaturendringene sannsynligvis var de største som hittil var kjent på jorden. Mellom 1912–21 og 1926–35 var temperaturøkningen på Spitsbergen 2,7 grader.<sup>116</sup> Theodor Hesselberg, Meteorologisk institutts direktør 1915–1955, bidro sammen med Birkeland til en stor systematisk analyse av klimaendringer i Norge.<sup>117</sup> Temperaturøkningen på begynnelsen av 1900-tallet på Spitsbergen var omtrent fem ganger så stor som på fastlandet, og ble knyttet til større frekvens av lavtrykk med mild luft fra sør-sørvest inn i Arktis om vinteren.<sup>118</sup> Statsmeteorolog Esther Lothe Steffensen bearbeidet og analyserte observasjoner fra de arktiske stasjonene for perioden 1946–1965, og hun publiserte klimastatistikk og temperaturutvikling for de norske stasjonene i Arktis for hele perioden fram til 1980.<sup>119</sup>

114 Birkeland, B.J. (1920). Spitsbergens klima. *Naturen*, 44, 278–288. Bergen Museum. <https://marcus.uib.no/instance/issue/ubb-tskr-naturen-1920-09.html>

115 Birkeland, B.J. (1930). Temperaturvariationen auf Spitzbergen. *Meteorologische Zeitschrift*, 47, 234–236.

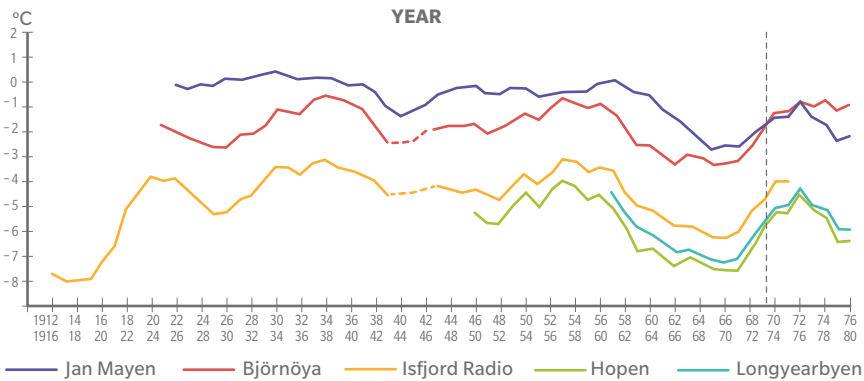
116 Hesselberg, T. (1945). Klimavariasjoner i Norge i vår tid. *Naturen*, 69(1), 17–27, <https://marcus.uib.no/instance/issue/ubb-tskr-naturen-1945-01.html>

117 Hesselberg, T. & Birkeland, B.J. (1940). *Säkulare Schwankungen des Klimas von Norwegen. Teil 1. Die Lufttemperatur*. Geofysiske publikasjoner. XIV, 4: 5–106.

118 Hesselberg, T. & Johannessen, T.W. (1958). The recent variations of the climate at the Norwegian Arctic stations. I R.C. Sutcliffe (red.), *Polar Atmosphere Symposium, part I, meteorological section, Oslo, Norway, 2–8 July, 1956*, pp. 18–29, London, Pergamon Press.

119 Steffensen, E. (1969). The climate and its recent variations at the Norwegian Arctic stations. *Meteorol. Ann*, 5, 217–349.

Steffensen, E.L. (1982). The climate at Norwegian Arctic stations. *Klima*, 5, 1–44.



**Figur 3.9** Temperaturutvikling vist som løpende fem-års middelværdier for de norske stasjonene i Arktis for hele perioden fram til 1980 (fra Steffensen, 1982).

Oppdateringer av Steffensens rapport ble gjort av Hanssen-Bauer mfl. (Meteorologisk institutts klimarapport 39/1990) og Førland mfl. (Meteorologisk institutts klimarapport 21/1997). Årsmiddeltemperaturen var da fortsatt generelt lavere enn på 1930-tallet for de arktiske stasjonene med lange tidsserier, og det var kun om våren det ble registrert en statistisk sikker positiv langtidstrend. Årsnedbøren i Longyearbyen-området hadde økt med ca. 25 % i løpet av perioden 1912–1996 (Meteorologisk institutts klimarapport 21/97). Den neste vidtfavnende klimarapporten om Svalbard kom i 2019, og inkluderte også fremtidsklima. Den er omtalt senere i dette kapitlet, og det kan nevnes at analysen av de lange tidsseriene viste statistisk sikker økning i årsmiddeltemperaturen ved alle stasjoner.

På 1990-tallet ble det fokus på avrenning fra nedbørfelt på Svalbard. Målinger av breakkumulering tydet på at Meteorologisk institutts målestasjoner ga et betydelig underestimat av nedbøren.<sup>120</sup> Med støtte fra forskningsrådsprosjektet Arktisk Lys og Varmer (ALV) utførte Meteorologisk institutt i 1993–1995 to prosjekter i Ny-Ålesund-området for å undersøke hva

120 Førland, E.J. & I. Hanssen-Bauer (2000). Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false? *Climatic Change*, 46, 485–509, <https://doi.org/10.1023/A:1005613304674>



forskjellen mellom meteorologiske og hydrologiske/glasiologiske målinger skyldtes.

Basert på parallellmålinger 1993–1995 med manuell Meteorologisk institutt-nedbørmåler, automatisk nedbørmåler (Geonor) og en WMO-referanse måler ble det i det første prosjektet utviklet metodikk (Meteorologisk institutts klimarapport 31/96) for å justere målt nedbør for oppfangingsvikt (kapittel 3.2.4). Det ble funnet at «sann nedbør» var 25 % høyere enn målt nedbør i sommersesongen og 70 % høyere i vintersesongen. Normal årsnedbør ble anslått å være ca. 50 % høyere enn det som ble fanget opp i nedbørmålerne. Det ble også påpekt at denne oppfangingsvikten over tid ville avta med økende temperatur på grunn av økende andel nedbør som regn og minkende som snø. En del av den observerte økningen i nedbør (Meteorologisk institutts klimarapport 21/97) var derfor fiktiv og skyldtes at nedbørmålerne fanget opp en større andel av nedbøren som falt. Denne effekten er senere beskrevet i internasjonale tidsskrift.<sup>121</sup>

I det andre prosjektet ble nedbøren i sommersesongene 1994 og 1995 målt i et nord-sør-profil fra Ny-Ålesund (8 moh.), over toppen av Austre Brøggerbre (ca. 400 moh.) og ned til kysten ved Engelsbukta (50 moh.) på den andre siden av breen. For å kunne studere nedbørforholdene ved forskjellige vindretninger ble det brukt vindmåler og registrerende vippepluviometre. Det ble funnet at nedbøren økte med ca. 20 % per 100 m høydeøkning, og at nedbøren på toppen av Austre Brøggerbre i måleperioden var 45 % høyere enn i Ny-Ålesund (Meteorologisk institutts klimarapport 02/97). Den kraftige nedbørøkningen med høyden skyldtes både at terrenget tvinger luftmassene til værs (orografisk nedbørforsterkning) og at det i nedbørsituasjoner ofte ligger tåke over breen, og at tåkepartikler vaskes ut av nedbøren. Fordelingen av nedbør over breen var avhengig av vindretningen: Ved vind fra sør og sørvest var nedbøren på breen 60 % høyere enn i Ny-Ålesund, mens ved vind fra nordvest var nedbøren i Ny-Ålesund større enn på breen.

121 Førland, E.J., K. Isaksen, J. Lutz, I. Hanssen-Bauer, T.V. Schuler, A. Dobler, H.M. Gjelten & D. Vikhamar-Schuler (2020). Measured and modelled historical precipitation trends for Svalbard. *Journal of Hydrometeorology*, 21(6), <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0252.1>

Førland, E.J. & I. Hanssen-Bauer (2000). Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false? *Climatic Change*, 46, 485–509, <https://doi.org/10.1023/A:1005613304674>

Det ble konkludert med at ved å ta hensyn til oppfangningssvikt i nedbørmålerne og nedbørøkning over breen samsvarte nedbøren i Ny-Ålesund godt med avrenningen i Bayelva fra Brøggerbreen.

#### 3.2.9.4 Etableringen av en homogenisert langtidsserie for Svalbard

Tidlig på 1900-tallet allierte Meteorologisk institutt seg med annen aktivitet i Arktis for å få tatt værobservasjoner. Fangstfolk som hadde stasjoner rundt om på øygruppa, var av særlig betydning. De ble utstyrt med instrumenter av stort sett samme type og kvalitet som i det ordinære stasjonsnettet. Sommeren 1898 ble instrument plassert på fangststasjonen på Akseløya, og senere på Sørkappøya, Svarttangen sørvest på Edgeøya og på Halvmåneøya og Zieglerøya sør for Edgeøya. Det skulle observeres kl. 08, 14 og 20 som på fastlandet.

Øyvind Nordli, som organiserte digitalisering av disse observasjonene, mener at kvaliteten var bra tatt i betraktning av at dette bare var en bigeskjeft for observatørene. Det var etter måten få tilfeller med inkonsistens i dataene. Dataene kan være vanskelige å bruke i klimatologien fordi observasjonene var spredd over et stort område, og med «huller» i dataarekkene – fangstfolkene desimerte viltet såpass kraftig i løpet av en vinter at det var utenkelig å fortsette en vinter til på samme sted. Målingene på fangststasjonene ble brukt i en publikasjon av B.J. Birkeland i tidsskriftet *Naturen*.<sup>122</sup> Han konstaterte at kunnskapen om klimaet på Svalbard var mangelfull og at «[observasjonene] ikke kan benyttes til nøiere at bedømme temperaturfordelingen paa øygruppen; det meste som man kan sige er, at temperaturen synes at avta fra syd mot nord og fra vest mot øst, i sin alminnelighet».

---

122 Birkeland, B.J. (1920). Spitsbergens klima. *Naturen*, 44, 278–288. Bergen Museum. <https://marcus.uib.no/instance/issue/ubb-tskr-naturen-1920-09.html>



**Figur 3.10** Oversikt over lokaliseringen av de første fangststasjonene på Svalbard med systematiske meteorologiske målinger på slutten av 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet.<sup>123</sup>

Observasjoner på noen av de gamle fangststasjonene ble videreført i et polsk-norsk forskersamarbeid (AWAKE) bl.a. på Akseløya, Sørkappøya og Svarttangen, og dermed kunne dataene fra fangststasjonene knyttes opp mot Svalbard lufthavn, som har vært i kontinuerlig drift siden 1975. Resultatet er en homogenisert langtidsserie med data fra Akseløya i starten og fra Svalbard lufthavn mot slutten. Mellom disse ble langtidsserien komplettert med justerte data fra permanente stasjoner på Svalbard, der Green Harbour, Barentsburg og Longyearbyen var de viktigste. I alt ble justerte data fra 10 stasjoner benyttet i langtidsserien. Dette gjorde det mulig å analysere langtidstren-

123 Ibid.

der og historiske klimavariasjoner på Svalbard.<sup>124</sup> Dataserien er flittig brukt i ulike fagmiljøer på Svalbard og ikke minst internasjonalt som en viktig langtidsserie for klimautviklingen i denne delen av Arktis.

### 3.2.9.5 Klimamodellering og projeksjoner

Arctic Climate Impact Assessment (ACIA)<sup>125</sup> ble publisert i 2004 og var den første omfattende tverrfaglige vurderingen av virkningene av klimaendringer i Arktis. En rekke norske forskere bidro til rapporten, blant annet fra Havforskningsinstituttet, Norsk Polarinstitutt, UNIS, UiT – Norges arktiske universitet, NTNU, UiB, NILU, CICERO og Meteorologisk institutt. ACIA-rapporten er også en referanse for senere arbeid, inkludert vurderingen av «snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA)» som i regi av AMAP ble publisert i 2017, bl.a. med et bidrag om permafrost fra Meteorologisk institutt.<sup>126</sup> ACIA-rapporten ble utarbeidet som svar på en forespørsel fra ministrene i Arktisk råd i 2000 formulert i «Barrowerklæringen»<sup>127</sup> om «å evaluere og syntetisere kunnskap om klimavariabilitet og -endringer og økt ultrafiolett stråling, og støtte politiske beslutningsprosesser og arbeidet til det mellomstatlige klimapanelet IPCC og adressere miljømessige, helsemessige, sosiale, kulturelle og økonomiske konsekvenser, inkludert politiske anbefalinger». ACIA var en milepæl ved at det var den første rapporten i Arktisk råd som inkluderte samfunnsvitenskapelige så vel som naturvitenskapelige komponenter for å vurdere virkningene av klimaendringer på sosioøkonomiske forhold i Arktis.

I ACIA-rapporten ble det slått fast at det fortsatt var et stort behov for økt kunnskap om klimasystemet og om regionale klimaendringer i nordområdene. I Norge tok regjeringen initiativ til å følge dette opp gjennom NorACIA; Norwegian Arctic Climate Impact Assessment. Styringsgruppen hadde representanter fra Miljøverndepartementet, Direktoratet for naturforvaltning, Norsk Polarinstitutt og Statens forurensningstilsyn. For-

124 Nordli, Ø., Wyszynski, P., Gjeltén, H.M., Isaksen, K., Łupikasza, E., Niedzwiedz, T. & Przybylak, R. (2020). Revisiting the extended Svalbard Airport monthly temperature series, and the compiled corresponding daily series 1898–2018. *Polar Research*, 39. <https://doi.org/10.33265/polar.v39.3614>

125 <https://www.amap.no/documents/doc/arctic-arctic-climate-impact-assessment/796>

126 <https://www.amap.no/documents/download/2987/inline>

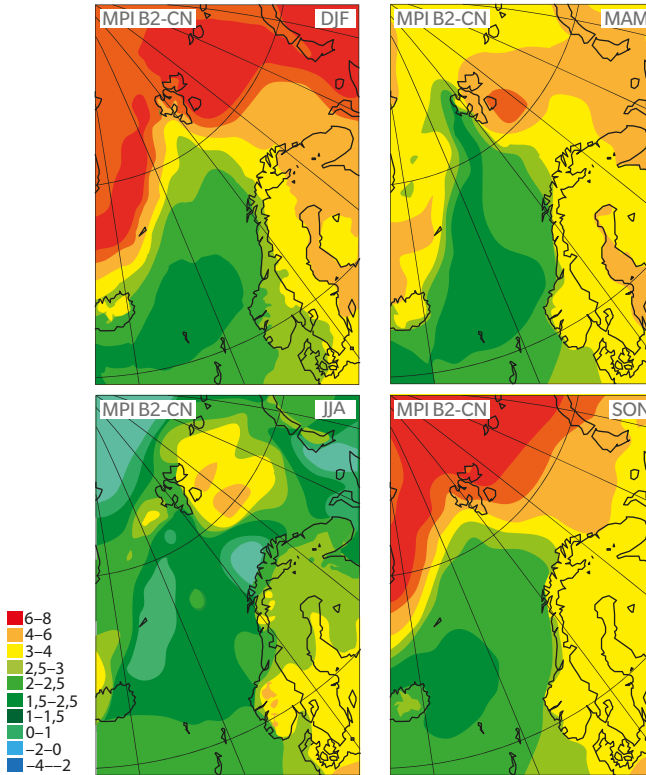
127 [https://oarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/87/02\\_barrow\\_declaration\\_2000\\_signed.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://oarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/87/02_barrow_declaration_2000_signed.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

midling, forvaltningsrådgivning og sammenstilling av kunnskap om klimændringer i norsk Arktis var vektlagt. Under ledelse av Jan Erik Haugen etablerte Meteorologisk institutt en ny regional klimamodell med romlig oppløsning på 25 km og som inkluderte Svalbard-området og Nord-Norge for NorACIA-prosjektet. Dette var en viktig forbedring sammenlignet med grunnlaget som ble brukt i vurderingene i ACIA-rapporten.<sup>128</sup> Denne regionale klimamodellen (NorACIA-RCM) ble kjørt for periodene 2021–2050 og 2071–2100. Som pådriv ble benyttet simuleringer med ulike utslippsscenarioer i globale klimamodeller fra Bjerknnessenteret i Bergen, Max-Planck-instituttet i Hamburg og Hadley-senteret i England. NorACIA-simuleringene omfattet midlere lufttemperatur (se eksempel i figur 3.11), nedbørsum, ekstrem ett-døgns nedbør, kraftig snøfall og ekstrem vindhastighet. Det ble også utført empirisk-statistisk nedskalering (se senere i artikkelen) av temperatur for en rekke stasjoner i Nord-Norge og i Svalbard-området. I NorACIA ble det også gjort pilotundersøkelser med marin nedskalering og med å benytte NorACIA-RCM til å studere endringer i polare lavtrykk. Resultatene fra NorACIA-simuleringene er oppsummert av Førland mfl.<sup>129</sup> I tillegg til SWIPA-rapporten bidro Meteorologisk institutt også til AMAP-rapporten «Adaptive Actions in a Changing Arctic» (2017), blant annet med å lede kapitlet om fysiske og sosioøkonomiske rammer for Barentsregionen, og oppsummerte i samarbeid med russiske kolleger kunnskapen om naturfarer, vind/stormer, polare lavtrykk, skydekke, drivende isfjell, luftforurensning og oseanografiske prosesser i Barentshavet basert på publisert litteratur.

Forhold i Arktis spiller en rolle for sesongvarsling. Meteorologisk institutt ledet forskningsprosjektet «Seasonal Predictability over the Arctic Region – exploring the role of boundary conditions» (SPAR, 2007–2010) finansiert av Forskningsrådet, der hensikten var å analysere betydningen av havisutbredelsen, stratosfærens tilstand og snødekket for sesongvarsler på våre breddegrader. Arbeidet inkluderte både NILU, Bjerknnessenteret, ECMWF og forskningsmiljøet rundt den globale klimamodellen EC-Earth.

128 Førland, E.J., Hanssen-Bauer, I., Haugen, J.E., Benestad, R.E. & Ådlandsvik, B. (2008). *NorACIAs klimascenarier for norsk Arktis*. met.no-klimarapport 09/08.

129 Førland E.J. (red.), Benestad, R.E., Flatøy, F., Hanssen-Bauer, I., Haugen, J.E., Isaksen, K., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. (2009). *Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900–2100*. Norwegian Polar Institute, Report series no. 128, pp. 44.



**Figur 3.11** Modellberegning av endring (°C) i gjennomsnittlig årstidstemperatur fra perioden 1961–1990 til perioden 2071–2100 for vinter (DJF), vår (MAM), sommer (JJA) og høst (SON) (se RegClim-gjennomgangen senere i artikkelen).

Det ble funnet indikasjoner på at stratosfæren og havisen har mye å si for sesongvarsler for våre breddegrader, men ikke i tropene. Snødekket hadde også en viss betydning.<sup>130</sup> Det ble også konkludert med at beskrivelsen av havisen i ECMWFs sesongvarsler,<sup>131</sup> nemlig et klimatologisk gjennomsnitt,

130 Orsolini, Y.J., R. Senan, G. Balsamo, F.J. Doblas-Reyes, F. Vitart, A. Weisheimer, A. Carrasco & R.E. Benestad (2013). Impact of snow initialization on sub-seasonal forecasts, *Climate Dynamics*, <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1782-0>

131 Senan, R. & R.E. Benestad (2009). *Transitional irregularity in sea surface temperature from ECMWF operational ocean analysis over the Arctic region*, met.no Note 22/2009.

Benestad, R.E., R. Senan, G. Balmaseda, L. Ferranti, Y.J. Orsolini & A. Melsom (2011). Sensitivity of summer 2-m temperature to sea ice conditions, *Tellus A*, 63(2), p. 324, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00488.x>

Benestad, R.E., R. Senan & Y.J. Orsolini (2016). The use of regression for assessing a seasonal forecast model experiment, *Earth Syst. Dynam.*, 7, 851–861, <https://doi.org/10.5194/esd-7-851-2016>

ikke var tilstrekkelig og heller ikke fysisk holdbart. Senere tok ECMWF i bruk assimilering av havisen i sine sesongvarsler.<sup>132</sup>

### 3.2.9.6 Nasjonalt og internasjonalt samarbeid

AMAP under Arktisk råd ble et viktig forum for internasjonalt samarbeid fra 1990-årene av. Flere av Meteorologisk institutts forskere deltok i arbeidsgruppen, som var initiativtaker til ACIA-rapporten og dessuten til Arctic Report Card.<sup>133</sup> Meteorologisk institutt melder hvert år inn status fra de arktiske stasjonene, og deltar i analyser av klimautviklingen.

Tidlig på 2000-tallet ble det etablert klimasamarbeid med Arctic and Antarctic Research Institute (AARI) i St. Petersburg og med St. Petersburg universitet (SPU) i Russland. De første årene ble det utvekslet klimadata og utført felles klimaanalyser for nordlige deler av Russland og Nord-Norge<sup>134</sup> (Meteorologisk institutts klimarapporter 08/2010 og 09/2010). I perioden 1947–1957 utførte Russland regulære meteorologiske målinger ved en værstasjon i Pyramiden på Svalbard. Dette er viktige data for kartlegging av klima på Svalbard for en periode med få målinger, men dataene forelå kun i håndskrevne protokoller ulike steder i Russland. I et samarbeid mellom AAARI, SPU og Meteorologisk institutt og med støtte fra Utenriksdepartementet ble målingene fra Pyramiden digitalisert og kvalitetskontrollert. For å knytte måleseriene fra Pyramiden sammen med data fra andre målesteder på Svalbard ble det i 2012 opprettet en norsk automatisk værstasjon i Pyramiden der den gamle målestasjonen stod. Meteorologisk institutt fikk også tilgang til digitaliserte klimadata fra Barentsburg, og det er nå etablert lange temperatur- og nedbørserier fra både norske og russiske målestasjoner på vestlige deler av Svalbard.<sup>135</sup> For å sammenligne måleregenskaper ble det

132 [https://www.forskningsradet.no/om-forskningsradet/prisutdelinger/innovasjonsprisen/?utm\\_source=apsis&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=Dialog&utm\\_term=N%C3%A6ringsliv&utm\\_content=Annet-ikke%20kategorisert](https://www.forskningsradet.no/om-forskningsradet/prisutdelinger/innovasjonsprisen/?utm_source=apsis&utm_medium=email&utm_campaign=Dialog&utm_term=N%C3%A6ringsliv&utm_content=Annet-ikke%20kategorisert)

133 <https://arctic.noaa.gov/Report-Card>

134 Aleksandrov, Y.I., Bryazgin, N.N., Førland, E.J., Radionov, V.F. & Sviashchennikov, P.N. (2005). Seasonal, interannual and long-term variability of precipitation and snow depth in the region of the Barents and Kara seas. *Polar Research*, 24(1–2), <https://doi.org/10.3402/polar.v24i1.6254>

135 Gjelten, H.M., Nordli, Ø., Isaksen, K., Førland, E.J., Sviashchennikov, P.N., Wyszynski, P., Prokhorova, U.V., Przybylak, R., Ivanov, B.V. & Urazgildeeva, A.V. (2016). Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen. *Polar Research*, 35, 29878, <https://doi.org/10.3402/polar.v35.29878>

i Barentsburg i 2014–2016 foretatt parallellmålinger med norske og russiske nedbørmålere.<sup>136</sup>

I 2019 ble klimasamarbeidet med AARI og SPU rettet nordover og østover i Barentsregionen. Russisk side gjorde tilgjengelig klimadata og sjøisinformasjon fra russiske værstasjoner på Frans Josefs land for hele perioden med instrumentelle observasjoner fra 1928 og fram til 2020, og en lang tidsserie for Frans Josefs land ble etablert.<sup>137</sup> Fra norsk side har Meteorologisk institutt kvalitetskontrollert og gjort tilgjengelig eldre data fra automatiske værstasjoner nord på Spitsbergen (Gråhuken og Verlegenuken) og nord og øst for Spitsbergen (Karl XII-øya, Edgeøya og Kvitøya). Felles analyser av disse klimadataene, sammen med sjøisdata og reanalysedata, har gitt oss ny kunnskap om klimaendringer i denne regionen av Arktis.<sup>138</sup> Samarbeidet bidrar også til mer konsistente russiske og norske klimadata, og forbedrer tilgangen på denne type data fra Svalbard og Frans Josefs land-området. De nye dataene vil også være viktige for å vurdere kvaliteten av reanalyser og klimamodeller. Det norsk-russiske samarbeidet har bidratt til å knytte tettere bånd til det russiske klimaforskningsmiljøet på Svalbard.

Som EU-medlem siden 2004 har Polen hatt forskningssamarbeid med Norge finansiert med midler fra den norske EØS-kontingenten. Meteorologisk institutt og polske kolleger har bidratt bl.a. til klimaforskning på Svalbard gjennom samarbeidsprosjektene AWAKE og videreføringen AWAKE II. Jan Piechura ved Det oseanologiske instituttet i Sopot var prosjektleder. AWAKE-prosjektet var for en stor del oseanografisk, men Nikolaj Kopernicus-universitetet i Torun var også med innenfor arktisk klimatologi. Samarbeidet resulterte i et betydelig antall forskningsartikler om langtidssvariasjoner av klimaet på Svalbard, se over.

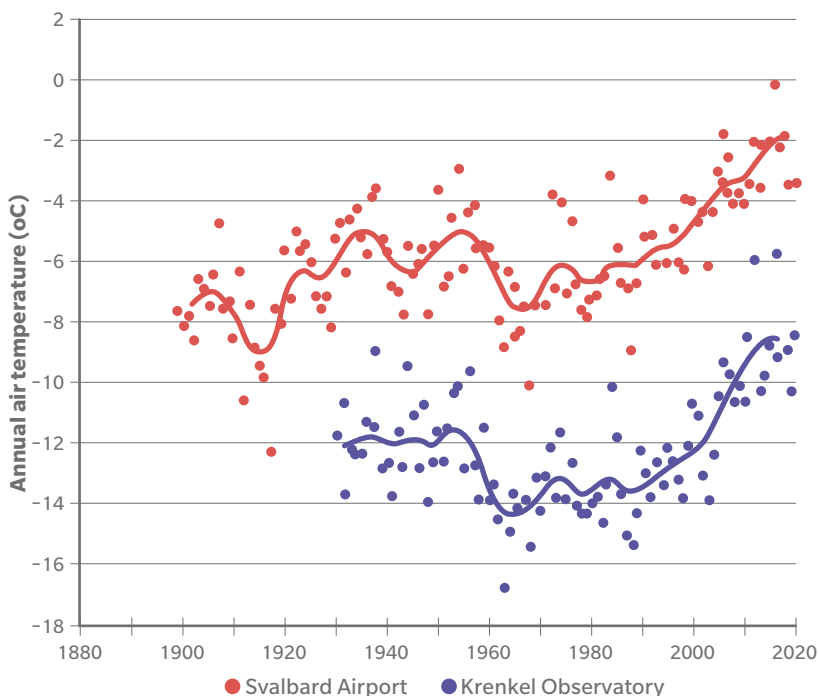
---

136 Urazgildeeva, A.V., Sviashchennikov, P., Ivanov, B.V., Isaksen, K., Førland, E.J. & Brækkan, R. (2017). Comparative analysis of Russian and Norwegian precipitation gauges, measurements in Barentsburg, Western Spitsbergen. *Czech Polar Reports* 7(1), 45–51.

137 Ivanov, B., Karandasheva, T., Demin, V., Revina, A., Sviashchennikov, P., Isaksen, K., Førland, E.J., Nordli, Ø. & Gjelten, H.M. (2021). Assessment of long-term changes in the surface air temperature from the High Arctic Archipelago Franz Joseph Land from 1929 to the present (2017). *Czech Polar Reports*, 11(1), 114–133, <https://doi.org/10.5817/CPR2021-1-9>

138 Isaksen, K., Nordli, Ø., Ivanov, B., Koltzow, M.A.Ø, Aaboe, S., Gjelten, H.M., Mezghani, A., Eastwood, S., Førland, E., Benestad, R.E., Hanssen-Bauer, I., Brækkan, R., Sviashchennikov, P., Demin, V., Revina A. & Karandasheva, T. (2022). *Exceptional warming over the Barents Area*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13568-5>





**Figur 3.12** Samarbeidet med russiske forskere fokuserte i årene 2019–2021 på den nordlige Barentsregionen. Russiske klimadata fra værstasjoner på Frans Josefs land ble sammenlignet med norske data fra Svalbard. Den kraftige oppvarmingen etter 1990 kommer tydelig fram i denne figuren med de to langtidsseriene fra Svalbard lufthavn (Nordli mfl., 2020)<sup>139</sup> og Krenkel-observatoriet (Ivanov mfl., 2021)<sup>140</sup> på Frans Josefs land (figur fra Isaksen mfl., 2022).<sup>141</sup>

139 Nordli, Ø., Wyszyński, P., Gjelten, H.M., Isaksen, K., Łupikasza, E., Niedźwiedz, T. & Przybylak, R. (2020). Revisiting the extended Svalbard Airport monthly temperature series, and the compiled corresponding daily series 1898–2018. *Polar Research*, 39. <https://doi.org/10.33265/polar.v39.3614>

140 Ivanov, B., Karandasheva, T., Demin, V., Revina, A., Sviashchennikov, P., Isaksen, K., Førland, E.J., Nordli, Ø. & Gjelten, H.M. (2021). Assessment of long-term changes in the surface air temperature from the High Arctic archipelago Franz Joseph Land from 1929 to the present (2017). *Czech Polar Reports* 11(1), 114–133, <https://doi.org/10.5817/CPR2021-1-9>

141 Isaksen, K., Nordli, Ø., Ivanov, B., Koltzow, M.A.Ø., Aaboe, S., Gjelten, H.M., Mezghani, A., Eastwood, S., Førland, E., Benestad, R.E., Hanssen-Bauer, I., Brækkan, R., Sviashchennikov, P., Demin, V., Revina A. & Karandheva, T. (2022). *Exceptional warming over the Barents Area*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13568-5>

### 3.2.10 Permafrost som en del av klimaforskningen ved Meteorologisk institutt

Ketil Isaksen

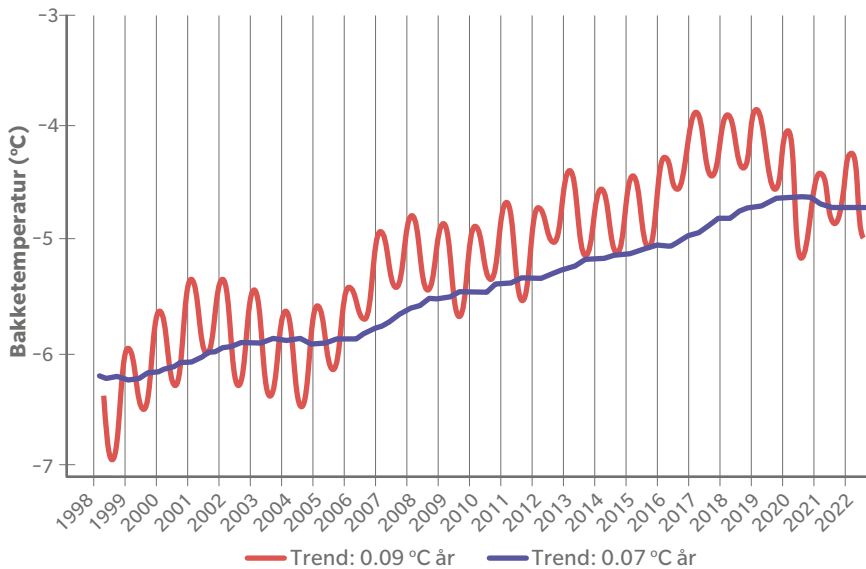
Permafrost er grunn som kontinuerlig holder seg under 0 °C i to eller flere år, lokalisert på land eller under havet, og forekommer i 15 % av landområdene på den nordlige halvkule, inkludert store områder i Alaska, Grønland, Canada og Sibir. Tykkelsen av permafrosten kan i enkelte områder være mer enn 1500 meter, og finnes både i berggrunn og løsmasser (bakkeis, jord, sand og stein). Verdens permafrost inneholder store mengder karbonholdig biomasse. Klimaendringene gjør at permafrosten varmes opp og at de øvre lagene i permafrosten tiner. Dette intensiverer karbonsyklusen og med det utslippene av CO<sub>2</sub> og metan til atmosfæren. Reduksjon i utbredelsen av permafrost forsterker dermed klimaendringene, samtidig som dens variabilitet og systematiske endring er en viktig styrende prosess i klimasystemet. Observasjon og kartlegging av permafrostens utbredelse og dens utvikling er derfor viktig for klimaprognoser.

Systematisk og langsiktig overvåkning av permafrost kom for alvor i gang i slutten av 1970-årene i Russland og Nord-Amerika. I Europa begynte overvåkingen i 1987 ved Corvatsch-Murtèl i Sveits. I dag foretas slik overvåkning en rekke steder i Europa, i Sentral-Asia og Nord-Amerika. I Norge ble de to første permafroststasjonene etablert i 1998 og 1999 på hhv. Janssonhaugen (Svalbard) og Juvvasshøe (Sør-Norge) i forbindelse med EU-prosjektet Permafrost And Climate in Europe (PACE, 1997–2001). Sju land deltok. Det ble etablert instrumenterte borehull i permafrosten i utvalgte fjellområder i et transekt fra Svalbard i nord til Spania i sør. Formålet var å analysere temperaturendringer i permafrosten. De nye stasjonene ga et viktig grunnlag for langsiktig overvåkning av permafrost i Europa og ble en del av det internasjonale Global Terrestrial Network on Permafrost (GTN-P) under Global Climate Observing System (GCOS) koordinert av WMO.

Den norske delen av PACE-prosjektet ble ledet av professor Johan Ludvig Sollid ved Universitetet i Oslo, med Meteorologisk institutt, Universitets-senteret på Svalbard, Norges geotekniske institutt og Høyskolen på Gjøvik, som nå er en del av NTNU, som deltagere. Ketil Isaksen tok doktorgraden hos Sollid i PACE-prosjektet og ledet senere Meteorologisk institutts bidrag etter at han ble ansatt som forsker der i 2002. Etableringen av permafroststa-

sjonen på Juvvasshøe var hovedsakelig finansiert av Norges forskningsråd og Meteorologisk institutt. Stasjonen på Janssonhaugen ble i hovedsak finansiert av EU-PACE-prosjektet. Etter PACE-prosjektet var det opp til hvert enkelt land å sikre videre drift av stasjonene. Johan Ludvig Sollid så det som helt vesentlig å få etablert langsiktige måleserier, og mente at disse måtte ivaretas i sin helhet av Meteorologisk institutt. Avtale om dette kom i stand mellom ham og Bjørn Aune på vegne av Meteorologisk institutt. Siden 2002 har Meteorologisk institutt vært ansvarlig for drift, innsamling og lagring av observasjonene fra Janssonhaugen og Juvvasshøe. I 2005 ble det også inngått en avtale om bruken av dataene mellom de norske partene. Bjørn Aune skisserte tidlig i PACE-prosjektet muligheten av en permanent værstasjon på Juvvasshøe i tilknytning til permafrostmålingene der og med det få etablert en ny høyfjellsstasjon for klimastudier og værvarsling i Norge. Det norske permafrostmiljøet samarbeider tett med miljøet i Sveits, der det er en tilsvarende nasjonal forankring gjennom Swiss Permafrost Monitoring Network (PERMOS). PERMOS ble igangsatt som et forskningsorientert nettverk på 1990-tallet. I 2007 ble det opprettet et offisielt kontor med langsiktig finansiering og koordinert av det nasjonale meteorologiske instituttet i Sveits, MeteoSwiss.





**Figur 3.13** Langtidsovervåkingen av permafrosten på Svalbard startet på Janssonhaugen i 1998. I perioden fra målingene startet og fram til 2022 har temperaturen på 10 og 20 m dybde i gjennomsnitt steget med 0,9 og 0,7 grader Celsius per tiår. Foto: Ketil Isaksen, Meteorologisk institutt. Grafen er hentet fra cryo.met.no

Etter PACE-prosjektet er det etablert en rekke nye instrumenterte borehull i permafrosten i Norge og på Svalbard gjennom ulike prosjekter og i samarbeid mellom Meteorologisk institutt, UiT – Norges arktiske universitet, UiO, Universitetsstudiene på Svalbard, NTNU og Norsk Polarinstitut. Nye stasjoner har blitt etablert på Snøheim ved Hjerkinna på Dovrefjell og i andre sentrale fjellområder i Sør-Norge. Under det internasjonale polaråret (2007–2009) ble overvåkningsprogram for permafrost satt i gang i Nord-Norge og nær Longyearbyen på Svalbard. I perioden 2019–2021 kom nye permafroststasjoner på fjerntliggende steder på Svalbard som en del av Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIOS), som er en europeisk forskningsinfrastruktur (ESFRI), og Climate-ecological Observatory for Arctic Tundra (COAT), som er en norsk forskningsinfrastruktur finansiert av Forskningsrådet og ledet av professor Rolf Anker Ims ved UiT – Norges arktiske universitet.

I 2022 er Meteorologisk institutt ansvarlig for driften av åtte permafroststasjoner på fastlandet og på Svalbard. Disse er alle operasjonelle, der

temperaturdata fra permafrosten kommer inn i sanntid og kan lastes fritt ned og brukes til operasjonell permafrostovervåking og forskning. Det er også etablert fullverdige værstasjoner på alle disse stedene. Datastrømmen fra de kombinerte operasjonelle vær- og permafroststasjonene følger Meteorologisk institutts vanlige verdikjede. Stasjonene er blant de første i sitt slag som driftes av et nasjonalt meteorologisk institutt, og er i så måte unike i verdensmålestokk.<sup>142</sup> Stasjonene er også viktige for vær- og snøskredvarslingen og klimatjenesten, og som referansestasjoner i høyfjellet, spesielt når det gjelder temperatur og vind.

Data fra disse stasjonene gir et viktig grunnlag for å forbedre jordsystem- og permafrostmodeller og for generell forskning på klima og klimaendringer både i Svalbard-regionen og i norske fjellområder. I tillegg til det generelle målet om overvåking og dokumentasjon, har analyser og data fra permafroststasjonene bidratt til en rekke nye forskningsresultater<sup>143</sup> og inngår i flere internasjonale nettverk og prosjekter. Noen av stasjonene er også referansestasjoner i hovedrapportene til FNs klimapanel og de årlige State of the Climate-rapportene fra American Meteorological Society.

### 3.2.11 Marine observasjoner

Knut Arne Iden

Før 1970 var det få faste observasjonsstasjoner på kontinentalsokkelen. I Nordsjøen ble det foretatt værparametermålinger fra bergings- og observasjonsskipet Famita (57,5 °N, 3 °E) fra januar 1959 til august 1978. I Norskehavet ble det målt fra værskipet Polarfront i posisjon M (66 °N, 2 °E) fra juni 1948 til utgangen av 2009. I norske farvann generelt hadde en observasjoner fra kystvakt og forskningsfartøyer. De første oljeleteblokkene på sokkelen ble tildelt i 1965, og Ekofisk-funnet ble gjort i 1969. Da de første permanente installasjonene offshore skulle dimensjoneres, var datagrunnla-

142 Isaksen, K. (2014). Permafrostens tilstand i Norge overvåkes nå operasjonelt. *Naturen*, 138(6), 249–257.

143 Smith, S.L., O'Neill, H.B., Isaksen, K., Noetzli, J. & Romanovsky, V.E. (2022). The changing thermal state of permafrost. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(1), 10–23, <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00240-1>

get beskjedent. På slutten av 1975 kom Oljedirektoratet<sup>144</sup> med en forskrift om «Instrumentering av faste konstruksjoner». I begynnelsen av 1975 hadde Sjøfartsdirektoratet<sup>145</sup> utstedt «Forskrifter for flyttbare boreplattformer med innretning og utstyr som anvendes til boring etter petroleumforekomster i indre norske farvann, norsk sjøterritorium og den delen av kontinental-sokkelen som er undergitt norsk statshøyhet». Dette regelverket førte etter hvert til at den første permanente plattform i et nytt område skulle instrumenteres. Med utviklingen på sokkelen har en i dag målinger fra oljefeltene (regnet fra sør): Ekofisk fra 1980, Yme (1996–2001), Sleipner fra 1994, Frigg (1978–1999), Heimdal fra 2003, Troll A fra 1998, Statfjord A (1978–1989), Gullfaks C fra 1989, Ormen Lange fra 2007, Draugen fra 1995, Heidrun fra 1995, Norne fra 1998 og Goliat fra 2015.

Regelverket ga pålegg om innsamling av tre typer data på plattformene: Miljødata («E-data») som er vindhastighet og retning, bølgeparametere, strømfart og retning og vannstand; meteorologiske observasjoner («M-data») som er meteorologiske skipsobservasjoner ifølge internasjonale regler fra WMO; og data om konstruksjonens egenskaper («P-data») som er plattformbevegelse, spenninger, fundament osv. For å ta hånd om miljødataene og de meteorologiske observasjonene opprettet Oljedirektoratet og Sjøfartsdirektoratet i fellesskap Miljødatasenteret 1. september 1976. Det ble plassert ved Meteorologisk institutt. I starten ble det finansiert over egen post på Oljedirektoratets budsjett, fra 1982 over Kirke- og undervisningsdepartementets ordinære budsjettildeling til Meteorologisk institutt. Fram til mars 1979 var Miljødatasenteret organisert som en del av avdeling for elektronisk databehandling, deretter som en del av klimaavdelingen hvor Inger Bruun var fagsjef. Jan Aske Børresen ledet senteret fra starten, mens Knut Arne Iden overtok i 1986. Arbeidsoppgavene ved senteret har hele tiden fulgt forskriftene nevnt over. Disse revideres jevnlig og er i dag felles for flyttbare og faste rigger. Oljeindustrien tok initiativ til NORSOK (The competitive standing of the Norwegian offshore sector) «to add value, reduce cost and lead-time and remove unnecessary activities in offshore field developments

144 Oljedirektoratet ble opprettet i 1972 som et statlig fagdirektorat og forvaltningsorgan med hovedoppgave å bidra til størst mulige verdier for samfunnet fra olje- og gassnæringen gjennom en effektiv og forsvarlig ressursforvaltning.

145 Sjøfartsdirektoratet ble opprettet i 1903 og har ansvar for sikkerhet for liv, helse, fartøy og miljø til sjøs.

and operations», og fra 1. september 1997 ble en standard for «collection of metocean data» vedtatt. Med årene er Miljødatasenteret blitt en integrert del i instituttets virksomhet. Dataarkivene er innbakt i instituttets databaser og er for en stor del gjort tilgjengelige via systemene for uthenting som gjelder for instituttets øvrige klimadata.

Miljøobservasjonene logges på plattformene og oversendes Miljødatasenteret hver måned, samtidig som plattformene også sender observasjoner hver tredje time gjennom hele døgnet. Visuelle observasjoner kan være innskrenket til dagtid. Figuren viser posisjonene til installasjonene som har pålegg om målinger. Posisjonene til værskipene Polarfront (MIKE) og AMI<sup>146</sup> er også med. Posisjonen til Famita var nær Ekofisk.



**Figur 3.14** Posisjonene til de faste installasjonene med pålegg om målinger. Vær- og redningsskipet Famitas posisjon var nær Ekofiskfeltet.

146 hjelpeskip til oljeinstallasjoner, tidligere værskip

### 3.2.11.1 Andre maritime måleprogrammer som Meteorologisk institutt deltar i

I 1975 engasjerte Oljedirektoratet flere norske institusjoner til i samarbeid å samle og vurdere eksisterende data om bølger, vind, strøm og temperatur fra norsk kontinentalsokkel. En sluttrapport forelå i januar 1976.<sup>147</sup> Studien skulle gi grunnlag for vurdering og prioritering når det gjelder arbeidet med utforskningen av det fysiske miljøet på sokkelen. Det ble konkludert med at det var størst behov for å samle inn data fra Tromsøflaket og at dette måtte skje fra et værskip. Kunnskapen om naturforholdene i de nordlige deler av Norge var vesentlig dårligere enn fra sokkelen rundt Sør-Norge der en gjennom mange år hadde hatt værskip. Våren 1976 fikk Oljedirektoratet i oppgave å koordinere innsamlingen av miljødata. Stortingsmelding nr. 91 (1975–76)<sup>148</sup> gjennomgikk behovet for og hvordan en ville skaffe nødvendige data. Det var ikke vanskelig å få midler til innsamlingen, det var allment erkjent at før oljevirkomheten i landsdelen kunne starte, måtte kunnskapsgrunnet være lagt. Innsamlingen av meteorologiske og oseanografiske data fra Tromsøflaket (71°30' N, 19 °Ø) startet 1. september 1976 med finansiering fra Oljedirektoratet på en egen post på statsbudsjettet. De første årene plasserte Oljedirektoratet værskip i området, først på Tromsøflaket, hvor værskipet AMI lå fra september 1976 til desember 1984 og senere på Sentralbanken hvor fartøyet Endre Dyrøy var stasjonert fra 1985 til 1987. Fra skipene ble det foretatt meteorologiske og oseanografiske observasjoner. I tillegg ble skipene benyttet som mottakerstasjoner for bøyeregistreringer. Innsamlingen av data før petroleumsaktivitet kunne ta til, har vært sett på som statlig oppgave. I 1985 ble innsamlingen av naturdata flyttet til Barentshavet: Sentralbanken, Bjørnøya og Nordkappbanken. Fra 1991 har det også vært gjort målinger på Vøringplataet og utenfor Vesterålen. Disse målingene ble avsluttet i 1996. I noen av posisjonene nevnt ovenfor ble det i perioder

147 Environmental Conditions of the Norwegian Continental Shelf with special emphasis on Engineering Applications. (1976). Report prepared for The Norwegian Petroleum Directorate by Det Norske Veritas, Division of Port and Ocean Engineering, the Norwegian Institute of Technology, The Norwegian Meteorological Institute, The River and Harbour Laboratory at the Norwegian Institute of Technology.

148 [https://stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Stortingsforhandlinger/Lesevisning/?p=1975-76&paid=3&wid=g&psid=DIVL807&pgid=g\\_0570](https://stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Stortingsforhandlinger/Lesevisning/?p=1975-76&paid=3&wid=g&psid=DIVL807&pgid=g_0570). «Petroleumsundersøkelser nord for 62 grader N».



benyttet bøyer som ga retningsinformasjon for bølgene i tillegg til bølge- høyde.

Oceanographic Data Acquisition Project (ODAP) 1980–1992 hadde som formål å kartlegge det fysiske miljøet i områder av den norske kontinentalsokkel som ikke var åpnet for oljeaktiviteter eller som ikke var erklært kommersielle ennå. Kartleggingen ble gjort ved langvarig datainn- samling på et antall referansestasjoner, kombinert med korte og intense målinger over begrensede områder. Måleprogrammene skulle gi grunn- lag for å bestemme designkriterier og operasjonell statistikk, samtidig som observasjonene skulle brukes i utvikling og evaluering av numeriske simule- ringsmodeller. Målinger med samme formål som ODAP hadde pågått siden 1972 med finansiering fra Norges teknisk-naturvitenskapelige forsknings- råd, fra 1980 finansierte oljeselskapene med lisenser nord for 62 °N virksom- heten.<sup>149</sup>

Måleprogrammet inkluderer bølgemålinger nær kysten, bølgeretnings- informasjon målt med store bøyer i offshore lokasjoner, strømmålinger både i dypet og nær overflaten, kartlegging av strøm i overflaten ved bruk av drif- tere, vannstand og hydrografiske målinger og utsetting av drivende/forank- rede meteorologiske bøyer.

### 3.2.11.2 *Anvendelser av data fra norsk kontinentalsokkel*

Dataene som er samlet inn på sokkelen, anvendes til risikovurderinger og planlegging. Statistikk for frekvensen av observasjoner av vind, bølgehøyde og luft- og sjøtemperatur over eller under bestemte grenser er av stor betyd- ning i denne sammenheng. Oppdatering av slik statistikk ble gjort årlig for de faste stasjonene. Et annet tema er dokumentasjon av værsituasjo- ner i forbindelse med uhell eller ulykker. Måleseriene offshore dekker etter hvert mange år, men er fremdeles korte når verdier med gjentaksintervall på hundre år eller lengre skal estimeres. Klimaendringene gjør i tillegg at fre- kvensfordelingene endrer seg over tid, de er ikke stasjonære.

Basert på analyse av 39 000 værkart for perioden 1955–1981 ble det publisert et vindatlas for Nordsjøen og Norskehavet med sannsynlighets-

149 [https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2013061808004](https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2013061808004), «Muligheter og konse- kvenser ved petroleumsfunn nord for 62 °N», NOU 1980 nr. 25.

diagrammer for vindhastighet under bestemte verdier som en funksjon av tid på året, sammen med frekvensdiagrammer der antall vindobservasjoner i bestemte hastighetsintervaller ble angitt. Vindhastigheten er i dette tilfelle 10 minutters midler i 10 m høyde over havet, dette er en svært variabel størrelse, og vindhastigheten øker kraftig med høyden, men frekvensfordelingene følger en viss lovmessighet.<sup>150</sup>

Det er også et stort behov for informasjon fra områder som står uten observasjoner. Måleserier har ofte perioder med manglende data, og det begrenser kvaliteten på beregningene av frekvensfordelinger og annen statistikk. Meteorologisk institutt har i flere sammenhenger på basis av digitaliserte trykkfelt beregnet vindfeltet, som så er brukt til å drive en bølgemodell. Det første såkalte hindcast-arkivet ved Meteorologisk institutt er fra 1981.<sup>151</sup> I 1985 ble et nytt arkiv etablert og tatt i bruk.<sup>152</sup> Det omfattet Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet (50–90 °N, 40 °W–40 °E i et 75 x 75 km<sup>2</sup> grid), og med tidsoppløsning på seks timer for perioden 1955–1981. Det ble senere oppdatert av Magnar Reistad og Knut Iden i 1998.<sup>153</sup> Fra dette arkivet ble det tatt ut tidsserier for vind og bølger i ca. 100 punkter, og i en del av disse punktene ble totalsjø dekomponert i vindsjø og dønning. De målte verdiene fra de faste stasjonene er benyttet til å validere og kalibrere de modellerte data. Hindcast-arkivene og årlige oppdateringer er finansiert av oljeselskapene. Arkivet er benyttet i en rekke analyser ved planlegging av maritime operasjoner som bare kan utføres i værvinduer der visse kriterier for vind, bølgehøyde og dønning er tilfredsstillende. Fra 2011 var hindcast-arki-

---

150 Børresen, J.A. (1987). *Vindatlas for Nordsjøen og Norskehavet*. Universitetsforlaget og Det norske meteorologiske institutt, 141 s.

Eide, L.I., M. Reistad & J. Guddal (1985). A database of computed wind and wave parameters for the North Sea, The Norwegian Sea and the Barents Sea for every 6 hours for the years 1955–1981 (in Norwegian), project report, Norwegian Meteorological Institute, Oslo.

151 Haug, O. & Guddal, J. (1981). *Hindcasting the wind and wave climate of Norwegian waters*, Norwegian Meteorological Institute, Oslo and Bergen.

152 Eide, L.I. (1983). *Environmental Conditions in the Barents Sea and near Jan Mayen*. A report put together by Lars Ingolf Eide, the Environmental Data Center at the Norwegian Meteorological Institute, with an Appendix by Harald Loeng, Institute of Marine Research based on work by the Norwegian Polar Institute, the Institute of Marine Research and the Norwegian Hydrodynamic Laboratories.

153 Reistad, M. & K. Iden (1998). *Updating, correction and evaluation of a hindcast data base of air pressure, wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea*. Norwegian Meteorological Institute, Research Report.

vet for vind og bølger for Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet basert på reanalysene (ERA-40) fra European Centre for Medium Range Weather Forecasts. Arkivet dekket perioden september 1957 til august 2002. Værvarslingsmodellen HIRLAM10 (High Resolution Limited Area Model med 10 km gridoppløsning) som ble brukt operasjonelt ved Meteorologisk institutt på den tiden, ble benyttet til å nedskalere de globale ERA-40 reanalysedataene. Bølgemodellen WAM10<sup>154</sup> ble benyttet med data fra HIRLAM10 og data fra WAM50. WAM50 er drevet med ERA-40 vind-data. Hindcast-arkivet hadde atmosfæredata fra HIRLAM10 (vind, temperatur, fuktighet, nedbør) og bølgedata fra WAM10 og WAM50 i alle gridpunkter for hver tredje time.<sup>155</sup>

I dag (2022) er hindcast-arkivet basert på beregninger med ikke-hydrostatisk dynamikk og med tre km horisontal oppløsning (NORA3).<sup>156</sup> Det er en stor forbedring fra de tidligere arkivene, og størst er forbedringene i komplisert terreng og langs kysten. Ikke minst vindenergi-industrien trenger nå informasjon om vær- og bølgeklima av høy kvalitet og med stor nøyaktighet for bl.a. å kunne dimensjonere offshoreinstallasjoner. Hindcast-arkivet er en viktig ressurs i planlegging av all virksomhet på norsk kontinentalsokkel både i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet.

### 3.2.12 Værskip Polarfront på stasjon M

Øystein Hov

Den hydrografiske tidsserien fra Ocean Weather Ship-Mike var den lengste homogene tidsserien fra dyphavet globalt, og omfattet fra 1948 temperatur, saltholdighet og fra 1953 ukentlige oksygenmålinger nedover i dypet til 2200 m. Vannprøver fra Nansen-vannhentere ble analysert for oppløst oksygen om bord i værskipet, og saltholdighet ble analysert i laboratorium på

154 WAM10 står for wave model, 10 km oppløsning. WAM50 tilsvarende med 50 km oppløsning.

155 Reistad, M., Ø. Breivik, H. Haakenstad, O.J. Aarnes, B.R. Furevik & J.-R. Bidlot (2011). A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea, and the Barents Sea, *J. Geophys. Res.*, 116, C05019, <https://doi.org/10.1029/2010JC006402>

156 Basert på forsker ved Meteorologisk institutt, Hilde Haakenstads PhD-avhandling ved Universitetet i Bergen (2022), Norway's marine and terrestrial climate mapped with dynamical downscaling, 174 s.

land ved mannskapsskifte.<sup>157</sup> Disse målingene har hatt stor betydning for kartleggingen av endringer i den nordatlantiske sirkulasjon aktualisert gjennom endringene i det globale klimaet.

Værskipet Polarfront (66 grader nord, to grader øst) ble tatt ut av tjeneste ved utgangen av 2009 etter å ha vært i drift siden juni 1948 finansiert av staten over Meteorologisk institutts budsjett. Polarfront var det siste gjenværende værskipet i Atlanterhavet. Under andre verdenskrig var det en hel armada som sørget for observasjoner av meteorologiske forhold og var av særlig betydning for den militære luftfarten over Atlanterhavet.<sup>158</sup>

Den direkte foranledning til at avtalen om driften av Polarfront med rederiet Kaare Misje AS i Bergen ble avsluttet, var økonomisk. Polarfront alene utgjorde i 2009 ca. 55 % av driftsutgiftene til hele instituttets observasjonssystem inkludert værradarnettet, men unntatt lønn til observatører og infrastruktur på Ishavet. Polarfronts berettigelse for værvarslingen og Meteorologisk institutt var særlig knyttet til radiosondeoppstigningene hver sjette time. Hovedbegrunnelsen for at Polarfront ble holdt i drift lenge etter at det nest siste værskipet i Atlanterhavet ble tatt ut av tjeneste (1995), var imidlertid de hydrografiske målingene som ble drevet av Universitetet i Bergen fra 1948, igangsatt av Håkon Mosby. Polarfront hadde også betegnelsen «Ocean Weather Station-Mike, OWS-M». Lokaliseringen over den østlige kanten av den norske dyphavsrenna gjorde det mulig å kartlegge en viktig komponent av den marine vann- og varmeutvekslingen mellom nordlige og midlere bredder.

Hensynet til instituttets kjerneoppgaver innen værvarsling umuliggjorde å fortsette en så sterk prioritering av hydrografiske målinger. Andre statlige institusjoner med kjerneoppgaver knyttet til marin overvåking av norske havområder, som f.eks. Havforskningsinstituttet, så seg ikke i stand til å bidra til finansieringen av driften av Polarfront.

---

157 Østerhus, S. & Gammelsrød, T. (1999). The Abyss of the Nordic Seas Is Warming, *Journal of Climate*, 12(11), 3297–3304. Retrieved Feb 28, 2022, from [https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/12/11/1520-0442\\_1999\\_012\\_3297\\_taotns\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/12/11/1520-0442_1999_012_3297_taotns_2.0.co_2.xml)

Havdypsobservasjonene fra værskip M er satt i en bredere Norskehavs-ramme i publikasjonen Dickson, B. & S. Østerhus (2007). One Hundred years in the Norwegian Sea. *Norsk geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography*, 61, 56–75, <https://doi.org/10.1080/00291950701409256>

158 Hovland, E. (2007). *I vinden. Geofysisk institutt 90 år*, s. 85. Fagbokforlaget.

3.2.12.1 «*Last weather ship faces closure*», *News-artikkel i Nature*<sup>159</sup>

Nedleggelsen av driften av Polarfront førte til offentlige protester særlig fra oseanografer i akademisk sektor i inn- og utland, og som bl.a. ble referert i en nyhetsartikkel i *Nature* skrevet av tidsskriftets Tysklands-korrespondent Quirin Schliermeier,<sup>160</sup> der også synspunkter fra Meteorologisk institutts direktør Anton Eliassen ble gjengitt på grunnlag av en e-post han hadde sendt 5. juni 2009 som svar på spørsmål fra Schliermeier. Eliassens e-post gjengis her:

The weather ship 'Polarfront' is the last of the weather ships that were established in the Atlantic ocean after the second world war to provide meteorological observations, particularly in support of the transatlantic flights. In 1948 13 weather ships were operating. The Norwegian Meteorological Institute has decided to terminate the operation of the ship from 31st December 2009. The purpose of the weather ship 'Polarfront' is to provide meteorological observations, mainly in support of operational numerical weather prediction (NWP). The most important observation is the radio sounding, measuring pressure, temperature, humidity and wind speed and direction throughout the whole troposphere and well into the stratosphere. Radio soundings are made every 6 hours (i.e. 4 times per day).

The cost of operating the weather ship alone, excluding any measurement expenses, is now 2,5 million Euro per annum. The running expenses have risen sharply in later years, in 2000 they were 1,8 million Euro. Except for a contribution of 0,3 million Euro from EUMETNET, all expenses for operating the ship are carried by the Norwegian Meteorological Institute.

Presently this is more than half of the running expenses for the whole official meteorological observation system in Norway, weather radars included.

Since 1948, the ship has been a free platform of opportunity for oceanographic measurements. The institutes operating such measurements on the ship have only paid for their own instrumentation and measurement.

---

159 Schliermeier, Q. (2009). Last weather ship faces closure. News item, *Nature* 459, 11. juni 2009, p. 759.

160 Ibid.

The most notable result of this measurement opportunity (in my view) is time series of temperature and salinity throughout the whole water column down to 2500 m. The time resolution is five times per week. Commencing in 1948, this is the world's longest time series of this kind. It is important that this time series be continued. This time series will be continued by means of an anchored buoy, operated by the University of Bergen.<sup>161</sup>

Currently, a number of other measurements of opportunity are carried out on the ship. These cover a wide range of sophistication, from pure monitoring of CO<sub>2</sub> (since 1980, for NOAA) and other climate-relevant gases (CO, molecular hydrogen, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, C<sup>13</sup>/C<sup>12</sup>-ratio in CO<sub>2</sub>), to advanced process measurements related to the flux of CO<sub>2</sub> between the sea and the atmosphere.

Radiation measurements are also carried out. These measurements are of a much more recent date, most of them were established from 2000 and later, with funding from the EU and national research councils.

It has always been clear that the operation of the ship cannot be guaranteed into the future. In relation to its basic purpose, weather forecasting, the weather ship is now an extremely cost-inefficient platform, and a waste of taxpayers' money. Monitoring of the state of the ocean is certainly very important, but it is not the responsibility of the Norwegian Meteorological Institute. Other institutions are free to consider whether they might wish to take their part of the running expenses. If so, the Norwegian Meteorological Institute could also consider to contribute, but on a much smaller scale than at present. Up to now, I have received an overwhelming number of statements stressing the importance of continuing the operation of the ship, but no further offers to share the expenses.

---

161 Havforskningsinstituttet har hatt ansvaret for driften av forskningsbøyen som ble plassert på posisjon M etter at Polarfront ble lagt ned.

3.2.12.2 *Skriftlig spørsmål fra stortingsrepresentant Gunnar Kvasheim (V) til forsknings- og høyere utdanningsminister Tora Aasland*<sup>162</sup>

Kvasheim (V) stilte et skriftlig spørsmål til forsknings- og høyere utdanningsminister Tora Aasland i Stortinget:

Regjeringen har i klimaforliket forpliktet seg til å trappe opp klimaforskningen. Hvordan harmonerer dette med at man grunnet pengemangel varsler nedleggelse av værskipstasjonen «M» i Norskehavet?

Begrunnelse: Stasjon «M» i Norskehavet, som betjenes av værskipet «M/S Polarfront», planlegges nedlagt, og driftsmidlene skal være foreslått overført til andre aktiviteter. Flere, blant annet Senter for klimaforskning – CICERO, har lagt vekt på betydningen av observasjonene fra værskipstasjonene innen klimaforskningen. «M/S Polarfront» og stasjon «M» skal være den siste av en rekke skip som har observert og rapportert lange serier med verdifulle data til denne forskningen.

Statsråd Tora Aaslands svar:

Værskipet Polarfront eies av rederiet Kaare Misje AS i Bergen. Skipet ligger i en fast posisjon i Norskehavet (66 grader N, 02 grader Ø) og utfører meteorologiske målinger. Meteorologisk institutt leier tjenesten og betaler driftsutgifter på ca. 20 millioner kroner i året. Instituttet får imidlertid refusjon fra den meteorologiske samarbeidsorganisasjonen EUMETNET på 300 000 euro pr. år, dvs. i underkant av 3 millioner kroner med dagens kurs. Nettokostnadene for instituttet ved å drive skipet er derfor ca. 17 millioner kroner. Avtalen om leie av værskipet går ut 31.12.2010. Meteorologisk institutt har varslet Kaare Misje AS om at de vil gå til oppsigelse av avtalen om leie av værskipet Polarfront med virkning fra 01.01.2010. Meteorologisk institutts oppdrag er primært at værskipet skal sende opp radiosonder fire ganger i døgnet, i tillegg foretas normale meteorologiske observasjoner fra havoverflaten. Radiosondene måler atmosfærens tilstand

162 Dokument nr. 15:646 (2008–2009) datert 5.2.2009, besvart 11.2.2009.

fra overflaten opp til ca. 25 km høyde. Tidligere var dette den eneste måten man hadde for regelmessige målinger av atmosfæren opp til slike høyder. Informasjon om atmosfæren oppover i høyden er nødvendig for å kunne gi numeriske prognoser for været fremover i tid. Norge driver i dag syv slike radiosonde-stasjoner. Disse er lokalisert på Sola, Ørland, Bodø, Jan Mayen, Bjørnøya, Ekofisk og Værskipet. Dette er et høyt antall radiosonde-stasjoner, flere enn de fleste andre land har. De siste årene har det kommet stadig bedre meteorologiske satellitter. Satellittene gir også informasjon om atmosfærens tilstand oppover i høyden. Satellittene og radiosondene kompletterer hverandre, men satellittene har gjort radiosondene noe mindre viktige enn de var for noen år tilbake. For 50 år siden var det mer enn 10 værskip i Atlanterhavet, finansiert gjennom en internasjonal avtale. Disse er gradvis lagt ned, og det norske værskipet er i dag det eneste gjenværende. Nedleggelsene skyldes at kostnadene har økt, samtidig som vitenskap og teknologi har bidratt til å forbedre værvarslene på annen måte. På grunn av at Norge er spesielt utsatt for lavtrykk som dannes i det nordlige Atlanterhav, har Norge beholdt sitt værskip lengst. Drift av værskip er ikke lenger kostnadseffektivt på grunn av den teknologiske utviklingen på satellittområdet. Moderne observasjonsmetoder utvikles blant annet gjennom Norges medlemskap i EUMETSAT, den europeiske organisasjonen for utnyttning av meteorologiske satellitter, der de aller fleste europeiske stater er parter. EUMETSAT utvikler, skyter opp og driver meteorologiske satellitter. Kontingenten til EUMETSAT er innværende år på litt under 40 millioner kroner. Den meteorologiske nytten av disse satellittene blir stadig større. Denne utviklingen vil fortsette etter hvert som satellittene tar i bruk stadig mer avanserte måleinstrumenter. Radiosondemålingene er fremdeles nødvendige, men man trenger færre av dem enn før. Instituttets varsel om oppsigelse av værskiptjenesten er således et ledd i en kontinuerlig effektivisering og modernisering av det meteorologiske observasjonssystemet. Hovedformålet med værskipet har hele tiden vært å skaffe observasjoner som bedrer værmeldingenes kvalitet. Når skipet først har ligget der, har imidlertid andre enn Meteorologisk institutt benyttet skipet til å utføre andre typer målinger. Dette har stort sett vært oseanografiske eller kjemiske målinger relatert til klimaovervåkning eller klimaforskning. Geofysisk institutt (GFI) ved Universitetet i Bergen (UiB) har her vært den største brukeren. GFI benytter værskipet som plattform



for oseanografiske målinger ned til mer enn 2000 m dybde. Tidsserien av disse målingene er svært lang (startet i 1948). Gjennom disse målingene overvåkes den grenen av Golfstrømmen som passerer værskipets posisjon, så vel som dypvannet i Norskehavet. Siden Norges klima er svært avhengig av varmetilførselen fra havet, er det viktig å overvåke havstrømmer og sjøtemperatur i Norskehavet. GFIs oseanografiske målinger fra værskipet har vært et viktig bidrag til dette. GFI er orientert om Meteorologisk institutts planer, forstår situasjonen og planlegger nå hvordan de oseanografiske målingene kan fortsette. Tidsserien kan videreføres ved at det settes ut en forankret bøye. Slike bøyer kan i dag utføre målinger ned til omtrent samme dyp. Det er også andre institusjoner som får tjenester fra fartøyet, slik som Havforskningsinstituttet, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, tilsvarer Meteorologisk institutt i USA) og Universitetet i Southampton. Når det gjelder klimaovervåkning, er de oseanografiske målingene som GFI/UiB har drevet fra værskipet de viktigste. De meteorologiske målingene som utføres fra værskipet har betydning for overvåkingen av klimautviklingen. Denne betydningen er imidlertid ikke så stor at den berettiger utgifter i denne størrelsesorden.

Det grunngitte spørsmålet i Stortinget ble fulgt opp med et brev fra instituttleder Peter Mosby Haugan ved Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen, og direktør Eystein Jansen fra Bjerknessenteret for klimaforskning datert 3. april 2009 til statsråd Tora Aasland «Om klima- og miljøovervåkning fra stasjon M i Norskehavet» med kopi til direktørene for Havforskningsinstituttet, Norsk Polarinstitutt og Meteorologisk institutt, og til Jon Børre Ørbæk i Norges forskningsråd, med samme hovedbudskap som presentert av Gunnar Vassnes i Stortinget.<sup>163</sup> Dette brevet ble ikke besvart av departementet.

### 3.2.12.3 Skadeavbøtende tiltak

Meteorologisk institutt utredet i detalj konsekvensene av opphøret av sondeoppstigningene på Polarfront for værvarslingens kvalitet, og hva som kunne gjøres for å kompensere for dette.

---

163 Meteorologisk institutt arkiv 09/288 6.4.2009.

Thor Erik Nordeng og Harald Schyberg, forskere ved Meteorologisk institutt, konkluderte i sin utredning «Hvordan erstatte MIKE i NWP?» med at numeriske eksperimenter der observasjoner systematisk tas med eller utelukkes, viser en vesentlig og utvetydig positiv effekt av radiosonde-nettverket sett under ett. Resultatene fra eksperimentene der både MIKE- og Ekofisk-sondene er med eller med bare MIKE-sonden, gir mer tvetydige resultater: Verifikasjonsstatistikken gir resultater i flere retninger, men disse resultatene er neppe statistisk signifikante. Vi kan imidlertid se klare positive effekter av sonderingene i enkeltsituasjoner som for eksempel enkelte ekstremværsituasjoner. Dette avspeiler også effekten vi kan vente i framtiden ved å fjerne MIKE. Det vil være en negativ effekt, men effekten vil i middel være så liten at den ikke er målbar som noe statistisk signifikant utslag på den midlere varslingskvaliteten. Dette er et resultat vi kan forvente uansett hvilken enkeltstasjon vi fjerner fra observasjonssystemet, og er ikke spesielt for MIKE.<sup>164</sup> En arbeidsgruppe ved Meteorologisk institutt<sup>165</sup> gikk gjennom svakheter som kunne oppstå ved nedleggingen av Polarfront som plattform for marine og atmosfæriske observasjoner, og slo fast at for å opprettholde observasjonsevnen trengte Universitetet i Bergen og Geofysisk institutt at prøver ble tatt fra ett og samme skip i området minst en gang i måneden, mens det for de internasjonale samarbeidspartnerne (NOAA og Southampton) var behov for kontinuerlig tilstedeværelse. En avansert forskningsbøye ble vurdert som den teknisk og økonomisk sett mest realistiske løsningen, hvorfra kan måles flukser mellom havet og atmosfæren og atmosfærisk stråling, etter modell av air-sea-flux buoys som er utviklet og anvendes av bl.a. Woods Hole Oceanographic Institution i USA. Meteorologisk institutt tok initiativ til at det ble sendt inn et «Letter of intent» for finansiering av en slik forskningsbøye i forbindelse med Forskningsrådets utlysning i januar 2009 av forskningsinfrastrukturmidler, noe også statsråd Aasland viser til i sitt svar til Vassnes.

Havforskningsinstituttet tok ansvaret for en søknad om forskningsutstyrsbevilgning fra Forskningsrådet: «PolarBuoy – Real-time climate observations at the position of the weather ship Mike» med forskningsdirektør

---

164 Rapport MET-klimaforskningshistorie-Polarfront-FoU-MIKE-vurdering\_TEN&HS\_mars2009.

165 Værskipet Polarfront. Sluttrapport fra met.no arbeidsgruppe Oslo 19. mars 2009, Jens Sunde, Knut Bjørheim, Eirik J. Førland og Øystein Hov.

Harald Loeng som ansvarlig fagperson og med Øystein Skagseth som prosjektleder. Formålet ble formulert som<sup>166</sup> «The project will combine existing technology in a way that secures some of the most important time series established so far. By combining atmospheric and oceanographic observations, we get the possibility to also include the atmospheric-ocean interaction and to better understand the processes that are important in a climate context. St M has so far played a key role in the Norwegian climate monitoring program, and by this project it will also do so for the years ahead.»

I begynnelsen av september 2009 kom det melding til HI om at Forskningsrådet hadde bevilget 12,9 millioner kr for 2010–2013 til prosjektet, som så ble iverksatt med HI som ansvarlig for overflatebøye, målinger i øvre vannsøyle og for profilerende plattform, mens UiB og Bjerknessen-teret sammen var ansvarlige for pH og partialtrykk av CO<sub>2</sub> i vannoverflaten, og for dyphavsmålinger. Observasjonene som er gjort, kan lastes ned fra Havforskningsinstituttet.<sup>167</sup> Det er ikke tilgjengelige data etter 27.4.2021 fra <http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjonm/download.html>. Overflatebøyen viste seg ikke å være spesielt godt egnet til formålet, og gikk etter hvert tapt.<sup>168</sup> Imidlertid passerer fartøy fra Havforskningsinstituttet over stasjon M-posisjonen jevnlig 4–5 ganger i året i forbindelse med overvåkningstoktene der målinger på instituttets faste snitt i Norskehavet tas. Stasjon M ligger mellom Svinøysnittet (utenfor Stadt) og Gimsøysnittet (utenfor Lofoten), og fartøyet går innom stasjon M når disse snittene tas 4–5 ganger i året.<sup>169</sup> Dette medfører vanligvis ikke store endringer for disse toktene. Gjennom disse målingene opprettholdes serien med målinger av strøm med bruk av ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), temperatur og saltholdighet,<sup>170</sup> næringssalter, klorofyll og vannprøver til karbonkjemianalyse ved Universitetet i Bergen<sup>171</sup> på dypt vann, og oksygensensor på

166 MET-klimaforskningshistorie-Polarbuoy application from IMR spring 2009 to replace station M.pdf, MET-arkiv.

167 <http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjonm/download.html>

168 Samtale med Henrik Søiland, Bergen 19. mai 2022.

169 Informasjon fra Kjell Arne Mork, HI, i e-post 27. mai 2022.

170 <https://ocean.ices.dk/core/iroc#>

171 Alle CO<sub>2</sub>-data fra overflaten på Stasjon M er tilgjengelige via SOCAT A Collection of Surface Ocean CO<sub>2</sub> Observations Quality Controlled by the Science Community (<https://www.socat.info/>). Karbondata fra vannkolonnen på Stasjon M er tilgjengelige via GLODAP (<https://www.glodap.info/>) fram til 2007, og fra 2008–2019 vil de bli tilgjengelige i neste GLODAP-versjon. GLODAP er A uniformly calibrated open ocean data product of inorganic and carbon-relevant variables.

CTD-sonden gir måling av oksygen.<sup>172</sup> Målefrekvensen anses tilstrekkelig for å fange opp langsomme endringer.<sup>173</sup>

### 3.2.13 Observasjoner av atmosfærens kjemiske sammensetning. Dataforvaltning på tvers av jordsystemets komponenter

Øystein Hov

Værparametrene er sentrale i klimakartleggingen, og har en lang instrumentell og institusjonell historie i Norge som dokumentert i dette kapitlet. Klimaspørsmålet omfatter imidlertid alle jordsystemets elementer – atmosfære, hav, is på land og hav inkl. permafrost, ferskvann, biogeokjemiske kretsløp og økosystemer. Jordsystemelementene er i kontinuerlig vekselvirkning med hverandre og er under menneskelig påvirkning.

Når det gjelder andre observasjoner av særlig atmosfærisk relevans i tillegg til værelementene, kan nevnes målingene på Zeppelinobservatoriet (78,90 °N, 11,88 °E) som ligger på Zeppelifjellet 472 moh. i Ny-Ålesund på Spitsbergen, den største øya i Svalbard-øygruppen. Observatoriet ble etablert av NILU i 1989 med finansiering fra Miljøverndepartementet, og er en del av Ny-Ålesund forskningsstasjon og et viktig atmosfærisk målested, som et av svært få i høy-arktisk og som en del av flere europeiske og globale overvåkingsprogrammer og forskningsinfrastrukturer, bl.a. European Monitoring and Evaluation Program (EMEP), Arctic Monitoring and Assessment Program (AMAP), Global Atmosphere Watch (GAW under WMO), Aerosols, Clouds and Trace Gases Research InfraStructure (ACTRIS som er etablert under European Strategy for Research Infrastructures, ESFRI, et EU-initiativ), Advanced Global Atmospheric Gases Experiment (AGAGE) nettverk, og Integrated Carbon Observation System (ICOS som er etablert under

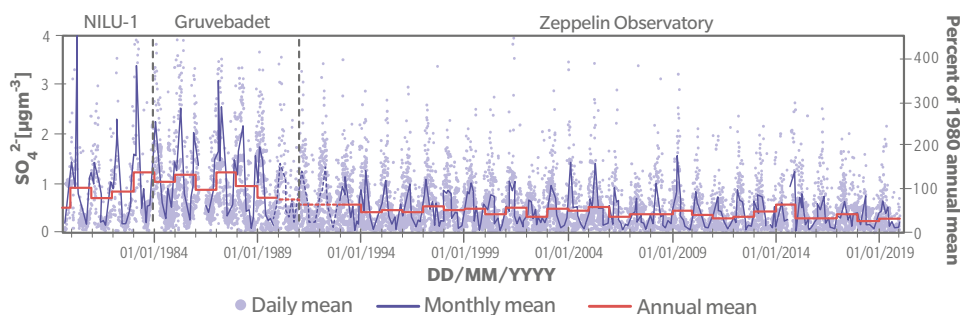
---

Eksempler på nyere publikasjoner der stasjon M-data inngår: Skjelvan, I., Jeansson, E., Chierici, M., Fransnes, F., Frøb, F., Tjiputra, J., ... Apelthun, L.B. (2022). Trender i havforsuring og antropogent karbon i de nordiske hav, Nordsjøen og Skagerrak, NORCE Klima- og miljørapport 4-2022, og Fransner, F., Frøb, F., Tjiputra, J., Goris, N., Lauvset, S. K., Skjelvan, I., ... Olsen, A. (2022). Acidification of the Nordic Seas. *Biogeosciences*, 19(3), 979–1012.

172 Opplysninger i e-post fra Kjell Arne Mork, HI, 27. mai 2022.

173 Samtale med Svein Østerhus i Bergen 19. mai 2022.

ESFRI). Med tidsserier av atmosfærekjemiske komponenter som dateres tilbake til 1989, drives observatoriet i fellesskap av Norsk Polarinstitut (NP), Stockholms universitet og Norsk institutt for luftforskning (NILU). Mange av de kjemiske komponentene som observeres på fast basis i Ny-Ålesund, er klimarelevante, og trendene i utviklingen er av betydning for vurderingen av utslippskontroll, dette gjelder f.eks. klorfluorkarboner (KFK) og hydrofluorkarboner (HFK), hydroklorfluorkarboner (HKFK), ozon, CO<sub>2</sub>, metan og aerosoler (se figuren under for sulfataerosoler).<sup>174</sup>



**Figur 3.15** Konsentrasjonen av partikulært sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) i Ny-Ålesund (NILU-1), Gruvebadet, og Zeppelinobservatoriet. Konsentrasjonene er korrigert for sjøsaltbidraget med unntak av 1990–1992 da totalmengden ble analysert, også markert med stiplet linje. Den høyre aksens viser konsentrasjonsnivået sammenlignet med årsmidlet i 1980 som da var 0,92 µg m<sup>-3</sup>.

NILU har en sentral rolle i ACTRIS, mens Meteorologisk institutts rolle er mer beskjeden og knyttet til AEROCOM, som er et forskerinitiativ og forskningsinfrastruktur for validering av kvaliteten på klimamodellers aerosolbeskrivelse og resultater.<sup>175</sup> AEROCOM er ledet fra Meteorologisk institutt

174 Platt, S.M., Hov, Ø., Berg, T., Breivik, K., Eckhardt, S., Eleftheriadis, K., Evangelou, N., Fiebig, M., Fisher, R., Hansen, G., Hansson, H.-C., Heintzenberg, J., Hermansen, O., Heslin-Rees, D., Holmén, K., Hudson, S., Kallenborn, R., Krejci, R., Krognnes, ... Tørseth, K. (2022). Atmospheric composition in the European Arctic and 30 years of the Zeppelin Observatory, Ny-Ålesund, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(5), 3321–3369, <https://doi.org/10.5194/acp-22-3321-2022>

175 <https://aerocom-evaluation.met.no/>

siden 2010 i forbindelse med at Michael Schulz ble tilsatt som forsker (senere også som professor II ved UiO), rekruttert fra Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement CEA / CNRS / UVSQ – IPSL Gif-sur-Yvette i Frankrike. ACTRIS<sup>176</sup> har hovedvekten på atmosfæriske aerosolers livssyklus og klimarolle direkte og indirekte, mens i ICOS<sup>177</sup> kartlegges karbon-syklusen i ulike økosystemer med vekt på kvantifisering av karbonfluksene ved terrestriske og marine overflater, nøkkelinformasjon for å forstå hvordan karbon beveger seg mellom og endrer seg i de ulike reservoarene (atmosfære, jord, økosystemer og hav).

Både ACTRIS og ICOS er eksempler på forskningsinfrastrukturer som kan gi viktige bidrag til utviklingen av operasjonelle infrastrukturer. En større grad av observasjonsbasert kvantifisering i rom og tid av størrelsen og variabiliteten av vertikale flukser, ikke minst av latent og følbare varme og bevegelsesmengde ved jord- og havoverflaten, kan komme til å få betydning for den videre utviklingen både av numeriske værvarslingsmodeller og klimamodeller. Målet er å utvikle operasjonelle observasjonssystemer som på en balansert måte legger til rette datagrunnlaget for koblingen av jordsystemelementene i modeller som kan anvendes prognostisk eller i reanalyser. Slik utvikling er i gang i mange anvendte forskningsmiljøer, ikke minst mellom meteorologi og hydrologi<sup>178</sup> og mellom hav, sjøis og atmosfære, og for biogeokjemiske kretsløp, enten i en regional modell eller globalt.

Når observasjoner og modeller utvikles og anvendes i et jordsystemperspektiv, så stilles det nye krav til dataforvaltningen siden en rekke institusjoner og organisasjoner som tradisjonelt ikke har hatt mye med hverandre å gjøre, må samarbeide. En fri og åpen datapolicy samt standardiserte metadata er essensielle komponenter. Data må være Findable, Accessible, Interoperable og Reusable (FAIR) (må kunne finnes fram til, være tilgjengelige, kunne anvendes for mange formål og kunne brukes om igjen). WMO vedtok i 2021 en svært viktig resolusjon om Unified Data Policy. Den dekker alle deler av jordsystemet og inkluderer bruk av standardiserte metadata for å gjøre dem FAIR. Denne WMO-resolusjonen sikrer fri og pålitelig internas-

---

176 <https://www.actris.eu/>

177 <https://www.icos-cp.eu/>

178 <https://www.met.no/prosjekter/hydrometeorology-to-operations-h20>

jonal utveksling om hva som er tilgjengelig av data, og med tilgang til kritiske jordsystemdata av høy kvalitet, inkludert både observasjoner og modelldata som brukes til overvåking og prediksjon.<sup>179</sup>

### 3.3 Klimasystemet er i endring. Forskning for å forstå årsaker, omfang og hva som kan ventes framover

Trond Iversen

Fra slutten av 1980-tallet, etter oppstarten av FNs klimapanel (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC), ble norsk klimaforskning gradvis utvidet konseptuelt og praktisk. Dette falt sammen med en økende erkjennelse av at forbrenning av fossilt karbon (kull, olje, naturgass) kunne medføre klimaendringer og global oppvarming som følge av økt atmosfærisk drivhuseffekt. At det kunne være en sammenheng mellom økt innhold av kuldioksid i atmosfæren og global oppvarming var mange tiår gammel kunnskap. Beregninger av klimaforandringer som følge av dette, var likevel mangelfulle tidlig på 1990-tallet.<sup>180</sup> Dette skyldtes dels at den kvantitative forståelsen av mange prosesser i jordsystemet var dårlig, og dels at den tilgjengelige regnekraft på den tidens datamaskiner var liten. Utover på 1990-tallet, og særlig etter at den andre hovedrapporten fra FNs klimapanel (IPCC-1995) ble publisert,<sup>181</sup> ble det stadig klarere at menneskeskapte klimaforandringer var et samfunnsspørsmål som forsterket behovet for uavhengig forskning og informasjon.

179 The updated WMO Unified Data Policy Resolution was adopted at the extraordinary WMO Congress 11–22 October 2021 (Cg-EXT 2021), <https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do/observations/Unified-WMO-Data-Policy-Resolution> and replaced «WMO policy and practice for the exchange of meteorological and related data and products including guidelines on relationships in commercial meteorological activities», Resolution 40 Congress XII 1995 <https://community.wmo.int/resolution-40>, [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=6031](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=6031)

180 Hvor skrasikre kunne forskerne egentlig være om klimaendringene før 90-tallet? (T. Iversen, A. Eliassen, Ø. Hov). Forskersonen.no, 31. januar 2021. <https://forskersonen.no/klima-kronikk-meninger/hvor-skrasikre-kunne-forskerne-egentlig-vaere-om-klimaendringene-for-90-tallet/1802246>. Også gjengitt som egen artikkel annetsteds i boken.

181 [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_sar\\_wg\\_I\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf)

### 3.3.1 Nasjonalt koordinert forskning: klimaprosesser, jordsystemet og klimaberegninger

Klima- og ozonprogrammet (KO-programmet) i Norges allmennvitenskapelige forskningsråd (NAVF) ble opprettet i 1989 og videreført i det nyopprettede Norges forskningsråd i 1993. I april 1990 grunnla regjeringen Brundtland CICERO Senter for internasjonal klimapolitikk (senere endret til CICERO Senter for klimaforskning) som et forskningsinstitutt som favnet over flere tradisjonelle fagfelt og med et særlig mandat til å informere offentligheten om resultater fra klimaforskningen. Meteorologisk institutt hadde i mange tiår utviklet og anvendt et langsiktig nettverk av observasjoner som var velegnet til å kartlegge og overvåke norsk klima, og bidro også med data for overvåkning av det globale klima gjennom Verdens meteorologiorganisasjon (WMO). Disse observasjonene fikk økt aktualitet og måtte analyseres og tolkes statistisk under den nye forutsetningen at systematiske trender måtte forventes. Tilsvarende gjaldt også for langsiktige observasjoner i havet som særlig ble gjort ved Havforskningsinstituttet og ved Universitetet i Bergen.<sup>182</sup>

KO-programmet finansierte i første fase (1989–1996) hovedsakelig forskning innen fagfelt der Norge fra tidligere hadde en sterk vitenskapelig status internasjonalt. Dette var dels forskning som allerede før programmet var direkte klimarelevant, og dels forskning som forløste enkelte fagfelts latente relevans for forståelsen av prosesser av betydning for jordas klima. Forskningen omfattet blant annet tidligere tiders klima (paleoklima), virkninger av klimaendringer på naturlig vegetasjon, regionale klimaprosesser i havet, og atmosfærisk fysikk og kjemi som påvirker utveksling av strålingsenergi med verdensrommet. Mye av forskningen var eksperimentell, observasjonsbasert eller fokuserte på enkelte prosesser.

#### **Solstrand-møtet i mars 1996**

Den faglige situasjonen da første fase av KO-programmet gikk mot slutten, aktualiserte spørsmålet om en styrket satsing på matematisk-fysisk klimamodellering i Norge. Programmet hadde et todagers seminar med 46 deltagere

---

182 Østerhus, S. & Gammelsrød, T. (1999). The Abyss of the Nordic Seas is Warming. *J. Climate* 12(11), 3297–3304, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<3297:TAOTNS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<3297:TAOTNS>2.0.CO;2)



ved Solstrand Fjordhotell i Os den 11.–12. mars 1996. Ifølge rapporten<sup>183, 184</sup> administrerte programkomiteen på det tidspunktet 42 forskningsprosjekter på vegne av Forskningsrådet. Et forsøk på å gruppere disse prosjektene etter tema ut fra prosjektnavn og prosjektleder, gir som resultat 9 (21 %) om stratosfæreozon og UV-stråling, 11 (26 %) om paleoklima, 5,5 (13 %) om atmosfærekjemi knyttet til klima, 5,5 (13 %) om virkninger av klima, 4 (10 %) om klimadynamikk med vekt på vår region hvorav tre med vekt på hav, 3 (7 %) om karbonsyklus, 3 (7 %) om andre klimaprosesser i atmosfæren enn kjemi, og 1 (2 %) om klimaprosesser i hav. Nesten halvparten av prosjektene var altså innen stratosfæreozon og paleoklima.

Siden møterapporten ikke angir bevilgningen per prosjekt, indikerer disse tallene bare delvis forskningsprofilen innen klima- og ozonforskningen i Norge våren 1996. Selv om flere av miljøene hadde andre viktige finansieringskilder, etterlater likevel dette et bestemt inntrykk av at norske forskningsmidler over mange år hadde gått til andre aktiviteter enn slike som kunne fortelle om mulige klimaendringer de neste 50–100 år. Med unntak av to prosjekter, «Climatic impacts of anthropogenic aerosols» for perioden 1995–98 ved UiO, og «Modellering av den marine karbonsyklus i Nord-Atlanteren» for perioden 1994–95 ved Nansen-senteret/UiB, var ikke klimamodellering finansiert gjennom KO-programmet. Også disse prosjektene omhandlet utvalgte deler og prosesser i jordas klimasystem uten kobling, og en viktig del av formålet var utdanning av unge forskere på PhD- og post-doc-nivå.

På Solstrand-møtet ble resultater og status for pågående prosjekter lagt fram. Diskusjonene omfattet i tillegg andre problemstillinger som kunne trenge forskningsinnsats, inklusive regional klimamodellering med Sigbjørn Grønås<sup>185</sup> fra UiB som talsmann. Grønås viste også til usikkerheter knyttet til endringer i forhold som kan påvirke havstrømmer i Nord-Atlanteren, og dette spørsmålet vakte betydelig interesse etter presentasjonen til Svein Østerhus fra UiB<sup>186</sup> (publisert vitenskapelig i 1999<sup>187</sup>): Lange serier av

183 Dahlin, E. (red.) (1996). Workshop, Solstrand Fjord Hotel, Os, 11-12 March 1996. NILU OR 15/96, 2007 Kjeller. 82 p.

184 The Norwegian Climate and Ozone Research Programme (osti.gov).

185 The Norwegian Climate and Ozone Research Programme (osti.gov), side 21–23.

186 The Norwegian Climate and Ozone Research Programme (osti.gov), side 33–36.

187 Østerhus, S. & T. Gammelsrød, loc. cit.

temperaturmålinger på mer enn 2000 m dyp under værskipet «Polarfront» i Norskehavet viste en betydelig økning siden 1987. En slik trend kan knyttes til en mulig svekket dypvannsdannelse og i neste omgang muligens en redusert «Golfstrøm» i overflaten av Norskehavet og videre inn i Arktis.<sup>188</sup>

På Solstrand-møtet ble muligheter og utfordringer knyttet til beregninger av klimaendringer i vår region diskutert. I tillegg til ren nedskalering av globale framskrivninger som er detaljerte nok til effektstudier av klimaendringer, er det usikkerheter knyttet til «Golfstrømmen» og til Norges geografiske posisjon nær Arktis. For eksempel er det en betydelig geografisk variasjon i aerosolpartiklers absorpsjon og spredning av sollys mellom midlere bredder og Arktis, og som ikke var inkludert i de globale modellene i 1996.<sup>189</sup>

### **Akademia og forskningsinstitutter i samspill**

Etter publiseringen av IPCC-1995 ønsket norske miljømyndigheter å styrke norsk kompetanse på det fysiske klimasystemet. De neste underkapitlene beskriver hvordan dette i første omgang ledet fram til RegClim-prosjektet. Kompetanse på prosesser i klimasystemet og hvordan disse vekselvirker, er et viktig grunnlag for å kunne forstå og beregne hvordan menneskenes aktiviteter kan påvirke jordas klima.

En rask utvikling av slik kompetanse fordrer innsats fra forskningsinstitusjoner som i varierende grad er underlagt langsiktige føringer fra offentlige myndigheter, og fra academia som er friere til å forfølge nye ideer og utvikle ny kompetanse gjennom forskerutdanningen. En koordinert satsing må avklare akademias rolle i samspill med forskningsinstituttene. For eksempel er det ikke naturlig for academia å påta seg ansvar for langsiktig infrastruktur som å videreføre og kvalitetssikre lange observasjonsrekker eller større arbeidsredskap som komplekse jordsystemmodeller som kjøres på regnekraftige datamaskiner. Academia er allikevel avhengig av slik infrastruktur for å drive forskning og utdanning av høy kvalitet, mens instituttene er avhengig av stadig å bygge inn ny forståelse og kompetanse i infrastrukturen og bruke dette til å levere relevante resultater av høy kvalitet til samfunnet.

188 Se kronikk av Øyvind Sætra i *Aftenposten* 9. januar 1996: «Risikerer vi at Golfstrømmen stanser?».

189 The Norwegian Climate and Ozone Research Programme (osti.gov), side 25–26.

En artikkel som diskuterte nettopp dette, ble publisert iulletengen til Det amerikanske meteorologiske selskap (BAMS) i 1996.<sup>190</sup> Teksten beskrev en konseptuell modell for samspill mellom akademia og forskningsinstitutter som opprinnelig passet den konkrete situasjonen for klimaforskningen i USA midt på 1990-tallet, men ideene kan tilpasses situasjonen andre steder og til andre tider. Med mindre justeringer passet den godt da Reg-Clim skulle planlegges. Den passer også godt for dagens situasjon (2022) med jordsystemmodellen NorESM, og for det nasjonale Klimaservicesenteret (KSS), som begge utgjør infrastruktur for klimaforskning i Norge og bidrar med data som kan innvirke på samfunnsplanlegging og politikkutforming.

I tillegg til å diskutere rollen til institutter (L=Labs) og universiteter (U), skiller artikkelen mellom modellutviklere (D=development) og brukere og anvendelse av modellresultater (A=application), som følger:

LD (instituttutviklere): Laboratory groups that do comprehensive development. The major LD centers have operational or quasi-operational roles with large communities of «users.» As a result, LD centers are forced to be somewhat conservative and they tend to be bureaucratic. The LD groups do applications as well as development.

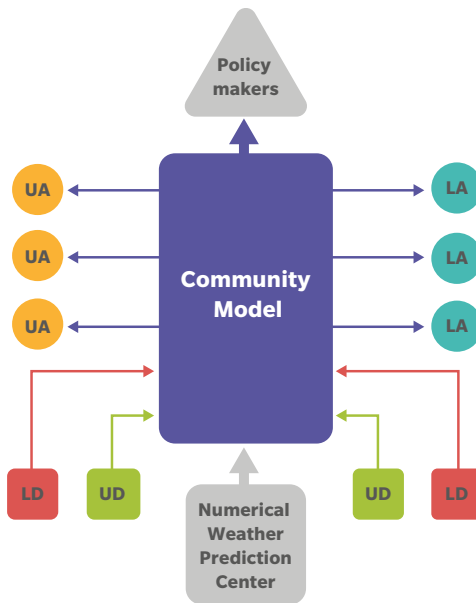
LA (instituttbrukere): Laboratory groups that specialize in applications. The LA centers are mission oriented: they exist to support the research objectives of their agency patrons.

UD (universitetsutviklere): University groups that do comprehensive model development. The UD centers, which do not support user communities, have maximum freedom of action. The UD groups do applications as well as development.

UA (universitetsbrukere): University groups that specialize in applications. The UA groups tend to be discipline specific; for example, some focus on paleoclimate.

---

190 Randall, D.A. (1996). A university perspective on global climate modeling. *Bull. American Meteorol. Soc.*, 77, 2685–2690.



**Figur 3.16** «Community model» er et felles modellapparat for numerisk beregning av prosesser i jordsystemet med vekt på klima. Modellapparatet utvikles i samspill med ekspertgrupper ved vitenskapsbaserte institutter, inkludert de som utvikler numeriske modeller for værvarsling (LD), og ved universitetene (UD). Beregningene brukes ved institutter (LA) og universiteter (UA) til å studere sammenhenger mellom klimavariasjoner og endringer i natur- og samfunnsutvikling. Resultatene kan innvirke på politiske beslutninger.

Et modellsenter, slik som Community Earth System Model (CESM) ved National Center for Atmospheric Research (NCAR) i Boulder, Colorado i USA, og nå (2022) NorESM ved Meteorologisk institutt og NORCE i Norge, har ansvar for å utvikle en felles modells kvaliteter som simulator av jordas klima i samarbeid med andre utviklere (LD og UD), å gjennomføre brorparten av beregningene, og å levere resultater til brukere (LA og UA) og beslutningstakere. Senteret har ansvaret for beregninger i tråd med protokoller for eksperimenter (CMIP = Coupled Model Intercomparison Project) utviklet under verdens klimaforskningsprogram (WCRP).<sup>191</sup>

191 <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>

Modellen er en infrastruktur for forskning, faglig utvikling og resultat-anvendelse. Tradisjonelt er det mange flere klimaforskere innen resultat-anvendelse enn innen modellutvikling og utvikling av kvantitativ jordsystem-forståelse. Det er også slik at academia som oftest studerer enkelte prosesser, mens den helhetlige samvirkningen mellom prosessene som definerer jordas klima under varierende ytre betingelser, studeres ved modellsenteret. Senteret samarbeider med utvalgte resultatbrukere med interesse for helhetlig tilnærming til jordsystemet (UA og LA).

Som artikkelen understreker, er erfaringen at et vellykket samarbeid mellom modellsenteret og prosessforskning i academia (UD) og andre institutter (LD) fordrer at enkelte prosesser studeres med utgangspunkt i modellkoden. Å «plugge inn» frittstående utviklet kode i en modell fungerer ikke i praksis. Det samme gjelder for observasjoner fra ekspedisjoner som planlegges uten å involvere modellutviklere. Senteret som har hovedansvar for modellen, må sørge for tilgjengelighet til modellkode og god assistanse når det trengs, mens forskere på enkelte prosesser må involvere modellsenteret i sine konkrete planer om det skal være noe håp om å redusere feil i modellene. Også i Norge er det dessverre høstet dårlige erfaringer med prosjekter og sentre som har hatt som uttalt mål å forbedre klimamodeller, fordi kompetanse på modellering har manglet i forbindelse med ekspedisjoner i felt.

### 3.3.2 RegClim: En strategisk satsing under Norges forskningsråd

1. juli 1997 startet prosjektet RegClim – Regional Climate under Global Warming. Prosjektet var nasjonalt koordinert og finansiert gjennom Norges forskningsråd på vegne av Miljøverndepartementet og forvaltet av KO-programmet. Prosjektet skulle levere beregninger av regionalt klima i Norge med omgivende havområder og deler av Arktis («vår region») i tråd med rådende vitenskapelig status. I tillegg skulle det gjøres vitenskapelige studier av klimaprosesser som var særlig usikre i vår region og/eller der norsk kompetanse var langt framme internasjonalt.

Da styret for KO-programmet i 1996 begynte å planlegge denne koordinerte satsingen på modellering, fantes det ingen opplagt kandidat til «community model», og klimaforskningen var spredt på ulike anvendelser ved institutter (LA) og universiteter (UA). Det var nødvendig at prosjektet raskt

kunne levere resultater om klimaendringer i vår region til myndigheter, akademia og andre forskningsinstitusjoner.

Raskt i denne sammenheng, ville være innen 2–3 år. For å få dette til var det nødvendig å utnytte den sterke kompetansen og kapasiteten som særlig fantes i numerisk værvarsling, assosiert modellering av havtilstand, og tradisjonell observasjonsbasert klimatologi. Her var det i første omgang mulig å omdisponere eksisterende ressurser. Med tilgang til globale klimaberegninger fra ett eller flere veletablerte globale klimasentre kunne de omdisponerte ressursene brukes til å beregne detaljerte framskrivninger for klima i vår region.

Samtidig med dette, og i et noe lengre tidsperspektiv, kunne en mer generell vitenskapelig kompetanse innen klimamodellering og relevante prosesser i jordsystemet bygges opp på internasjonalt nivå. Om dette skulle lykkes, var det selvsagt at prosjektet måtte styrke de spredte aktivitetene som allerede var i gang. I denne sammenheng måtte i første omgang universitetene i Bergen og Oslo ha et hovedansvar for forskningen og å utdanne unge forskere, i et samarbeid med instituttene som har data og annen infrastruktur tilgjengelig.

Over en tiårsperiode utviklet RegClim sterk norsk vitenskapelig og teknisk kompetanse innen klimamodellering og la et solid grunnlag for avanserte studier av menneskeskapte klimaendringer og deres effekter på natur og samfunn. Prosjektet utløste videre nasjonale satsinger som ennå (2022) fortsetter å gi betydelige bidrag til internasjonal forskningsbasert jordsystemmodellering, globale og regionale klimaberegninger, avanserte analyser av observasjonsdata og økt forståelse av jordas klimasystem. I dette underkapittelet beskrives forhold som ledet til etableringen av RegClim. I det neste beskrives viktige elementer ved prosjektets gjennomføring, samt et kort utvalg av vitenskapelige resultater og formidling til allmennheten. Prosjektets «arv» i form av forsterket norsk klimaforskning og tjenesteyting etter prosjektet diskuteres i påfølgende kapitler.

### 3.3.2.1 Plandokumenter og nye bevilgninger

I 1995 publiserte FNs klimapanel (IPCC) sin andre hovedrapport med fokus på fysisk klima, IPCC-1995.<sup>192</sup> Like etter at rapporten var publisert, ble

---

192 [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_sar\\_wg\\_I\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf)

IPCCs leder, professor Bert Bolin fra Stockholms universitet (MISU), invitert til Oslo av Miljøverndepartementet (MD) for å legge fram og diskutere rapporten. Han holdt foredrag for et bredt publikum i januar 1996 i Gamle Logen i Oslo. Noen måneder før dette hadde Bolin holdt et foredrag for inviterte fagfolk i Vitenskapsakademiet der faglige utfordringer ble diskutert. Norske miljømyndigheter vurderte IPCC-rapportens faglige innhold som svært viktig, og rapporten synliggjorde behovet for både å øke og endre norsk klimaforskning.

Basert på framtidsscenarier for utslipp av gasser og forurensninger som påvirker jordas strålingsbalanse, presenterte rapporten projeksjoner for klimaendringer i løpet av det 21. århundre. Beregningene var basert på numerisk-matematiske representasjoner av fysiske lover i et utvalg av 16 globale klimamodeller. Dessverre var den tilgjengelige regnekraften for slike beregninger så begrenset at heuristiske antagelser for en rekke fysiske og kjemiske prosesser måtte gjøres. Dette skyldtes både dårlig romlig oppløsning, dvs. nettverket av beregningspunkter var grovmasket i forhold til geografiske og fysiske variasjoner, og at representasjonen av viktige prosesser var mangelfull. Vektlegging av romlig oppløsning kontra bred representasjon av komplekse prosesser, er ennå i dag (2022) sentrale prioriterings spørsmål innen klima- og jordsystemmodellering.

De globale klimaberegningene som ble presentert i IPCC-1995, representerte vitenskapelig status også i 1996. Klimamodellene som var brukt, hadde alle tidsavhengige beregninger av atmosfærens og verdenshavens dynamikk i tre dimensjoner. De inkluderte også tidsavhengig beskrivelse av havis og landoverflate, men med betydelige forenklinger. For eksempel var biogeokjemiske prosesser og vegetasjonsendringer ikke beregnet, men ble foreskrevet. Romlig oppløsning varierte mellom 300 og 600 km horisontalt og med mellom 10 og 30 nivåer vertikalt. For å beskrive geografiske detaljer av temperatur, vind, nedbør, havbølger, vannstand og isforhold i og rundt Skandinavia, var dette langt fra nok.

KO-programmet ble evaluert eksternt med internasjonal deltagelse i 1996.<sup>193</sup> Evalueringen anbefalte bl.a. en sterkere koordinert innsats innen klimamodellering. En underkomité av programstyret lagde raskt et plan-

---

193 Dokumentet med anbefalinger fra den internasjonale komiteen er dessverre ikke funnet.

dokument for et integrert prosjekt, «Regional klimautvikling under global oppvarming», som fikk programstyrets tilslutning og ble den 15. juni 1996 oversendt Forskningsrådets område for Miljø og utvikling.<sup>194</sup> Det aller meste av den klimafaglige teksten i dette plandokumentet ble gjenbrukt i senere korrespondanse med Forskningsrådet og Miljøverndepartementet, samt i planene for utlysningen på våren 1997. Beskrivelsen fremhevet at et integrert prosjekt skulle basere seg på en kombinasjon av teoretiske modellberegninger og analyser av observasjoner, inkludert historiske observasjoner og rekonstruksjoner. Ni elementer og utviklingstrinn ble nevnt, de tre første knyttet til produksjon av regionale klimaframskrivninger, de seks siste knyttet til mer grunnleggende faglige spørsmål (her redigert og forkortet).<sup>195</sup>

- Utgangspunkt i eksisterende numeriske modeller med høy oppløsning for Nord-Atlanteren og Norskehavet og for atmosfæren enten på regional skala eller globalt.
- Randbetingelser hentes enten fra en global, koblet hav-atmosfæremodell, fra observasjoner av dagens, eller rekonstruksjoner av historisk, klima.
- Randbetingelsene kan endres systematisk for å definere beregninger gjennom flere år. Resultatene vil gi en sannsynlighetsfordeling av tenkbare klimautviklinger.
- Sammenhenger mellom dypvannsdannelse, det hydrologiske kretsløp og dannelse av sjøis i Arktis, og klimaet i vår region.
- I hvilken grad er Den nordatlantiske havstrøm («Golfstrømmen») vind-drevet, og hvordan påvirkes atmosfærens bevegelser i vår region?
- I hvilken grad avhenger svarene på spørsmålene over av modellformuleringer som romlig oppløsning og kobling hav-atmosfære?
- Er det adekvat tilfang av oseanografiske målinger (moderne og paleodata) av varmetransport inn og ut av Nord-Atlanteren og Norskehavet og av transporten av varme, fuktighet og bevegelsesmengde mellom havoverflaten og lufta over?

---

194 Plandokument for prosjekt «Regional klimautvikling under global oppvarming» oversendt Norges forskningsråd/Miljø og utvikling fra programstyret for Klima- og ozonprogrammet 15. juni 1996.

195 Ibid. s. 3-4.



- Kan globale forandringer i fysiske parametere som temperatur og skydekke gi regionale endringer i strålingspådrivet, og har dette betydning for regionale klimaforandringer?
- Hva er de regionale bidragene til endringer i budsjetter for stoffer som påvirker strålingspådriv, og har eventuelle regionale bidrag til det globale strålingspådrivet betydning for regionale klimaforandringer?

Med tanke på hvordan norske myndigheter på ulike nivå kunne hensynta klimaendringer i sine planer for infrastruktur, bebyggelse og beredskap, måtte klimaprojeksjonene «oversettes» til en vesentlig høyere grad av geografisk detaljering. Dette alene var nok til at MD ønsket å bevilge midler til regionale klimaberegninger. Pressemeldingen fra MD 4. oktober 1996 og brevet fra MD til styret for KO-programmet 24. oktober 1996<sup>196</sup> hadde klare budskap, som referert i kapittel 3.1.2.<sup>197</sup> Programstyret, ved dets leder Øystein Hov, besvarte dette brevet med en plan for utarbeidelse av en prosjektbeskrivelse allerede 11. november 1996. Planen, som for første gang benyttet betegnelsen «Regklim» (riktignok senere stavet RegClim i tråd med prosjektbeskrivelse på engelsk), var utviklet i et styremøte 10 dager før brevetts dato og senere i samråd med nestlederen, Anton Eliassen, som fra årsskiftet 1996–97 ble leder for det da nyoppnevnte programstyret.<sup>198</sup>

### 3.3.2.2 Norsk klimamodellering før RegClim

Selv om modellberegninger av klimavariasjoner og endringer var lite omfattet i den første fasen av KO-programmet, var de geofysiske instituttene ved universitetene i Oslo og Bergen involvert i klimamodellering. Ved UiO hadde Arne M. Bratseth og Dag Bjørge eksperimentert med atmosfæriske prosessstudier ved såkalte Cess og Potter-eksperimenter med den globale atmosfæremodellen ved ECMWF, men med spinkle resultater.<sup>199</sup> Slike eks-

196 Pressemelding fra MD 4. oktober 1996: «Meir til miljøretta forskning i 1997». Brev fra MD til Norges forskningsråd 24. oktober 1996, ref. 96/ -ILD Bno.

197 Brev fra MD til Norges forskningsråd 24. oktober 1996, ref. 96/ -ILD Bno.

198 I januar 2001 ble KO-programmet erstattet av et nytt program («KlimaProg») med Frode Stordal (NILU og UiO) som leder. I januar 2004 ble KlimaProg slått sammen med programmene for forskning på klimaeffekter og polarklima til «NORKLIMA» med Anton Eliassen som leder, og fra januar 2006, Eli Aamot (Statoil).

199 Bjørge, D. & Bratseth, A.M. (1993). *The effect of cumulus parameterisation on model climate sensitivity*. Institute Report Series, No. 85, Institute of Geophysics, University of Oslo. 17 sider.

perimenter var nyttige siden de med relativt lite regnekraft tillot å sammenligne virkningen av ulike numeriske beskrivelser av fysiske prosesser i atmosfæren, for eksempel i skyer, på den beregnede klimafølsomheten ved endret drivhuseffekt.

UiOs kompetanse på klimamodellering ble styrket da Jón Egill Kristjánsson (1960–2016) ble førsteamanuensis (og senere professor) ved UiO, etter to år som forsker ved Los Alamos National Laboratory i USA. Der hadde han etablert samarbeid med flere forskere innen modellering av skyers mikrofysikk,<sup>200</sup> med særlig tilknytning til den globale klimamodellen CCM (Community Climate Model) ved National Center for Atmospheric Research (NCAR). Spesielt var kontakten med P.J. Rasch ved NCAR av stor betydning, og sammen med ham utviklet Kristjánsson et skjema for parameterisering av skyer i klimamodeller som siden ble brukt i flere CCM-versjoner i over 10 år.<sup>201</sup>

Kontakten med NCAR var også sentral i det ene av prosjektene med klimamodellering som var finansiert av KO-programmet 1995–98. Prosjektet omhandlet effekter av aerosolpartikler på solstråling og skyer og ble ledet av Trond Iversen ved UiO. Interessen for problemstillingene kom etter tidligere studier av arktisk dis utført ved Norsk institutt for luftforskning (NILU)<sup>202</sup> og hemisfærisk transport av partikkelforurensning<sup>203</sup> ved Meteorologisk institutt. Aerosoler, skyer og klima har vært en sentral del av arbeidet med klimamodellering ved Meteorologisk institutt, UiO og CICERO siden midten av 1990-tallet.

Under Nordisk ministerråds miljøforskningsprogram 1993–96 ble et viktig prosjekt med fokus på klimamodellering finansiert. Prosjektet ble

---

200 For eksempel: Kristjánsson, J.E. (1994). Tests of a new cloud treatment in an atmospheric general circulation model. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 77, 23–32, [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(94\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0167-2789(94)90125-2)

201 Rasch, P.J. & Kristjánsson, J.E. (1998). A comparison of the CCM3 model climate using diagnostic and predicted condensate parameterizations. *J. Climate*, 11, 1587–1614.

202 Iversen, T. (1989). Numerical modelling of the long-range atmospheric transport of sulphur dioxide and particulate sulphate to the Arctic. *Atmos. Environ.*, 23, 2571–2595.

203 Iversen, T. & Tarrasón, L. (1995). *On climatic effects of arctic aerosols*. Institute Report Series, No. 94. Department of geophysics, Univ. of Oslo, Norway. 30 pp.  
og: Iversen, T., Kirkevåg, A. & Seland, Ø. (1997). *Hemispheric-scale modelling of sulphate and black carbon and their direct radiative effects*. Presented at NATO/CCMS ITM on Air Pollution Modelling and its Application, Clermont-Ferrand, France, June 1997.

ledet av Erland Källén, professor ved Stockholms universitet (MISU), og brukte akronymet NOCLIMP (Nordic Group of Climate Modellers).<sup>204</sup> Fra Norge var Nils Gunnar Kvamstø ved UiB med som postdoc, mens Kristjánsson ved UiO var assosiert. Prosjektet hadde valgt å satse på den franske versjonen av den globale atmosfæremodellen som ble brukt til værvarsling ved Det europeiske værsenteret (ECMWF): Arpège/IFS. Viktige formål med prosjektet, slik det var formulert i sluttrapporten fra 1999, var å bidra til å utvikle parameteriseringsskjemaer for generelle sirkulasjonsmodeller (GCM) for atmosfæren. Stråling og skyer ble vektlagt med formål å redusere usikkerheter i modellberegninger av dagens klima og simuleringer av klimaendringer. To grunner ble anført for å velge Arpège/IFS som modellverktøy: Programkoden for den adiabatisk delen fulgte standarden ved ECMWF, og det var allerede etablert et modellsamarbeid mellom nordiske land og den franske værtjenesten innenfor HIRLAM om korttids numerisk værvarsling og som også omfattet utveksling av programvare.

Kvamstø var særlig involvert i å ta i bruk et nytt skyskjema (av Sundqvist-type) med vekselvirkning med modellens strålingsberegninger (kalt «Morcrette» etter forskeren som utviklet skjemaet). Resultatene ble rapportert å gi viktige forbedringer i beregnet storskala klima i atmosfæren, men publisering av resultatene ble utsatt under review-prosessen, da det ble oppdaget at skjemaet ikke hadde tilstrekkelig global bevaring av vannsubstansen over lang tid. Istedenfor å korrigere skjemaet for dette og sende inn oppdatert artikkel, besluttet prosjektlederen Källén å anvende det nye skjemaet til Rasch og Kristjánsson og som fra erfaringene med NCAR-modellen CCM, hadde demonstrert gode bevaringsegenskaper. Dette ble ikke ferdig til publisering i prosjektet.<sup>205</sup>

Gjennom sin tilknytning til NOCLIMP utviklet Kristjánsson i samarbeid med en engelsk og en amerikansk kollega et nytt skjema for beregning

204 Nordic Environmental Research Programme for 1993–1997. Final Report and self-evaluation. TemaNord 1999:548. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1999. 262 sider. Om NOCLIMP: sidene 56–58.

205 Kvamstø formulerte i februar 2022 dette slik i en e-post (lett redigert): Jeg identifiserte at feilen lå i måten fordampningen av regn ble behandlet på, og valget sto mellom å debugge videre eller gjøre noe annet. Da valgte Erland (prosjektlederen) å prøve Rasch-Kristjánsson i stedet, men prosjektet gikk mot slutten og den løsningen førte heller ikke fram. I ettertid ser jeg at opprinnelsen til miseren lå i at en valgte en implementert versjon av Sundqvist-skjemaet fra HIRLAM der skjemaet virket godt, men konserveringsegenskapene betyr lite.

av strålingsegenskaper for iskrystaller i skyer. Dette viste seg å redusere en kjent systematisk feil i den øvre tropiske troposfære («cold bias»)<sup>206</sup> i flere globale klimamodeller.

Helge Drange tok sin PhD<sup>207</sup> på studier av karbonets syklus i havet, og benyttet en fullskala fysisk havmodell som han utvidet med beregninger av prosesser som påvirker omsetningen av karbon oppløst i havvann. Dranges arbeid ved Nansensenteret for miljø og fjernmåling ble finansiert blant annet av Nordisk ministerråd. Han hadde et toårig postdoc-prosjekt 1994–95 finansiert av KO-programmet som var det andre av programmets til da to prosjekter om prosesser i klimamodeller. Modellen han arbeidet med, var en versjon av MICOM (Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model<sup>208</sup>),<sup>209</sup> som er velegnet til å holde rede på individuelle vannmasser der blandingsprosesser ikke er dominerende, slik de er i blandingslaget øverst mot atmosfæren.

Både Dranges arbeid med MICOM, Kvamstøs arbeid med Arpège/IFS og Kristjánssons og Iversens arbeid med NCAR CCM ble viktige grunnlag for de kommende satsingene på klimamodellering de påfølgende tiår i Norge.

Innen regional klimamodellering var det liten aktivitet i Norge før Reg-Clim-prosjektet. Det hadde imidlertid vært betydelig vitenskapelig produksjon og operasjonell erfaring med modeller for værvarsling over flere tiår ved Meteorologisk institutt og ved de geofysiske institutter ved UiO og UiB. Dette er dokumentert i en egen artikkel i denne boken. I 1996/1997 var Meteorologisk institutt aktivt med i det opprinnelig nordeuropeiske HIRLAM-programmet som var et samarbeid mellom flere meteorologiske institutter

---

206 Kristjánsson, J.E., J.M. Edwards & D.L. Mitchell (1999). A new parameterization scheme for the optical properties of ice crystals for use in general circulation models of the atmosphere. *Phys. and Chem. of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosph.*, 24, 231–236, [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(98\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(98)00043-4)

og: Kristjánsson, J.E., J.M. Edwards & D.L. Mitchell (2000). Impact of a new scheme for optical properties of ice crystals on climates of two GCMs. *J. Geophys. Res.*, 105, 10063–10079, <https://doi.org/10.1029/2000JD900015>

207 Drange, H. (1994). *An isopycnic coordinate carbon cycle model for the North Atlantic and the possibility of disposing of fossil fuel CO<sub>2</sub> in the Ocean*. Avhandling (dr.scient.) – Universitetet i Bergen.

208 Bleck, R. & Smith, L. (1990). A wind driven isopycnic coordinate model of the North and equatorial Atlantic Ocean: 1. Model development and supporting experiments, *J. Geophys. Res.*, 95, 3273–3285. <https://doi.org/10.1029/JC095iC03p03273>

209 Drange, H. (1996). A 3-Dimensional Isopycnic Coordinate Model of the Seasonal Cycling of Carbon and Nitrogen in the Atlantic Ocean, *Phys. Chem. Earth*, 21(5–6), 503–509.

i Europa (som siden 2021 er utvidet i et forpliktende samarbeid, ACCORD, med Météo-France og flere land i Sentral-Europa). Foruten å bidra vitenskapelig til å utvikle prosessbeskrivelsene i modellen, bidro Meteorologisk institutt med viktige tekniske løsninger for å utnytte den tidens datamaskinteknologi, slik som parallellisering av programkoden.<sup>210</sup> Ved Max Planck Institute for Meteorology i Hamburg var det konfigurert en versjon av HIRLAM som egnet seg til å kjøre i klimamodus for nedskalering av grovskala globale modellberegninger, og som også var i bruk ved det danske meteorologiske institutt. Meteorologisk institutt kjørte også operasjonelle modeller for varsling av havtilstand (bølger og vannstand) (se kapittel 3.3.6) og det var også stor aktivitet innen dynamisk havmodellering i nære havområder. Det var derfor et godt grunnlag for regional klimamodellering for norske områder i 1996/97.

Meteorologisk institutts kompetanse innen opprettholdelse og analyser av lange observasjonsrekker for temperatur og nedbør er vel dokumentert i et eget kapittel i denne artikkelen. Uten slike klimadata vil klimamodellering, globalt eller regionalt, være som å operere i et vakuum. Dataene trengs for å kalibrere og kvalifisere modellberegninger, men utgjør også et grunnlag for statistisk analyse av regionale og lokale klimaforhold og sammenhenger mellom slike og storskala mønstre. Tradisjonelle klimadata og innovative anvendelser av dem i empirisk-statistiske modeller, var også et viktig grunnlag for å starte RegClim i 1996/97.

### 3.3.2.3 Regional klimamodellering og nedskalering i andre land

Dynamisk nedskalering med regionale atmosfæriske klimamodeller ble tidlig gjort ved NCAR med en versjon av modellen som den gang het MM4<sup>211</sup>. De gjorde vurderinger av hvordan modellområdets størrelse, hyppigheten av å oppdatere data ved områdets randsone og ulikheter mellom fysiske parameteriseringer mellom den globale og den regionale modellen påvirket systematiske feil i de nedskalerte beregningene med regional klimamodell. I første omgang kom man til at kvaliteten ved informasjonen tilført gjennom

210 Skålin, R. & Bjørge, D. (1997). Implementation and performance of a parallel version of the HIRLAM limited area atmospheric model. *Parallel Computing*, 23, 2161–2172.

211 Giorgi, F. & Bates, G.T. (1989). On the climatological skill of a regional model over complex terrain. *Monthly Weather Rev.*, 117, 2325–2347.

dataene på rendene, var av stor betydning.<sup>212</sup> Forskere ved Hadley-senteret ved UK MetOffice benyttet en klimamodellversjon av deres værvarslingsmodell (Unified Model), med samme fysiske parameteriseringer som i deres globale atmosfæremodell, til videre studier av betydningen av laterale randdata og områdestørrelse.<sup>213</sup> Deres a priori krav til å bruke regionale klimamodeller til dynamisk nedskalering av globale modellberegninger ga følgende tredelte konklusjon:

(1) the simulated climate of the GCM must be realistic over the region of interest; (2) the RCM domain must be sufficiently small that the synoptic circulation does not depart far from that of the driving GCM, in order to maintain physical consistency with the GCM solution outside the RCM domain; and (3) the domain must be sufficiently large that features in the RCM on scales finer than those skillfully resolved by the GCM are allowed to develop freely over the region of interest.

Den delen av konklusjonen som førte til at det synoptiske klimaet beskrevet av nedskalerte data ikke skulle avvike vesentlig fra det som ble beskrevet av den globale modellen, var ikke ukontroversiell. Andre ville hevde at formålet skulle være at nedskalerte data skal kunne gi en bedre klimabeskrivelse enn de globale dataene også for de romlige skalaene som en global modell beskriver.<sup>214</sup>

En måte å sikre en sømløs beskrivelse av det atmosfæriske klima på alle romlige skalaer ved regional nedskalering, er å benytte toveis nesting. I énveis nesting brukes informasjon på de åpne rendene fra en global modellberegning som er gjort på forhånd, mens i toveis nesting kan informasjon fra den høyoppløste regionen også påvirke de globale dataene. Teknikken var godt kjent fra numerisk værvarsling med modeller som bruker høyere opp-

212 Anthes, R.A., Y.H. Kuo, E.Y. Hsie, S. Low-Nam & T.W. Bettge (1989). Estimation of episodic and climatological skill and uncertainty in regional numerical models. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 115, 763–806.

213 Jones, R.G., Murphy, J.M. & Noguer, M. (1995). Simulation of climate change over Europe using a nested regional climate model. Part I. Assessment of control climate including sensitivity to location of lateral boundaries. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 121, 1413–1449.

214 For eksempel hevdet Bennert Machenhauer (MPI/DMI) dette. Han var faglig rådgiver i RegClims første fase.

løsning i et fokusert delområde. Météo-France utviklet en versjon av sin globale atmosfæriske klimamodell, Arpège/IFS, med slikt fokus.<sup>215</sup> Kriteriene for vurdering av klimaberegninger er imidlertid annerledes enn for værvarsling. Informasjon fra de globalt koblede beregningene vil dessuten kun skje gjennom bakkens egenskaper, og tidsskrittets lengde for beregningene styres av den høye oppløsningen i fokusområdet.

Danmarks meteorologiske institutt (DMI) hadde hatt en betydelig virksomhet med regional klimamodellering og nedskalering av globale klimaberegninger allerede i noen få år. Dette kom i stand gjennom et nært samarbeid med klimasenteret ved Max Planck-instituttet (MPI) for meteorologi i Hamburg. Bennert Machenhauer, opprinnelig ved Københavns Universitet, var en sterk fagperson innen dynamisk meteorologi og atmosfæremodellering, og ble et viktig bindeledd da han ble ansatt ved MPI. Ved DMI var Jens H. Christensen sentral og bidro til å utvikle den da rådende værvarslingsmodellen til en regional klimamodell, HIRHAM.<sup>216</sup> Gjennom samarbeidet med MPI der Lennart Bengtsson var direktør, var DMI også involvert i global klimamodellering. I et tidlig EU-prosjekt ble flere regionale klimamodeller sammenlignet ved å nedskalere storskala analyser av observasjoner, også omtalt som nedskalering av perfekte randdata.<sup>217</sup>

Sverige hadde i årene 1984–1990 hatt de politisk kontroversielle «löntagarfond» som ble bygget opp gjennom at en brøkdel av aksjeselskapers årlige utbytte skulle tilgodeses slike fond som skulle komme bedriftenes lønnstager til gode. Disse ble avvirket av den svenske regjering i 1994, og det ble bestemt at midlene skulle tilfalle frittstående forskningsstiftelser i Sverige. Ett av disse, MISTRA, skulle dekke miljøstrategisk forskning,<sup>218</sup> og en av de første satsingene var regional klimamodellering. Dette forskningsprogram-

215 Déqué, M. & Piedelievre, J.P. (1995). High resolution climate simulation over Europe. *Climate Dynamics* 11, 321–339. <https://doi.org/10.1007/BF00215735>

216 Christensen, J.H., O.B. Christensen, P. Lopez, E. van Meijgaard & M. Botzet (1996). The HIRHAM4 regional atmospheric climate model. Scientific Report 96-4, Danish Meteorological Institute, 51 pp.

og: Christensen, O.B., J.H. Christensen, B. Machenhauer & M. Botzet (1998). Very High-Resolution Regional Climate Simulations over Scandinavia – Present Climate, *J. Climate*, 11, 3204–3229.

217 Christensen, J.H., Machenhauer, B., Jones, R.G., Schär, C., Ruti, M., Castro, M. & Visconti, G. (1997). Validation of present-day regional climate simulations over Europe: Lam simulations with observed boundary conditions. *Clim. Dyn.*, 13, 489–506.

218 <https://www.mistra.org/om-mistra/historien-bakom-mistra/>

met ble SWECLIM,<sup>219</sup> som i starten ble ledet av Erland Källén ved MISU og senere av Markku Rummukainen ved SMHI. Programmets aktive periode som varte fra høsten 1997 til midten av 2003,<sup>220</sup> omfattet dannelsen av Rossbysenteret for klimaforskning ved SMHI i Norrköping (Meteorologisk institutts søsterinstitutt i Sverige).

SWECLIM startet aktivt arbeid omtrent samtidig med RegClim, koordinerte forskningsbidrag fra flere svenske institusjoner på lignende vis som RegClim gjorde i Norge, men prioriterte sterkere å regionalisere globale klimaberegninger. Det var også spesielt viktig for dem å beregne hydrologiske konsekvenser av de globale klimaendringene for svenske vassdrag. Oseanografiske og andre prosesser på større skala som kunne være viktige for Skandinavia klima, ble ikke vektlagt fra starten<sup>221</sup> slik de ble i RegClim.

Bruk av statistikk for å tolke globale, grovskala klimaberegninger til regionalt og lokalt klima er et alternativ bygget på et vesentlig annerledes grunnlag enn regional klimamodellering. Tankegangen bak tilnærmingen knytter seg til at det klima man merker, er det som erfares lokalt der man oppholder seg og ikke globalt. Dette er også gammel erkjennelse fra numerisk værvarsling der vakthavende meteorologer har «oversatt» eller tolket storskala beregninger til opplevd vær. Det har også vært benyttet statistiske metoder, såkalt MOS-teknikk (Model Output Statistics) for det samme, med en underliggende antagelse om at storskala beregninger inneholder nøkkelinformasjon om lokale forhold som kan ekstraheres ved bruk av statistikk. Videreutvikling av MOS eller nye empirisk-statistiske teknikker for nedskalering av globale klimaberegninger, var foreslått av flere i god tid før RegClim.<sup>222</sup> Viktige for-

219 Rummukainen, M., M.S. Bergström, G. Persson, J. Rodhe & M. Tjernström (2004). The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A Review. *AMBIO*, 33, 176–182.

220 Rummukainen, M. and the SWECLIM participants (2003). The Swedish regional climate modeling program, SWECLIM, 1996–2003. Final report. RMK No 104, SMHI, Norrköping, Sverige. 47 sider.

221 Personlige kommentarer av Erland Källén i samtaler med Iversen ved et besøk til MISU i september 1997.

222 Karl, T.R., Wang, W.-C., Schlesinger, M.E., Knight, R.W. & Portman, D. (1990). A method of relating general circulation model simulated climate to the observed local climate. Part I: Seasonal statistics. *J. Climate*, 3, 1053–1079.

og: Wigley, T.M.L., Jones, P.D., Briffa, K.R. & Smith, G. (1990). Obtaining subgrid-scale information from coarse-resolution general circulation model output. *J. Geophys. Res.*, 95, 1943–1953.

og: von Storch, H., Zorita, E. & Cubasch, U. (1993). Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *J. Climate*, 6, 1161–1171.



delers med disse metodene er at de nesten ikke krever regnemaskinkraft sammenlignet med numeriske modeller, og at man kan nedskalere helt ned til lokalt nivå.

### 3.3.3 RegClim-prosjektets gjennomføring og resultater<sup>223</sup>

#### 3.3.3.1 Søknadsprosesser og prosjektets faser

I 1996 var det altså betydelig vitenskapelig framgang internasjonalt innen numeriske modeller av jordas klima og tolkning av deres resultater. Mens det var solide norske bidrag innen klimatologisk tolkning av observasjonsdata, besto norsk klimamodellering av spredt innsats av enkeltforskere uten sterk institusjonell støtte eller langsiktig finansiering. Disse spredte bidragene sammen med den solide norske status i numerisk varsling av vær og havtilstand i vår region, gjorde imidlertid at tiden var godt moden for en rask etablering av norsk kompetanse og kapasitet basert på klimamodellering og jordsystemtankegang.

#### **Triaden-møtet 13.–14. mars 1997**

Det nye styret for KO-programmet fra januar 1997 ledet av Anton Eliassen måtte raskt få etablert et prosjekt i tråd med de nye bevilgningene til regionale klimamodeller. På bakgrunn av den forrige komiteens prosjektbeskrivelse av 27. desember 1996,<sup>224</sup> ble norske fagmiljøer invitert til et planleggingsmøte på Triaden hotell i Lørenskog 13.–14. mars 1997. For første gang møttes de norske forskerne som programstyret mente da hadde aktuell kompetanse for det planlagte prosjektet. Foruten programstyrets sju medlemmer, hvorav tre med relevant kompetanse for prosjektet, var det 21 deltakere på møtet.

Forventningene til prosjektet fra forvaltningens side ble presentert av Norges forskningsråd og Statens forurensningstilsyn (nå Miljødirektoratet).

223 Mye informasjon om RegClim er fortsatt tilgjengelig (mai 2022) ved å søke på nettet. Særlig anbefales prosjektets opprinnelige webside (<https://projects.met.no/regclim/>).

224 Regional klimautvikling under global oppvarming. Prosjektbeskrivelse utarbeidet av programstyret for klima- og ozonforskning, datert 27.12.1996. 7 sider. Oversendt Miljøverndepartementet i brev av 10.01.1997 fra Norges forskningsråd, v/programstyrets rådgiver K.B. Mathisen (ref. 96/04497).

Det var foredrag fra fagmiljøene (NILU, Meteorologisk institutt, UiO, UiB, NERSC, Havforskningsinstituttet); atmosfæriske modeller, oseanografiske modeller, historiske data om klima, og regionale budsjetter ble diskutert i grupper og presentert og diskutert i plenum og oppsummert.

Møtet lot interesser og realistiske muligheter for gjennomføring bli diskutert åpent mellom deltagerne.<sup>225</sup> Minst diskusjon var det om metodene for regionalisering av framskrivinger av globalt klima (Norden med deler av Arktis og tilhørende havområder). Det syntes opplagt at Meteorologisk institutts kompetanse på numerisk værvarsling og statistisk analyse av klimadata måtte komme til anvendelse.

Det var også bred enighet om to forskningstemaer av særlig viktighet pga. betydelig usikkerhet, sterk norsk kompetanse eller Norges geografiske beliggenhet. Det ene var om drivmekanismene bak og mulige endringer i de varme overflatestrømmene i De nordiske hav. Den observerte temperaturøkningen i dypet under værskipet «Polarfront» i Norskehavet, gjorde dette til et opplagt tema med tyngdepunkt i Bergen (UiB, Havforskningsinstituttet, NERSC) og blant oseanografene ved Meteorologisk institutt. Det andre gjaldt kobling mellom klima og kortlivede luftforurensninger som omfattet bakkenært ozon og særlig aerosolpartiklers vekselvirkning med solstråling og skyer. 1980-tallets forskning på arktisk dis indikerte at sotpartikler blandet med sulfat øker absorpsjonen av solstråling over lyse flater, mens sulfatpartikler over mørke kontinenter øker refleksjonen og har motsatt effekt.<sup>226</sup> Norges beliggenhet mellom disse regionale kontrastene, usikkerhet om betydningen og sterk kompetanse ved UiO, NILU og til dels Meteorologisk institutt, gjorde dette til et opplagt tema.

Møtet diskuterte også å inkludere modellering av paleoklima og budsjetter for flere strålingsaktive gassers påvirkning av klima. Programstyrets leder tok imidlertid til orde for at dette var noe KO-programmet eventuelt måtte ta i andre sammenhenger.

---

225 Av denne beskrivelsens forfatter.

226 Den nyeste referansen for dette i mars 1997, var et akseptert manus for en artikkel, som hadde en forenklet behandling sulfat og sot: J.M. Haywood, D.L. Roberts, A. Slingo, J.M. Edwards & K. Shine (1997). General Circulation Model Calculations of the Direct Radiative Forcing by Anthropogenic Sulphate and Fossil Fuel Soot Aerosol. *J. Clim.*, 10, 1562–1577. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<1562](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<1562)

Det er viktig å ha klart for seg at disse to forskningstemaene ikke bare handlet om Norges geografiske plassering eller forskningsinteresser. Modelleringen av disse prosessene var mangelfulle og svært usikre i 1997. For eksempel hadde ingen av modellene som var brukt til globale klimaframskrivninger i andre hovedrapport fra FNs klimapanel (IPCC-1995), inkludert beregninger av aerosolers virkning på solstråling eller skyer. Prosessene var studert i dedikerte atmosfæremodeller, men ikke integrert i koblede klimamodeller. To av klimaframskrivningene hadde foreskrevet tall for direkte påvirkning av sulfatpartikler på refleksjon av solstråling, men ingen hadde med sot eller indirekte effekter på skyer. Videre hadde de fleste klimamodellene «flukskorreksjoner» av energitransport i havet. Dette måtte til for å unngå langsiktig avdrift i det beregnede klima i forhold til det som var observert. De fleste modellsentre som valgte å kjøre uten flukskorreksjoner, beregnet kunstige klimatrender, mens de som korrigerte, risikerte at beregnede klimaendringer var kunstig overstyrt. Flukskorreksjoner ville gjøre det vanskelig å trenge dypere inn i spørsmålet om arktisk dypvannsdannelse og varme overflatetemperaturer i De nordiske hav.

Uenighetene på møtet gjaldt valg av modellverktøy for å studere disse to temaene. At det ikke var mulig å raskt enes om ett felles modellverktøy, må forstås ut fra at det allerede var investert betydelig tid og arbeid med modellkoder og at ulike gode samarbeidsrelasjoner internasjonalt var etablert gjennom dette. Bergensmiljøet ønsket å satse på den franske atmosfæremodellen Arpège/IFS innenfor et etablert samarbeid med Météo-France, mens Oslo-miljøet (UiO) ønsket å fortsette med CCM (Community Climate Model) og bygge videre på samarbeidet med NCAR i USA. Det skal også nevnes at Arpège/IFS hadde innebygget en mulighet for å kjøres globalt med økt geografisk oppløsning i en valgt region (strukkede koordinater). Uenigheten om havmodeller hadde et litt annerledes skille. NERSC og UiB ønsket å bygge videre på sitt arbeid med MICOM-modellen, som var egnet til å følge vannmasser globalt. Meteorologisk institutt og dels Havforskningsinstituttet ville utnytte sine erfaringer med en versjon av POM (Princeton Ocean Model), kalt ECOM3D, som regional modell for varsling av havets «vær».

Å straks utvikle full kobling mellom hav og atmosfære regionalt eller globalt, ble ikke ansett som realistisk. For UiO var ikke dette umiddelbart viktig, siden forskningen handlet om prosesser i atmosfæren i en modell som allerede kunne kjøres fullt koblet med en havmodell ved NCAR. Bergensmil-

jøenes fokus på havsirkulasjonen gjorde at spørsmålet om kobling var viktigere. Det første programstyrets prosjektforslag av 27. desember 1996 foreslo å forenkle modelleringen av utveksling av varme, fuktighet og bevegelsesmengde mellom atmosfæren og havet. Med en vesentlig sjeldnere utveksling (f.eks. månedlig) enn ved full kobling ble dette omtalt som «kvasikobling».

Det bør nevnes at analysen av norsk status innen klimamodellering i prosjektforslaget – og som var vedlagt invitasjonen til Triaden-møtet – manglet en beskrivelse av UiOs aktiviteter med å inkludere aerosolpartikler og skyer i klimamodellen CCM i god kontakt med modellutviklere ved NCAR.<sup>227</sup> Til sammenligning beskrev analysen arbeidet ved UiB med Arp-ége/IFS og foreslo å bygge videre på dette sammen med «kvasikobling». Triaden-møtet ble en god anledning til å rette opp dette.

### Fase 1: 1997–1999

Triaden-møtet var i praksis starten på prosjektet RegClim, som skulle vare i nesten 10 år gjennom tre faser. Da programstyrets leder oppsummerte og avsluttet møtet, ble en gruppe av fire personer utpekt som kontaktpersoner for hvert sitt fagfelt. De skulle utarbeide fire søknader, én for hvert fagfelt, mens en overordnet søknad skulle koordinere. Gruppen ble kort etter formalisert med Trond Iversen som leder og kontakt for atmosfæremodellering, Bjørn Ådlandsvik som kontakt for havmodellering, Frode Stordal som kontakt for klimagasser og Eirik Førland som kontakt for historiske data og statistisk nedskalering.<sup>228</sup> Av praktiske årsaker ble Ådlandsvik senere erstattet av Lars Petter Røed.<sup>229</sup> Andre fagpersoner i de respektive fagfelt var oppfordret av KO-komiteen til å melde sine interesser til kontaktpersonene. Gruppen møttes flere ganger i tillegg til et større arbeidsmøte på Highland hotell på Geilo der antatte bidragsyttere til prosjektet deltok. Det ble enighet om én felles søknad med åtte hovedoppgaver formulert slik at ett prosjekt koordinerte fire delsøknader.

227 For eksempel: Rasch, P.J. & Kristjánsson, J.E. (1998). A comparison of the CCM3 model climate using diagnostic and predicted condensate parameterizations. *J. Climate*, 11, 1587–1614.

228 Invitasjon til å søke om forskningsmidler til forskning om «Regional klimautvikling under global oppvarming». Brev datert 21. mars 1997 til alle deltakere på Triaden-møtet fra KO-programstyret. Ref.: EMD/SW/N-95102.

229 Brev fra KO-programstyret av 7. april 1997. Kopi av dette er p.t. ikke funnet.

Søknaden ble levert Forskningsrådet 15. mai 1997 fra Meteorologisk institutt ved direktør Arne Grammeltvedt, på vegne av seks institusjoner (Meteorologisk institutt, NILU, NERSC, HI, Geofysisk institutt UiB, Institutt for geofysikk UiO). Det ble søkt for perioden 1. juli 1997 til 31. desember 2001. Programstyret behandlet søknaden 5. juni 1997. Etter en omarbeiding av de fire del søknadene til én felles prosjektbeskrivelse for RegClim, fattet programstyret vedtak om finansiering av en første fase fram til 31. desember 1999. Forutsatt positiv evaluering av fase 1, ville prosjektet bli invitert til å søke om en fase 2 av to års varighet.

Trond Iversen (UiO og Meteorologisk institutt) var prosjektleder med Sigbjørn Grønås (UiB) og Eivind Martinsen (Meteorologisk institutt) som assisterende og Leiv Håvard Slørdal som faglig sekretær, fra januar 1998 var Torunn Berg faglig sekretær, deretter Britt Ann K. Høiskar fra slutten av 1999 og Chris R. Lunder fra høsten 2001. De faglige sekretærene var ansatt ved NILU og var aktive forskere og bidro betydelig til den faglige styringen av prosjektet.

To overordnede mål for prosjektet var formulert:

- to estimate probable changes in the regional climate in Northern Europe, bordering sea areas and major parts of the Arctic («our region»), given a global climate change,
- to quantify, as far as possible, uncertainties in these estimates, inter alia, by investigating the significance of regional scale climate forcings pertaining specifically to our region.

Åtte hovedoppgaver (Principal Task; PT) ble formulert til å bidra til ett eller begge av de overordnede målene. Hver PT hadde en hovedansvarlig for gjennomføring (PI):

- PT1: Atmospheric Regional Climate Modelling. (PI: Thor Erik Nordeng, Meteorologisk institutt)
- PT2: Regional circulation modelling of the Nordic Seas. (PI: Helge Drange, NERSC)
- PT3: Statistical Downscaling. (PI: Eirik Førland, Meteorologisk institutt)
- PT4: Coupling Atmospheric Models with Oceanic Regional Circulation Model. (PI: Nils Gunnar Kvamstø, UiB)

- PT5: Cloud modelling and Indirect Aerosol Effects. (PI: Jón Egill Kristjánsson, UiO)
- PT6: Direct Climate Effects of Regional Contaminants. (PI: Frode Stordal, NILU)
- PT7: Parameterization of sea-ice. (PI: Lars Petter Røed, Meteorologisk institutt)
- PT8: Data for Model Evaluation. (PI: Knut Arne Iden, Meteorologisk institutt).

Allerede i oktober 1998 ble det søkt om en utvidelse av prosjektets fase 1. Bidragene til det andre overordnede målet ble søkt styrket ved å tilføre PT5 og PT6 ett forskerårsverk per år og PT4 (med styrket link til PT1) med 1,5 årsverk per år fra 1. januar 1999. Utvidelsen ville dra nytte av en faglig utvikling innen representasjon av aerosolpartiklers fysiske og kjemiske egenskaper i klimamodeller, med vekt på bedre beregninger av den indirekte effekten via skyer. Videre var tiden moden for å gi opp kvasikobling i studiene av havets innvirkning på vår regions klima, og satse på full kobling med programsystemet OASIS.<sup>230</sup> Detaljerte prosessstudier skulle redusere behovet for flukskorreksjoner.

Ideene bak prinsippene diskutert ovenfor om akademia og institutter i klimamodellering<sup>231</sup> ble anvendt med tilpasninger. Innsats som kunne bringe nyttige resultater til allmennheten, brukere og beslutningstakere uten å måtte utvikle vesentlig ny kunnskap, ble i hovedsak lagt til Meteorologisk institutt og etter hvert Havforskningsinstituttet. Dette «navet» for produksjon av data og kompetanse om klimaendringer i vår region, omfattet PT1, PT3 og PT8. Metoder og verktøy var langt på vei til stede gjennom eksisterende kompetanse på tilgrensende felt. Personell måtte frigjøres, tekniske løsninger måtte organiseres og tilgang til inngangsdata måtte skaffes.

Allerede før prosjektsøknaden var ferdig, ble viktige aspekter ved det første overordnede målet avklart. Direktøren ved Max Planck-instituttet i Hamburg, Lennart Bengtsson, ble ekstern rådgiver for prosjektet. Deres

230 Dette var første steg mot det som senere ble Bergen Climate Model (BCM) som leverte globale beregninger til CMIP3 og senere til tredje hovedrapporten fra IPCC.

231 Randall, D.A. (1996). A university perspective on global climate modeling. *Bull. American Meteorol. Soc.*, 77, 2685–2690. November 1996.

modell for dynamisk nedskalering, HIRHAM, som også ble brukt ved Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), ble gjort tilgjengelig for prosjektet, og Meteorologisk institutt hadde allerede ekspertise på værvarslingsversjonen av modellen (HIRLAM). Inngangsdata med nødvendig tids- og rom-oppløste data for globale klimaframskrivninger var imidlertid uavklart. På den andre siden benyttet RegClim også vitenskapelig avanserte statistiske metoder til nedskalering (ESD) som krevde mindre mengde av inngangsdata til en modellkode som var teknisk enklere å håndtere enn f.eks. HIRHAM-koden. Det var derfor stor tro på at RegClim ville levere framskrivninger for vår regions atmosfæriske klima innen de første tre årene.

Det andre overordnede målet omfattet også aktiviteter der det fantes kompetanse, men denne var spinklere og knyttet til noen få forskere. Det var betydelige praktiske utfordringer knyttet til valg og bruk av modellverktøy, og gode ideer om prosesser måtte utvikles gjennom forskning. Man ville trenge hele prosjektperioden for å bygge kompetanse og utvikle vitenskapelig pålitelige resultater. I Osломiljøet var kjernen for disse aktivitetene i PT5 og PT6 (aerosoler, ozon, skyer) sentrert omkring Institutt for geofysikk ved UiO, NILU og til dels Meteorologisk institutt. I Bergen var modelleringskompetansen i PT2 og PT4 (marine prosesser, havstrømmer, hav-atmosfære-kobling) mer likelig fordelt mellom NERSC, Geofysisk institutt ved UiB og Havforskningsinstituttet, med viktige bidrag fra Meteorologisk institutt i PT7.

Brukere av produserte data og resultater fra RegClim var ikke med i prosjektet. RegClim hadde arbeidsmøter og jevnlig kontakt med akademia og institutter der RegClim-data ble brukt i forskningen. Mange forskere på klimavariasjoner og -endringer ble utdannet innen fagfelt som gjorde bruk av data fra RegClim. Forskerutdanning innen klimamodellering foregikk ved UiO og UiB, men ofte med støtteveiledere fra de andre instituttene i RegClim.

## **Fase 2: 1999–2001**

RegClims fase 1 og utvidelsen det siste året befestet strukturen og arbeidsmetodene i prosjektet. 15. juni 1999 ble en søknad om videreføring av prosjektet sendt til Forskningsrådet. Søknaden videreførte aktivitetene som da var i gang, siden søknaden for fase 1 hadde planer fram til og med 2001.

Vitenskapelige og tekniske framskritt økte ambisjonene for dynamisk nedskalering. HIRHAM kunne kjøres kontinuerlig over perioder på tretti år og ikke bare over bolker på fem år. I et frivillig bidrag fra Meteorologisk institutt ble det åpnet for å utvikle en forenklet modell for å beregne endring i havoverflatetemperatur, overflatebølger og hav-is. Men noen ambisjoner måtte nedjusteres. Kjemiske beregninger av bakkenært ozon måtte forenkles så mye for å kunne kjøres med den norske versjonen av NCAR-modellen (CCM-Oslo) at resultatene ble vitenskapelig ubrukelige.

Det ble søkt om ytterligere noe utvidelse av RegClim da Forskningsrådet lyste ut nye midler våren 2000. Samtidig måtte RegClim relateres til et nystartet koordinert prosjekt med fokus på hav og havmodellering (Norwegian Ocean Climate Project – NOClim) ledet av Peter Haugan ved UiB, en «spissforskningsgruppe» for atmosfærekjemi og klima (ChemClim) ledet av Ivar S.A. Isaksen ved UiO, og et servicesenter for norsk klimamodellering (NoSerC) ledet av Roar Skålin ved Meteorologisk institutt.

For RegClim sin del styrket dette ambisjonene om å studere prosessene i De nordiske hav ved hjelp av en fullt koblet Arpège/IFS-modell. Mens NOClim hadde betydelig innsats for å øke forståelsen av prosesser i havet, blant annet gjennom analyser av data fra ekspedisjoner, ville global og regional klimamodellering med forbedrede prosessbeskrivelser skje i RegClim.

Videre ble modellering av bakkenært ozon i CCM tatt inn igjen i RegClim med mindre forenklinger, men uten intensjon om å kobles til beregningene av aerosoler pga. begrenset tilgjengelig datakraft. Under empirisk-statistisk nedskalering tilbød Meteorologisk institutt seg å yte et frivillig bidrag for å legge til rette for studier av virkninger av klimaendringer med vekt på hydrologi.

Servicesenteret for klimamodellering (NoSerC) omhandlet spesielt organisering av tilgang til observasjonsdata, reanalyser og lagring av produserte resultater fra store beregninger. Dette gjorde at RegClims aktiviteter på observasjonsdata (PT8) kunne nedjusteres. Til gjengjeld startet en ny hovedoppgave, PT9: Advanced analysis and interpretation of climate model results and observations (PI: Inger Hanssen-Bauer, Meteorologisk institutt). I tråd med en anbefaling fra en ekspertvurdering ble det valgt å synliggjøre avanserte analyser i en egen hovedoppgave (PT9), men arbeidet med analysene skulle i vesentlig grad involvere dem som gjennomførte modellberegningene.



## Fase 2 – 2002

KO-programmet ble en del av Forskningsprogram om klima og klimaendringer (KlimaProg) i januar 2001. KlimaProgs styre<sup>232</sup> var ledet av Frode Stordal (NILU og UiO). Etter at RegClim var i gang, hadde KO-programmets styre startet opp ytterligere tre koordinerte prosjekter (NOClim, Nor-Past, COZUV) som alle skulle avsluttes ved utgangen av 2002, ett år etter RegClim. Av disse prosjektene var det kun NOClim som hadde betydelig interaksjon med RegClim.

Ved å avslutte de store koordinerte prosjektene samtidig kunne KlimaProgs styre bedre vurdere de koordinerte satsingene i forhold til den nye strategien.<sup>233</sup> RegClim ble derfor våren 2001 invitert til å søke om midler spesifikt for det ene året 2002. Det var strenge føringer for søknaden og det var ingen implisitt forpliktelse om å videreføre etter 2002.

I KlimaProgs styre var Ulla Hammarstrand fra Stockholms universitet (MISU) fagansvarlig for oppfølging av RegClim. Allerede i et møte den 3. april 2001 informerte hun RegClim-ledelsen om programstyrets føringer for en søknad, med signal om at det skulle styres mot en avslutning i 2002:

- a) initiate no new activities that may tie plans beyond 2002;
- b) it is a chance to finish delayed or prolong successful activities;
- c) further analyze results and write publications.

I et brev av 26. april 2001 inviterte KlimaProgs styre RegClim til å søke om aktiviteter for 2002 som ville redusere budsjettet med ca. 2 forskerårsverk sammenlignet med 2001. I RegClims felles faglige vårmøte i Bergen 7.–8. mai 2001 var det imidlertid enighet om å søke om samme pengebeløp som i 2001, slik at reduksjonen i årsverk kun ville være det som skyldtes inflasjon. Det ble argumentert med at en slik videreføring ville behandle RegClim som de andre tre koordinerte prosjektene i 2002. Med slik videreføring ville det være mulig å unngå nevneverdig reduksjon av prosjektets forskerårsverk.

Prosjektet hadde uforandret ledelse og overordnede mål for 2002, men to av hovedoppgavene (PT8 og PT9) var tatt ut, og det var noe omfordeling av de syv gjenværende:

232 KlimaProg – Research Programme on Climate and Climate Change.

233 KlimaProg – Forskningsprogram om klima og klimaendringer, Programplan 2002–2011. Norges forskningsråd, Miljø og utvikling. Oslo, januar 2001. 23 sider.

- PT1: Atmospheric dynamical downscaling. (PI: Thor Erik Nordeng, Meteorologisk institutt).
- PT2: Coupled dynamical downscaling and sea state modelling. (PI: Lars Petter Røed, Meteorologisk institutt)
- PT3: Empirical downscaling. (PI: Eirik Førland, Meteorologisk institutt)
- PT4: The role of the Nordic Seas: Atmosphere-Ocean feedback. (PI: Nils Gunnar Kvamstø, UiB)
- PT5: Numerical simulations of the climate state of the Nordic Seas and the adjacent oceans. (PI: Helge Drange, NERSC)
- PT6: Climate response to aerosols and aerosol-cloud interactions. (PI: Jon Egill Kristjánsson, UiO)
- PT7: Nonlinear chemistry and regional radiative forcing. (PI: Ivar S.A. Isaksen, UiO).

Nedskalering og regionalisering var dominert av Meteorologisk institutt, mens Bergensmiljøene dominerte studier av prosesser i De nordiske hav, og UiO dominerte studier av aerosoler og gassers klimapåvirkning. Hovedkontakt ved Havforskningsinstituttet under fase 1 og 2 var Bjørn Ådlandsvik. Havforskningsinstituttet var involvert både i regionalisering (PT2) og i studier av prosesser i De nordiske hav (PT4 og PT5), og bidro med tilgang til observasjonsdata i det tidligere PT8.

### **Fase 3: 2003–2006**

En fireårs fase 3 av RegClim ble planlagt og søkt om for 2003–2006. Prosjektets omfang ble redusert siden KlimaProgs styre ønsket å organisere noe av forskningen på atmosfæriske prosesser under det andre overordnede målet, i et nytt koordinert prosjekt. Dette var en slags parallell til NOClims prosessforskning for havet. Modellering av global og regional klimarespons forble i begge tilfeller under RegClim.

Etter evalueringen av de koordinerte prosjektene i 2002<sup>234</sup> ble prosjektet om stratosfære-ozon og UV-stråling (COZUV) avsluttet. Programstyret valgte å videreføre de klimarelevante delene av dette prosjektet sammen med

---

234 KlimaProg – Research Programme on Climate and Climate Change. Evaluation of the co-ordinated projects RegClim, NORPAST, COZUV and NOClim. Environment and Development the Research Council of Norway. 78 sider. NILU OR 31/2002.

prosessforskning på kjemisk aktive klimagasser og aerosolpartikler i et eget koordinert prosjekt. Dette nye koordinerte prosjektet – Aerosols, Ozone and Climate (AerOzClim) – ble ledet av Ivar S.A. Isaksen og omfattet videreføring av deler av den forskningen som i fase 2 (2002) var under PT6 og PT7. Modellering av klimarespons forble en del av RegClim, men begrenset seg til klimaeffekter av aerosolpartikler.

Et nytt og svært viktig element var Bjerknessenteret, som i januar 2003 fikk status som Senter for fremragende forskning (SFF). Denne etableringen var en sterk anerkjennelse av kompetansen og samarbeidsviljen i «Bjerknes-samarbeidet» fra høsten 1999.<sup>235</sup> I utgangspunktet var dette en intensjons-erklæring om klimaforskning mellom UiB, NERSC og Havforskningsinstituttet, og som gjennom SFF-statusen ble svært viktig for klimaforskningen i Bergen, Norge og, har det vist seg, for klimaforskningen i verden. Selv om Bjerknessenteret omfattet svært mye annet, ble senteret også en styrking av norsk klimamodellering.

Det hadde også stor betydning for RegClim da KlimaProg i januar 2004 ble samordnet med programmene for forskning på klimaeffekter og polar-klima. Dette ble et av Forskningsrådets få store program: Klimaendringer og konsekvenser for Norge (NORKLIMA).<sup>236</sup> NORKLIMA la et grunnlag for en mer direkte kontakt mellom RegClim, med sine beregninger av framtidig regionalt klima, og forskningsprosjekter på effekter av klimaendringer i Norge.

De to overordnede målene for fase 3 ble justert i forhold til tidligere faser. Første del nevner eksplisitt nytte for effektstudier, mens andre del fokuserer på å estimere usikkerhet:

- to produce scenarios for regional climate change suitable for impact assessments in Northern Europe, bordering sea areas and major parts of the Arctic (our region), given a global climate change;

235 Bjerknes-samarbeidet ble bekjentgjort gjennom en brosjyre som ble delt ut av deltagere fra instituttene i forbindelse med et møte 17. november 1999 med 150 deltagere: «Fakta grunnlaget og utfordringene i klimaforskningen», arrangert av Norges forskningsråds samarbeidsutvalg for klimaforskning på Radisson SAS Scandinavia Hotel i Oslo. (Rapport fra Norges forskningsråd, 88 s., Oslo, april, 2000).

236 <https://forskning.no/arktis-forskningsfinansiering-forskningspolitiske-saker/forskningsradet-samler-klimaforskningen/1063938>. Anton Eliassen (Meteorologisk institutt) ledet NORKLIMA fra januar 2004, og Eli Aamot (Statoil) fra januar 2006.

- to quantify their uncertainties due to choice of methods, global scenarios, and due to poorly understood processes influencing our region's climate, in particular those causing the warm and ice-free Nordic Seas, and the effects of aerosols.

I tråd med ordlyden i utlysningsteksten ble benevnelsen hovedmodul (forkortet fra engelsk til PM) brukt i fase 3:

- PM1: Atmospheric interpretation for regional climate. PI: Eirik Førland, Meteorologisk institutt.
- PM2: Regional interpretation for oceanic and Arctic climate. PI: Bjørn Ådlandsvik, Bjerknnessenteret og Havforskningsinstituttet.
- PM3: Global and regional significance of the Nordic Seas. PI: Nils Gunnar Kvamstø, Bjerknnessenteret.
- PM4: Climate response of regional contaminants. PI: Jón Egill Kristjánsson, UiO.
- PM5: Optimal forcing structures for atmospheric flows and regional climate predictability. PI: Trond Iversen, UiO.

Hovedkontakt ved Nansensenteret (NERSC) var Helge Drange som fortsatte å være viktig for totaliteten i RegClim, og spesielt til PM2 og PM3. De første fire modulene var videreføringer fra tidligere faser, mens PM5 var teoretiske studier av sammenhenger mellom perturbasjoner av ytre pådriv på atmosfæren og deres klimarespons. I løpet av de fire årene prosjektet varte, var det kun minimale justeringer.

Prosjektledelsen i RegClim – fase 3 var som i tidligere faser, men prosjektets faglige sekretær var Magne Lystad (Meteorologisk institutt). Prosjektet hadde i disse fire årene to faste rådgivere: Ulrich Cubasch, Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin, og Erland Källén, MISU, Stockholms universitet.

### 3.3.3.2 Samarbeid og møtevirksomhet

#### **Internt og nasjonalt**

RegClim var geografisk desentralisert og hadde opptil seks deltagende institusjoner. Jevnlige møter trengtes, og omtrent hver annen måned var det fysiske møter eller per telefon mellom de tre prosjektlederne og noen eller alle PI-ene. I tillegg var det som regel to allmøter per år.

Vårmøtene ble organisert som fagsymposier med inviterte internasjonale forskere. Som regel var det deltagere fra det danske klimasenter ved Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), fra Rossbysenteret ved SMHI og fra en eller to av de ledende europeiske sentrene for klimamodellering. Sentrale deltagere i de andre norske koordinerte prosjektene og noen ganger fra andre relevante norske forskningsinstitusjoner, ble regelmessig invitert. Representanter fra det til enhver tid sittende programstyret for klimaforskning (under varierende navn) fra Forskningsrådet og fra Miljøverndepartementet ble også invitert.

Høstmøtene var som regel interne med vekt på åpne diskusjoner om faglige og tekniske problemer, i tillegg til å planlegge framdriftsrapportene til Forskningsrådet.

### **Internasjonalt**

At faglig ledende internasjonale forskere ble invitert til vårmøtene, ga forskerne i RegClim mulighet for raskt å styrke de internasjonale kontaktene. Prosjektledelsen formaliserte dette med intensjonsavtaler (Letter of Intent) når slikt kunne bidra til å oppfylle prosjektets mål. Her er en ufullstendig oversikt over de viktigste internasjonale samarbeidspartnere gjennom hele eller deler av RegClims levetid:

- MPI – Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg
- SMHI – Rossby Centre og SWECLIM
- DMI – Danish Climate Centre
- FMI – Finnish Meteorological Institute
- CERFACS and Météo-France, Toulouse, France
- UK Meteorological Office and the Hadley Centre, UK
- Battelle Pacific Northwest National Laboratory, USA
- National Center for Atmospheric Research, NCAR, Colorado, USA
- Earth Science Centre, University of Gothenburg
- Museum of Comparative Zoology, Harvard University, USA
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Reading, UK
- KNMI, De Bilt, The Netherlands
- UoR, University of Reading, Department of Meteorology, Climate Analysis Group, UK

Samarbeidet med MPI, Rossbysenteret (Erland Källén og senere Markku Rummukainen) og Dansk klimasenter (Jens H. Christensen) startet allerede i løpet av 1997, og det ble raskt laget intensjonserklæringer med dem.

Kontakt med MPI gjennom dets direktør Lennart Bengtsson ble etablert allerede da søknaden for RegClims første fase ble skrevet våren 1997. Da RegClim var finansiert høsten 1997, besøkte prosjektledelsen MPI og det ble avtalt at Dag Bjørge, som hadde parallellisert koden for HIRLAM sammen med Roar Skålin (PARLAM),<sup>237</sup> skulle bidra til å parallellisere versjonen for klimaberegninger, HIRHAM, og RegClim og Meteorologisk institutt fikk tilgang til MPIs beregnede klimascenarier med full tidsoppløsning. RegClims hovedkontakt ved MPI for dette arbeidet var Michael Botzet. MPI var også interessert i tilgang til det tette norske nettverket av nedbørsobservasjoner.

Etter at de tre nordiske prosjektene hadde beregnet dynamiske nedskaleringer for hele eller deler av de nordiske områdene, ble det etablert et ad hoc-prosjekt – Nordic Ensemble of Climate Scenarios (NordEnsClim) – som i første omgang syntetiserte beregningene til et felles ensemble for antropogent endret klimastatistikk i Skandinavia.<sup>238</sup> Foruten deltagelse på hverandres prosjektmøter ble samarbeidet senere formalisert for treårsperioden 2001–2003, som et nettverk med arktisk fokus – Regional Earth System Modelling Network for the Arctic (RESMoNA)<sup>239</sup> – finansiert av Nordisk arktisk forskningsprogram (NARP) under Nordisk ministerråd. Det finske meteorologiske instituttet drev ikke klimamodellering den gang, men var interessert i tilgang på nedskalerte data for effektstudier.

De viktigste samarbeidspartnere for empirisk-statistisk nedskalering var Göteborgs universitet (Deliang Chen), DMI (Egill Kaas) og MPI (Hans

237 Skålin, R. & Bjørge, D. (1997). Implementation and performance of a parallel version of the HIRLAM limited area atmospheric model. *Parallel Computing*, 23, 2161–2172.

238 Christensen, J.H., Raisanen, J., Iversen, T., Bjørge, D., Christensen, O.B. & Rummukainen, M. (2001). A synthesis of regional climate change simulations – A Scandinavian perspective, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1003–6; og: Iversen, T. (2000). «NordEnsClim»: Et godt nordisk samarbeid om regionaliserte klimascenarier, *Cicerone*, 4/2000.

og: Rummukainen, M., Raisanen, J., Bjørge, D., Christensen, J.H., Christensen, O.B., Iversen, T., Jylha, K., Olafsson, H. & Tuomenvirta, H. (2003). Regional Climate Scenarios for use in Nordic Water Resources Studies. *Nordic Hydrology*, 34, 399–412, <https://doi.org/10.2166/NH.2003.0014>

239 RESMoNa har ingen webside lenger, men de tre nordiske prosjektene, NordEnsClim og RESMona refereres fylldig på sidene 39–46 i denne rapporten: [https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/212061/4663\\_200dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://niva.brage.unit.no/niva-xmlui/bitstream/handle/11250/212061/4663_200dpi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

von Storch). CERFACS (Laurent Terray) og Météo-France (Michel Déqué) og MPI var svært sentrale kontakter for utviklingen av Bergen Climate Model (BCM). Beregning av klimarespons av aerosoler og utviklingen av Oslo-versjonen av CCM og CAM, var NCAR (Phil Rasch) og Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) i Richland i USA (Steve Ghan). Modelleringen av aerosoler og klima har siden starten i 2003 bidratt til prosjektet AeroCom ledet av Michael Schulz. AeroCom er et bredt samarbeid om å evaluere kvaliteten til beregningene av aerosoler og deres effekt på klima i mange ulike modeller, basert på tilgang på tradisjonelle og avanserte observasjoner.<sup>240</sup> Kontaktene med ECMWF, KNMI, Hadleysenteret og UoR var klimafaglig mer generelle og knyttet til analyser og tolking av data fra observasjoner og beregninger. Det må nevnes at kontakten med Ulrich Cubasch (Freie Universität Berlin) ble svært nyttig for RegClims tredje fase, og Erland Källén (MISU) fulgte RegClim gjennom alle faser.

### **Programstyret, Forskningsrådet og fagmyndigheter**

Et drøyt år etter prosjektets oppstart ble prosjektlederen invitert til å fortelle om RegClim på et kontaktmøte mellom områdestyret for miljø og utvikling i Forskningsrådet og Miljøverndepartementets (MDs) ledelse (1. september 1998). Resultater fra prosjektet ble også presentert i et mer uformelt seminar for MD-ansatte noen år senere. Sammen med oversikten over RegClims problemstillinger og ambisjoner vakte de foreløpige resultatene – i hovedsak produsert av Jan Erik Haugen, Dag Bjørge, Eirik Førland og Inger Hansen-Bauer – betydelig begeistring. Departementsråd Harald Rensvik uttalte at prosjektet var godt i tråd med departementets forventninger og ønsker. Direktør Olav Orheim ved Norsk Polarinstitut sa imidlertid at prosjektet burde hatt sterkere fokus på havforskning, som han mente både var viktigere enn atmosfæreforskning for vår regions klima og hadde særlig sterk norsk kompetanse. Dette var synspunkter han senere ofte uttrykte, også i media og presse.<sup>241</sup>

<sup>240</sup> AeroCom styres nå (2022) fra Meteorologisk institutt, <https://aerocom.met.no/>

<sup>241</sup> Vi bør satse på hav i klimaforskning. Intervju med direktør for Norsk Polarinstitut, Olav Orheim, 23. april 1999, i forbindelse med en markering av 10 år med klima- og ozon-forskning ved Norges forskningsråd. Orheim var en viktig pådriver bak etableringen av det nasjonalt koordinerte prosjektet NOClim som startet i juli 2000.

Etter foredraget oppfordret ekspedisjonssjef Eldrid Nordbø<sup>242</sup> prosjektets fagfolk til å trappe opp sitt engasjement i den offentlige diskusjonen om klimaendringer og aktivt formidle kunnskap om klima. Dette var viktig for departementet, og prosjektledelsen og RegClims forskere tok dette raskt til følge.

På et møte i ved Polarinstituttet i Tromsø den 27. april 1999 i forbindelse med generalforsamlingen for International Arctic Science Committee (IASC), var lederen for SWECLIM (Erland Källén) invitert av Orheim for bl.a. å snakke om klimamodellering. Källén takket ja under forutsetning av at RegClim også ble invitert, og foredraget inkluderte RegClims foreløpige resultater.

I forbindelse med markeringen av 10 år med norsk klima- og ozonforskning (KO-programmet) i april 1999<sup>243</sup>, hadde RegClim en bolk med presentasjoner. Av de 21 foredragene på møtet var 8 av forskere fra RegClim.

De nye resultatene fra dynamisk og empirisk-statistisk nedskalering var viktige, og ikke minst Helge Dranges modellbaserte analyser om strømforhold og dypvannsdannelse i Atlanterhavet var av stor betydning.

På oppdrag av Kirke-, utdannings- og forskningsdepartementet (KUF) oppnevnte Forskningsrådet et toårig Samarbeidsutvalg for klimaforskning<sup>244</sup> våren 1998. Som et ledd i sitt arbeid arrangerte utvalget to konferanser med bred faglig deltagelse i november 1998<sup>245</sup> og november 1999<sup>246</sup>. Møtet i 1998 hadde ikke presentasjoner fra RegClim, men flere var aktive i diskusjonene. Dessuten hadde Bert Bolin, invitert som tidligere leder av IPCC, en rekke faglige anbefalinger som passet godt overens med RegClims arbeidsplan, og prosjektet ble behørig nevnt i oppsummeringen fra møtet som et viktig element i den framtidige klimaforskningen i Norge.

---

242 Nordbø ledet internasjonal avdeling i MD og hadde tidligere vært statssekretær ved SMK da Gro Harlem Brundtland var statsminister, og handels- og skipsfartsminister.

243 Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål. Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning de siste ti årene og viktige forskningsoppgaver i framtiden. Seminar 13.-14. april 1999, Klækken hotell, Hønefoss. NILU: OR 23/99, april 1999, 148 sider. ISBN: 82-425-1076-8.

244 Ledet av områdedirektøren for miljø og klima i Norges forskningsråd, Karin Refsnes.

245 Forskningsstrategisk konferanse om klimaforskningen i Norge. Holmenkollen Park Hotel Rica, 19. november 1998. Konferanserapport, Norges forskningsråd, Oslo, april 1999, 120 s.

246 Faktagrunnlaget og utfordringene i klimaforskningen. Radisson SAS Scandinavia Hotel, Oslo 17. november 1999. Konferanserapport, Norges forskningsråd, Oslo, april 2000, 86 s.



Til møtet i 1999 hadde utvalget laget en første versjon av en rapport om status og anbefalinger for videre klimaforskning i Norge. RegClims prosjektleder fikk til oppgave å gå kritisk gjennom delene som omhandlet forskningsutfordringer for prosesser i klimasystemet og klimamodellering til en paneldebatt med fem innledere sammen med bl.a. Olav Orheim.

Den endelige rapporten fra samarbeidsutvalget kom i september 2000.<sup>247</sup> Rapporten refererte flere steder til den gode framdriften i RegClim. To spissforskningsgrupper ble foreslått; én i Oslo («ChemClim») og én i Bergen til «Bjerknessamarbeidet» som var bekjentgjort med utdeling av en enkel brosjyre på konferansen i november 1999. Rapporten tok imidlertid ikke til følge anbefalinger om å styrke arbeidet med aerosoler og skyer i klimasystemet. I ettertid, når vi ser hvilken sentral rolle forskning på aerosoler, skyer og klima har fått i Norge og internasjonalt, må dette karakteriseres som en feilvurdering. Også Bert Bolin listet dette som et viktig forskningstema i analysen han presenterte på konferansen i november 1998.

Rapporten anbefalte å følge opp arbeidet til samarbeidsutvalget, men med sjeldnere rapportering. For eksempel ble det senere opprettet et Klimaforskningsutvalg som spilte en viktig rolle i oppfølgingen etter RegClims avslutning.<sup>248</sup>

De årlige klimakonferansene der miljømyndighetene var representert ble videreført. De ble i årene etter organisert av programstyret og området for miljø og klima i Forskningsrådet på steder som Bergen, Oslo og Lillehammer. RegClim bidro aktivt med foredrag og til diskusjonene på møtene.

### 3.3.3.3 Vitenskapelige resultater

En ganske fyldig oversikt over den vitenskapelige produksjon fra RegClim kan finnes på prosjektets nettsted.<sup>249</sup> I tillegg til publiserte vitenskapelige artikler finnes tekniske rapporter samt foredrag og presentasjoner. Etter prosjektets avslutning ble 12 RegClim-artikler samlet i en spesialutgave av *Tellus*.<sup>250</sup>

247 Klimaforskningen i Norge – Rapport fra Samarbeidsutvalg for klimaforskning 2000. Norges forskningsråd. Oslo, september 2000. 86 sider.

248 Nasjonal handlingsplan for klimaforskning. Styrking av strategisk helhet og langsiktighet i norsk klimaforskning. Rapport, Klimaforskningsutvalget 2006. 85 s., Oslo, aug. 2006.

249 Lenke til fase 1 og 2 som ikke er oppdatert siden 2007: [https://regclim.met.no/results\\_2002.html](https://regclim.met.no/results_2002.html) og fase 3: <https://regclim.met.no/results.html>

250 *Tellus*, 2008, 60, Nr. 3, s. 395–586. (<https://www.tandfonline.com/toc/zela20/60/3>).

Presentasjoner fra RegClims allmøter som egnet seg til foreløpig rapportering, ble samlet i General Technical Reports – GTR – og lagt ved framdriftsrapportene til Forskningsrådet.<sup>251</sup> Klimamodellering kan i lengre perioder preges av betydelige tekniske utfordringer. Hensikten med GTR-ene var å bidra til å opprettholde et vitenskapelig fokus også når det tekniske tok mye oppmerksomhet.

GTR-ene bidro uten tvil til at prosjektet produserte mange publikasjoner i gode tidsskrifter. Flere enn 75 slike publikasjoner ble utgitt helt eller delvis med bidrag fra RegClim i fase 3 (2003–2006), og publikasjoner av RegClims forskere ble brukt i den tredje (TAR, 2001) og fjerde (AR4, 2007) hovedrapporten fra IPCCs arbeidsgruppe 1, samt til Arctic Climate Impact Assessment (ACIA, 2004).<sup>252</sup> I tillegg til skriftlig publisering ble forskningsresultater fra RegClim regelmessig presentert på konferanser i foredrag og postere. Konferanser er møtesteder for uformelle diskusjoner og tilbakemeldinger midt i forskningsprosessen. Skriftlige publikasjoner krever mer systematisk gjennomarbeiding.

Da KlimaProgs fire koordinerte prosjektene ble evaluert av en internasjonal komité høsten 2002, ble blant annet følgende formulert om RegClim:<sup>253</sup>

The evaluation panel feels that RegClim has considerably strengthened Norwegian climate modeling research. Many parts of the project have produced research results that are internationally well visible and acknowledged. This is particularly true within the research areas statistical downscaling and radiative forcing due to greenhouse gases and aerosols.

Closer links between research groups in meteorology, oceanography and numerical modeling have been established. This is particularly true for the groups within Bergen. There seems to be less interaction between the scientific communities in Bergen and Oslo.

The dynamically based downscaling research has technically been successful, but there still remains much work to be done in the interpretation and use of results for impact studies.

251 GTR-9, den siste i serien fra RegClim, kan lastes ned fra: [https://regclim.met.no/rapport\\_9/Reg-Clim-GTR9.pdf](https://regclim.met.no/rapport_9/Reg-Clim-GTR9.pdf)

252 <https://www.amap.no/documents/doc/impacts-of-a-warming-arctic-highlights/792>

253 KlimaProg: Evaluation of the co-ordinated projects RegClim, NORPAST, COZUV and NOClim. Environment and Development, The Research Council of Norway. NILU OR 31/2002. 80 pp.

Komiteen hadde altså merket seg den betydelige produksjonen av publikasjoner fra gruppen ved Meteorologisk institutt innen empirisk-statistisk nedskalering, og var kjent med arbeidet ved Universitetet i Oslo og NILU på gasser, aerosoler og stråling. Mye av de sistnevnte prosess-studiene ble av KlimaProg tatt ut av RegClim i fase 3 (2003–2006) og lagt til det nye prosjektet AerOzClim, mens globale produksjonsberegninger ble gjort i RegClim.

De var mindre fornøyd med tilstanden innen dynamisk nedskalering og tilrettelegging av data til virkningsforskning. I RegClims fase 3 ble det ferdigstilt flere vitenskapelige publikasjoner innen dynamisk nedskalering, og tilrettelegging for virkningsforskning ble trappet opp.

Samarbeidet mellom gruppene i Bergen og Oslo kunne vært bedre i RegClim. Dette ble ikke nevneverdig bedre under fase 3, da Bjerknnessenteret ble SFF og Bergensmiljøet utviklet den første globale klimamodellen i Norden med full kobling. Samarbeidet har imidlertid vært svært godt helt siden det ble enighet om å samarbeide om en felles global jordsystemmodell (NorESM). Ideen ble diskutert allerede i fase 3, men forpliktelser på begge sider gjorde det umulig med konkrete planer før RegClim var slutt i 2006, og et nytt koordinert prosjekt ble finansiert (NorClim).

Det viktigste fra RegClim-fase 3 nevnes her via et utdrag fra sluttrapporten fra 2007, med vekt på det som ble vitenskapelig publisert. De viktigste resultatene i form av tall og diagrammer finnes i en digitalt tilgjengelig 12-siders brosjyre<sup>254</sup> og gjentas ikke.

### **Beregningsverktøy**

Fire dynamiske modellsystemer for hele eller deler av jordas klimasystem og ett sett av metoder for empirisk-statistisk nedskalering ble helt eller delvis utviklet, testet og brukt til produksjon i RegClim-prosjektet.

Bergen Climate Model (BCM) ved Bjerknnessenteret i Bergen var den eneste fullt koblede globale klimamodellen i Norden som leverte fulle sett med scenarioberegninger til IPCC-AR4;

Community Atmospheric Model – Oslo (CAM-Oslo) ved Universitetet i Oslo og Meteorologisk institutt, ble brukt for prosess-studier av aerosolers påvirkning av skyer og solstråling i atmosfæren, og leverte data til AeroCom

---

254 [https://projects.met.no/regclim/presse/download/regclim\\_brosjyre2005.pdf](https://projects.met.no/regclim/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf)

og IPCC-AR4 fra likevektsberegninger for scenarier med forenklet havmodell («slab-hav»);

HIRHAM-Oslo ved Meteorologisk institutt ble tilpasset for dynamisk nedskalering i atmosfæren av ulike globale modellberegninger med horisontal maskevidde 50 km og forsøksvis 25 km. Tilknyttet denne ble beregninger av signifikant bølgehøyde og stormflo utviklet og benyttet for beregning av scenarier. Nedskalerte data ble brukt i IPCC-TAR, AR4 og i ACIA;

ROMS-Bergen ved Havforskningsinstituttet i Bergen ble validert for dynamisk nedskalering i Nordsjøen og Barentshavet med 8 km maskevidde, og inkluderte beregning av hav-is. Scenarieberegninger for Nordsjøen ble levert til IPCC-AR4;

«Clim.pact» ved Meteorologisk institutt var en metodikk og et redskap for empirisk-statistisk nedskalering og analyse av klimadata som kunne brukes med tidsoppløsning ned til døgn. Beregningsverktøyet ble gjort tilgjengelig på internett og er brukt i en rekke land. Resultater er levert til IPCC-TAR, AR4 og til ACIA.

Ved Meteorologisk institutt ble det utviklet en sjøismodell (MIIM)<sup>255</sup> som egnet seg for kobling til en havmodell. Denne modellen ble så koblet sammen med HIRHAM og MIPOM i utviklingen av en full koblet regional klimamodell.<sup>256</sup> En versjon av MIIM ble senere tilrettelagt av Paul Budgell for implementering i ROMS. En fullt koblet versjon av MIIM og ROMS ble gjort av Kate Hedstrøm ved Rutgers University og ligger nå tilgjengelig i ROMS sitt repository.

### Atmosfærisk nedskalering

Dynamisk og empirisk-statistisk nedskalering av globale klimaberegninger er to vidt forskjellige metoder med ulike styrker og svakheter. Begge metodene ble anvendt av forskere ved Meteorologisk institutt og dels i kombinasjon.

---

255 Røed, L.P. & J. Debernard (2004). Description of an integrated flux and sea-ice model suitable for coupling to an ocean and atmosphere model. met.no Report 4/2004, Norwegian Meteorological Institute, pp. 56. <https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2004>

256 Debernard, J., M.Ø. Koltzow, J.E. Haugen & L.P. Røed (2003). Improvements in the sea ice module of the regional coupled atmosphere-ice-ocean model and the strategy and method for the coupling of the three spheres, RegClim General Technical Rep. 7, pp. 59–71.

Ved å kombinere data fra dynamisk nedskalering av åtte klimaprojeksjoner fra fire globale modeller ble endringer i klimastatistikken estimert for våre områder for periodene 1961–90 til 2071–2100. Forskjellene mellom de åtte projeksjonene kunne skyldes både naturlige værvariasjoner og tilfeldige feil i beregningene. De åtte projeksjonene ble videre kombinert i ytterligere nedskaleringer i regi av et EU-finansiert prosjekt.

Klimaprojeksjoner for bølgehøyde og stormflo ble beregnet ved å bruke modellsystemet som den gang ble brukt operasjonelt i varslingstjenesten ved Meteorologisk institutt, men med input av vind og trykk fra de dynamisk nedskalerte beregningene.

Empirisk-statistisk nedskalering til valgte lokaliteter ble gjort for et vesentlig større antall globale beregninger enn for dynamisk nedskalering og inkluderte flere scenarier for klimapådriv. Også RegClims dynamiske nedskalering ble nedskalert til et utvalg lokaliteter. Resultatene omfattet gjennomsnittlig klima og ekstremer basert på data fra både enkelte og kombinerte beregninger. Slik ble det produsert mer robuste projeksjoner og estimat av usikkerhet og risiko. Mange vitenskapelige artikler ble publisert, det ble arrangert en internasjonal workshop<sup>257</sup> og resultatene ble tilrettelagt for studier av virkninger av klimaendringer.

Systematiske studier estimerte i hvilken grad dynamisk nedskalering kunne bedre informasjonen fra klimaberegninger. Videreutviklede eksperimenter tallfestet hvordan kvaliteten til dynamisk nedskalerte data avhenger av beregningsområdets utstrekning («storebror-lillebror»-eksperimenter). Studien inngikk i PhD-arbeidet til Morten Ø. Køltzow ved Meteorologisk institutt.

### **Regional tolkning for marint og arktisk klima**

Daværende generasjon av globale koblede klimamodeller hadde utilstrekkelig oppløsning og manglet fysiske prosesser for å beregne det marine klima i sokkelområdene (for eksempel i Nordsjøen). Det var også betydelig usikkerhet knyttet til is, skydekke og det atmosfæriske grenselaget i Arktis.

---

257 Expert workshop on statistical downscaling, Oslo, October 3–4 2005. <http://regclim.met.no/int-coop.html>

For dynamisk nedskalering i Nordsjøen og Barentshavet ble den regionale havmodellen ROMS ved Havforskningsinstituttet brukt sammen med en modell for hav-is. For Nordsjøen ble det gjennomført en 30-års nedskalering av en klimaprojeksjon og av kontrollkjøringen uten endring i klimapådrivet, basert på BCM. Oppvarmingen er størst om vinteren, med 20 % økning i innstrømmingen av atlantisk vann med næringsalter og dyreplankton. For Barentshavet hadde BCM beregnet altfor mye hav-is i simuleringen av nåværende klima. Av denne grunn ble det ikke beregnet tilsvarende nedskalering for Barentshavet som for Nordsjøen. En vellykket analyse av metoden for nedskalering ble imidlertid gjennomført ved å bruke «perfekte» data, dvs. reanalyser basert på observasjoner, for perioden 1990–2002.

Ved Meteorologisk institutt ble det utviklet en regional koblet atmosfære-hav-is-modell med sikte på å nedskalere arktisk klima, men dette arbeidet ble ikke publisert.

### **Global modellering med vekt på studier av havstrømmer i Nord-Atlanteren**

Et varmere klima på nordlige breddegrader over noen tiår kan bety mer nedbør og ferskere, varmere og dermed lettere vann i havoverflaten. Noen klimamodeller beregner at dette kan svekke den vertikale omvelting av havvann i Atlanterhavet, og gjennom det redusere tilførselen av varmt overflatevann til De nordiske hav og til Arktis.

Ved Bjerknessenteret ble BCM brukt til å studere dette spørsmålet i RegClim. Ut fra fem ulike faser av den vertikale omvelting i Atlanterhavet i en pre-industriell kontrollberegning ble framtidig klima generert ved å øke atmosfærens CO<sub>2</sub>-innhold med 1 % per år inntil dobling. Omveltingen ble beregnet til å reduseres mellom 5 og 15 % ved doblet CO<sub>2</sub>-innhold. Dette var lite sammenlignet med resultatene fra de fleste andre klimamodeller, og var et viktig bidrag til den totale analysen som da ble gjort internasjonalt.

Resultatene viste at temperaturen ved havoverflaten i Atlanterhavet ble beregnet til å stige mest i områdene nord for 60 °N, der spredningen mellom IPCCs modeller også var størst, mens RegClims beregninger viste mye mindre spredning. I et 100-års perspektiv ble det beregnet at havstrømmene i Nord-Atlanteren kunne bli mindre påvirket enn antydnet fra andre modellresultater. Den fysiske forklaringen var at i BCM ble det økte ferske overflatevannet i nordlige havområder kompensert med økt transport av saltere

vann fra sør. At vannet ble saltere (og tyngre), skyldtes økt fordampning og redusert nedbør i subtropene.

Beregningene av havis ved doblet CO<sub>2</sub> sammenlignet med 1990-tallet ga halvert istykkelse i mars, som er måneden for maksimal isutbredelse. I september, da utbredelsen av havis i Arktis normalt er på sitt laveste, ble istykkelsen etter CO<sub>2</sub>-dobling beregnet til under 20 cm. I noen av eksperimentene var i praksis all havis om sommeren borte.

### **Dynamisk respons fra antropogene aerosolers strålingspådriv på klima**

Aerosolpartiklers vekselvirkning med jordas klima, både direkte og indirekte via skyer, er ennå (2022) en betydelig kilde til usikkerhet i globale klimaberegninger. I 2007 var kunnskapen om netto strålingspådriv av menneskeproduserte partikler og drivhusgasser ufullstendig.

RegClim-forskere ved Institutt for geofag (UiO), og senere ved Meteorologisk institutt) brukte CAM-Oslo koblet til en forenklet havmodell (termodynamisk «slab» uten beregning av havstrømmer) til å studere klimaeffekter av aerosoler. Det ble kjørt en rekke simuleringer med ulike pådriv. Beregningene indikerte at menneskeskapte partikler har en betydelig avkjølende effekt på jordas klima, og at det globalt er aerosolenes indirekte effekt via skyer som bidrar mest. Resultatene var godt innenfor et intervall av estimater i IPCC-TAR (2001), men noen observasjoner kunne tyde på at de indirekte effektene av aerosoler var overestimert i CAM-Oslo.

Beregningene viste en forflytning av det tropiske regnbeltet mot sør, mens det på høye breddegrader på den nordlige halvkule ble beregnet en demping av oppvarming og nedbørendringer som følger av økt drivhuseffekt. Av dette fulgte at når mengden av aerosolpartiklene reduseres som et ledd i forurensningsreduksjon, så øker risikoen for sterkere global oppvarming enn det som beregnes å stamme fra økte drivhusgasser alene. Samtidig ville en økt andel absorberende aerosoler motvirke denne forsterkningen av drivhuseffekten. Dette viser at god kunnskap om hvordan aerosoler virker inn på jordas klima, er avgjørende for å kunne gi gode estimat på hvordan klimaet vil kunne utvikle seg.

### **Teoretiske studier av atmosfærens respons på ytre pådriv**

Det har vært foreslått å bruke mønstergjenkjenning til å skille mellom klimaendringer som skyldes ytre pådriv, og naturlige tilfeldige variasjoner.<sup>258</sup> RegClim-forskere ved UiO og Meteorologisk institutt gjennomførte en studie basert på hypoteser om at klimasystemet tidvis er følsomt for ytre pådriv slik at naturlig forekommende tilstander ender opp med å opptre med forandret hyppighet.<sup>259</sup> Studien var også relevant for diskusjonene om regionale klimamodellers evne til å øke verdien på globale klimaprojeksjoner som følge av bedre representasjon av lokale pådriv.

Studien beregnet pådriv som over fire døgn effektivt driver tilstander i retning av et kjent mønster for klimaendringer på den nordlige halvkule: kaldt-hav-varmt-land (cold ocean-warm land COWL). Beregninger over 22 vintre viste at pådriv som assosieres med sterk følsomhet, avviker fra COWL-mønsteret og varierer sterkt med den aktuelle tilstanden. Ved lav følsomhet ligner pådrivet på COWL-mønsteret, men må da være sterkere for å ha effekt. Evnen som et nesten konstant pådriv har til å skape et observert mønster av klimaendring, varierer derfor betydelig.

I hvilken grad mønstergjenkjenning av observerte klimaendringer er nyttig, avhenger av hvor ofte følsomheten er sterk og hvor mye styrken varierer. Siden effektive pådriv har store lokale bidrag, bør regionale klimamodeller med god beskrivelse av lokale pådriv (topografi, kystlinjer, havtemperatur) kunne forbedre globale beregninger.

#### *3.3.3.4 Bidrag til forskning på effekter av klimaendringer*

Myndighetenes viktigste motivasjon for å finansiere RegClim var å bedre grunnlaget for å vurdere effekter av globale klimaendringer i Norge og å utvikle strategier for tilpasninger som er kostnadseffektive og slik at tap av menneskeliv og samfunnsverdier kan unngås. Prosjektet omfattet verken naturvitenskapelige eller samfunnsvitenskapelige effektstudier. Begrepet klimaforskning favner således mye videre enn å tolke observasjoner av jordas klima, å utvikle kunnskap om prosessene som bestemmer jordas

258 Hasselmann, K. (1992). Optimal fingerprints for the detection of time-dependent climate-change. *J. Climate*, 6, 1957–1971.

259 Palmer, T.N. (1999). A nonlinear dynamical perspective on climate prediction. *J. Climate*, 12, 575–591.



klima eller å utvikle numeriske klimamodeller.<sup>260</sup> At bredden av flerfaglighet og volumet av kunnskapsbehov er mye større innen effekter av og tilpasning til klimaendringer, fremgikk tydelig av en rapport bestilt av Forskningsrådet i 2001.<sup>261</sup>

Gruppene som arbeidet med empirisk-statistisk og dynamisk nedskalering ved Meteorologisk institutt, var RegClims viktigste bindeledd til dem som studerte effekter av klimaendringer i Norge. I tillegg kunne Havforskningsinstituttet bruke egne beregninger for regionens havklima-utvikling direkte til vurderinger av marin biologi. Prosjektet genererte store mengder data som sto til rådighet for slike studier. Blant annet kunne de lastes ned fra websiden til det norske servicesenteret for klimaforskning ved Meteorologisk institutt.<sup>262</sup> Ikke desto mindre viste det seg ganske ofte at brukerne av data trengte til dels betydelig medvirkning fra klimamodellører for å tolke observasjoner sammenlignet med modellberegninger av dagens klima.

Allerede i første fase deltok RegClim-forskere på seminarer med effektforskere i ulike disipliner. Det var først CICERO – Senter for klimaforskning som arrangerte slike møter. De koordinerte data for klimaendringer i forbindelse med norsk transportplan, og hadde pilotprosjekt for vurdering av effekter av klimaendringer i Norge, og bidro med vurderinger av klimaendringer for regionale sårbarhetsanalyser. RegClim bidro også tidlig med hjelp til vurderinger av klimaendringer på bygninger (Byggforsk), og med data og vurderinger av økologiske konsekvenser (UiO, Biologisk institutt) og med data til modeller ved Norges landbrukshøgskole for jordbunn.

Møter mellom RegClim-forskere og effektforskere fant sted på de årlige RegClim-seminarene. Gruppene som arbeidet med nedskalering ved Meteorologisk institutt, la RegClim-data til rette for bruk i effektforskning. Det ble f.eks. arrangert informasjonsmøter ved Meteorologisk institutt for forskere innen virkninger og konsekvenser av klimaendringer i Norge i januar 2003 og i april 2004. Kontakten omfattet bl.a. Direktoratet for naturforvaltning,

260 Randall, D.A. (1996). A university perspective on global climate modeling. *Bull. American Meteorol. Soc.*, 77, 2685–2690.

261 Forskningsbehov knyttet til virkninger av og tilpasninger til klimaendringer i Norge med nærliggende havområder. Innspill fra tverrfaglig arbeidsgruppe nedsatt av Norges forskningsråd, 2001, <https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/1108644081206.pdf>

262 <http://noserc.met.no/>

Skogforsk, NVE, CICERO, Veidirektoratet, NIVA, Byggforsk, NGI og NGU. Siden konsekvenser av nedbørendringer er viktig i Norge mht. flom, tørke, ras og tilgjengelig vannkraft, har samarbeidet med NVE vært sentralt.<sup>263</sup>

### 3.3.3.5 *RegClims nytteverdi for samfunnet og allmennheten*

I løpet av RegClims tiårige historie ble det utviklet bred kompetanse på matematisk modellering og observasjonsbaserte analyser av jordas naturlige klimasystem med formål å beregne og forstå menneskers mulige påvirkning på det globale klima og på klimaet i vår region. Dette bidro til studier av klimaendringers konsekvenser for samfunn og natur. Prosjektets medarbeidere produserte flere hundre vitenskapelige bidrag i form av publikasjoner i tidsskrifter, tekniske rapporter, foredrag på konferanser, samt innspill til forskningssamarbeid, IPCC-rapporter og ACIA.

Vitenskapelige publikasjoner er viktig for all forskning, men RegClim ville ha sviktet sitt formål kapitalt om ikke resultater også ble meddelt i nyttig form til allmennheten og samfunnet. Dette ble ikke minst klart etter signalet fra daværende leder av internasjonal avdeling i MD, Eldrid Nordbø, ga på møtet 1. september 1998. RegClims resultater og flere av prosjektets forskere var synlige i media og presse og deltok i norsk samfunnsdebatt om menneskeskapte klimaendringer.

### **RegClim i Cicerone**

CICERO hadde mandat til å informere fra klimaforskning, og ga annenhver måned ut tidsskriftet Cicerone for bl.a. å følge opp dette mandatet. RegClims prosjektledelse avtalte høsten 1998 med CICERO regelmessig å publisere artikler for Cicerone. Artikkene ble samlet i en egen seksjon i hvert nummer med Sigbjørn Grønås som gjesteredaktør. Fra og med februarnummeret 1999 (se bildet) ble RegClims artikler publisert.<sup>264</sup> Dette samarbeidet om egne sider i Cicerone ble en suksess for RegClim og, mer generelt, for publisering av populariserte resultater fra den naturvitenskapelige klimaforskningen for norsk allmennhet. Æren for denne suksessen har uten tvil Sigbjørn

263 [https://publikasjoner.nve.no/report/2006/report2006\\_04.pdf](https://publikasjoner.nve.no/report/2006/report2006_04.pdf)

264 Digitale versjoner av Cicerone f.o.m. april 1998 t.o.m. april 2007 (da tidsskriftet skiftet navn til Klima) finnes her: <https://www.yumpu.com/no/document/read/38797530/cicerone/113>

Grønås<sup>265</sup> i tillegg til ledelsen ved CICERO som så på formidling som veldig viktig. Som mye av det vitenskapelige i RegClim ble denne formidlingen en pionérvirksomhet som ble utvidet da flere koordinerte prosjekter ble finansiert, og ble etter hvert identifisert med programstyrets navn (først Klima-  
Prog fra nr. 1, 2002, og senere NORKLIMA fra nr. 4, 2004).

# Reg Clim

Cicerone nr. 1 1999 Regionale klimaendringer under global oppvarming  
www.nilu.no/regclim

## RegClim er et unikt norsk forsknings samarbeid

For første gang satses det i Norge koordinert på simulering av klimasystemet. RegClim skal gi sikrere viten om klimaet i vår region.

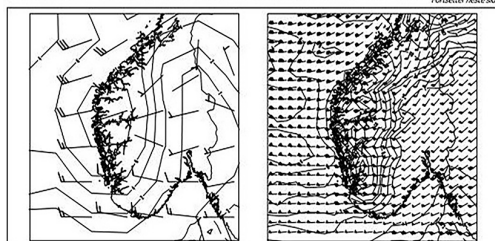
Av Trond Iversen, prosjektleder

Miljøverndepartementet ønsket i 1996 å bevilge betydelige midler til naturvitenskapelig klimaforskning i Norge. Formålet var et prosjekt for perioden 1997-2001, som skulle gi sikrere viten om

klimautviklingen i Norge i det 21. århundret. I løpet av halvannen måned våren 1997 ble fagfolk fra seks ulike institusjoner (se egen omtale på side 26) enige om et prosjekt med felles hovedmål.

Alle de deltakende institusjonene hadde et stort interesse. Dette vitner om en bred forståelse for nødvendigheten av koordinering, og det lover godt for den framtidige, naturvitenskapelige klimaforskning i Norge.

Dagens globale modeller som beregner klimascenarier for FN's Klimapanet (IPCC) er grovmaskede (se artikkel av Sigbjørn Grønås i Foretatt neste side



FIGUR 1: Figuren viser et utsnitt over Sør-Norge med beregninger av vind i 10 meters høyde (pilar; flagg=50 knop, lang strek=10 knop, kort strek=5 knop) og nedbør (koteletter for mm per døgn). Til venstre ses resultater for en gitt dag fra en global modell med finere oppløsning enn normalt i klimamodeller, og til høyre etter regionalisering med en finmasket modell. Legg merke til at hvor viktig oppløsningen er for å gi en realistisk nedbørfordeling. Den store forskjellen i vindskjedde både topograf og renet-dynamisk utvikling i den regionale modellen. (Kilde: Jan Erik Haugen, DMI.)



Figur 3.17 Faksimile av forsiden til den første seksjonen om RegClim i Cicerone, nr. 1 1999.

Den siste artikkelen om RegClim i Cicerone var en avskjed fra prosjektlederne i nr. 1 2007 (s. 24–26), mens spesialnummeret for RegClim i tidskriftet Tellus ble markert med fire artikler året etter.<sup>266</sup>

265 Sigbjørn Grønås ga i 2013 ut boken *Hvordan klimaet endrer seg – en innføring*, Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen og John Grieg, 508 s. Kan lastes ned fra <https://bora.uib.no/handle/1956/5913>

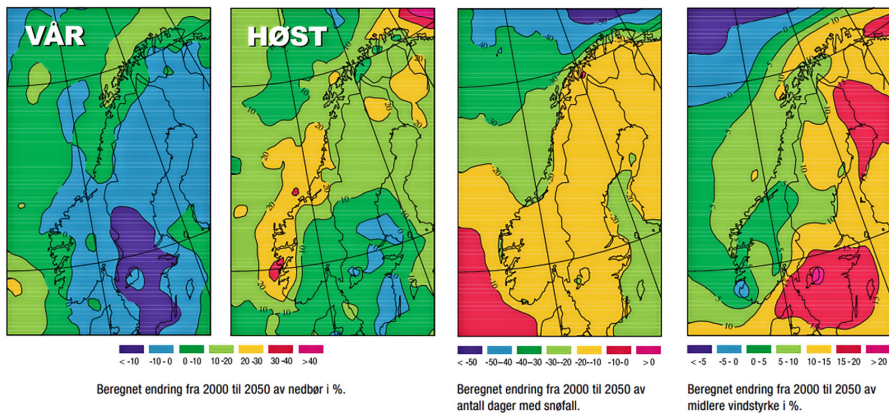
266 Klima nr. 2, 2008, s. 34–43. Digitale versjoner av Klima finnes her: <https://www.yumpu.com/no/document/read/38797073/magasinet-klima-2007-2014>

### Brosjyrer og pressekonferanser

Da de første nedskaleringene basert på globale modelldata fra MPI-Hamburg var klare, kvalitetskontrollert og analysert tidlig på året 2000, ble det laget en brosjyre på åtte A4-sider. Den ble trykket i et opplag på 8000 og ble distribuert 10. mai 2000 til alle stortingsrepresentanter, regjeringen, departementene, kongehuset, alle landets kommuner, og til alle videregående skoler.<sup>267</sup> Mange skoler ba om klassesett for bruk i undervisningen, og ekstra opptrykk ble derfor gjort.

På formiddagen 11. mai 2000 ble det kalt inn til pressekonferanse i Håndverkeren konferansesenter i Oslo etter at en pressemelding og brosjyren var sendt ut til en lang rekke medier.<sup>268</sup> Brosjyren og pressekonferansen kan med en viss rett betegnes som starten på en ny æra for formidling av informasjon fra klimaforskere i Norge. Den populære alliterasjonen varmere, våtere, villere oppsto i overskrifter etter pressekonferansen.

## *Et klimascenario for Norge om 50 år*



267 [http://regclim.met.no/presse/download/regclim\\_brosjyre.pdf](http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre.pdf)

268 <http://regclim.met.no/presse/Pressemeldingsiste1005.htm>

**Temperatur**

- Årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge vil øke med 0.2-0.5 °C pr. tiår
- Økningen vil være størst om vinteren; minst om våren og sommeren
- Økningen vil være større i innlandet enn langs kysten
- Spesielt stor temperaturøkning ventes i Svalbard/Barentshavs-regionen

**Nedbør**

- Årsnedbøren vil øke de fleste steder i Norge
- Økningen vil være størst på Vestlandet

- Økningen vil være størst om høsten
- Det ventes å bli mindre nedbør om våren på Østlandet

**Vind**

- Midlere vindhastighet vil øke litt de fleste steder i vinterhalvåret
- Økningen vil være størst i Langfjellene og på kysten av Møre og Trøndelag og i Barentshavet øst for Finnmark
- Økningen vil være minst på Vestlandskysten sør for Bergen og øst for Lindesnes
- Antall stormer vil øke litt, mest på kysten av Møre og Trøndelag

**Det understrekes at dette er ett av flere mulige scenarier for klimautviklingen. Dette scenariet er basert på globale beregninger som er ufullstendige m.h.t regionale strålingspådriv og is- og strømforhold i våre nære havområder. Derfor arbeides det også med slike spørsmål i RegClim.**

**Figur 3.18** Et klimascenario for Norge om 50 år. Disse diagrammene med oppsummeringen under ble publisert i RegClims første brosjyre i forbindelse med pressekonferansen 11. mai 2000.

Det ble hovedoppslag i NRK Dagsrevyen på kvelden 11. mai 2000 med intervjuer og kommentarer fra miljøvernminister Siri Bjerke. I morgennyhetene på NRK TV dagen etter ble det sendt et ca. 15 minutters innslag med diskusjon direkte fra studio med RegClims prosjektleder, miljøvernministeren og direktør for prosessindustrien i Norge (PIL). Tidlig på høsten 2000 var Thor Erik Nordeng (PI for dynamisk nedskalering i RegClim) invitert til NRKs «Først og Sist» (Skavlan) for å snakke om klimaendringer i Norge. Det ble anslagsvis 30 artikler i landsdekkende og lokal presse og mange intervjuer i regionale radiokanaler. Etterspørselen etter nye data fra regionale myndigheter for vurdering av tilpasning til klimaendringer økte merkbart.

Resultatene gjorde inntrykk på landets politiske ledere. I Stortingets spørretime 22. mai 2000 stilte Kristin Halvorsen (SV) et spørsmål til statsminister Jens Stoltenberg som ble besvart 29. mai 2000:<sup>269</sup>

269 <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Sporsmal/Skriftlige-sporsmal-og-svar/Skriftlig-sporsmal/?qid=19997>

Kristin Halvorsen (SV): En rapport fra forskningsprosjektet RegClim peker på muligheten for store klimatiske forandringer i Norge i løpet av de neste 50 årene. Et scenario viser at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge kan øke med så mye som 0,5 °C pr. tiår, årsnedbøren vil øke i de fleste områdene i landet og antall stormer vil kunne øke. Dette vil ha store sosiale og økonomiske konsekvenser for landet. På hvilke områder vil regjeringen foreslå endret politikk for å hindre en slik utvikling?

#### Begrunnelse (utdrag):

Klimaforskere har lenge visst at de stadig økende utslippene av drivhusgasser vil føre til en oppvarming av atmosfæren, med følgende klimaforandringer på jorden. Denne kunnskapen førte til først FNs rammekonvensjon for klimaendringer, UNFCCC, signert i Rio de Janeiro i Brasil i 1992, og deretter til Kyoto-protokollen, signert i Kyoto i Japan i desember 1997.

Siden den gang har både den generelle kunnskapen om problemet og forståelsen av de regionale konsekvensene av klimaendringer økt. Ikke minst norske forskere har bidratt til dette. RegClim er kortnavnet på et koordinert forskningsprosjekt for utvikling av scenarier for klimautviklingen i Norden, omliggende havområder og deler av Arktis ved en global oppvarming. Følgende seks norske institutter deltar: Meteorologisk institutt, Havforskningsinstituttet, Institutt for geofysikk (UiO og UiB), Nansen senter for miljø og fjernmåling og Norsk institutt for luftforskning.

(...) Endringene RegClim peker på, som er beskrevet over, vil ha store sosiale og økonomiske konsekvenser for Norge. Andre scenarier, med enda større konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> i atmosfæren og enda alvorligere følger, er også mulige. Pr. i dag er utslippene av drivhusgasser i Norge økende og langt over nivået i 1990, til tross for at Kyoto-protokollen forplikter Norge til kun å øke de totale utslippene med én prosent i perioden 2008 til 2012 sammenlignet med 1990.

Det vil derfor være ønskelig at norsk politikk dreies i en retning hvor utslippene reduseres, både i Norge og i verden som helhet.

## Svar Jens Stoltenberg (utdrag):

FNs klimapanel slo i sin andre hovedrapport (1995) fast at utslipp fra menneskelig aktivitet i vesentlig grad bidrar til å øke konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. Klimapanelet har også anslått en rekke miljømessige konsekvenser dersom tiltak ikke iverksettes. I nasjonal sammenheng har et koordinert forskningsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd (RegClim) nylig lagt fram et mulig scenario for hvordan klimaet kan bli i Norge. Slik representanten Halvorsen påpeker kan vi komme til å stå overfor store klimatiske forandringer i Norge i løpet av de neste 50 årene.

Regjeringen oppfatter klimaproblemet som en av de store økologiske hovedutfordringene vi står overfor. I lys av at klimaproblemet er globalt vil det på lengre sikt være avgjørende hvordan landene sammen kan utvikle en felles ambisiøs politikk for å realisere Klimakonvensjonens langsiktige mål om å forhindre en alvorlig, menneskeskapt påvirkning av klimasystemet.

(...) Regjeringen legger vekt på at utformingen av virkemiddelbruken på klimaområdet skal tilstrebe kostnadseffektivitet både nasjonalt og globalt.

(...) I det internasjonale arbeidet vil regjeringen arbeide for at forhandlinger om nye forpliktelser for perioden etter Kyoto-perioden kan starte opp så raskt som mulig.

RegClims resultater ble også behørig referert til av den neste regjerings miljøvernminister Børge Brende i et foredrag som ble trykket som kronikk 21. november 2001:<sup>270</sup>

I Norge har vi derfor i de senere år etablert et eget forskningsprosjekt for å beregne klimautviklingen i vår region, RegClim, i regi av Forskningsrådet. Under dette prosjektet er blant annet gjennomsnittlige temperatur- og nedbørsendringer estimert for perioden fram til 2030–2050, og det framgår at trenden vi har sett til nå med mildere vær med mer nedbør vil fortsette.

---

270 Varmere, våtere og villere – hvordan forberede oss på fremtidens klima? Av miljøvernminister Børge Brende. Tale under seminar om tilpasninger til og beredskap mot klimaendringer, Folkets hus, 20. november 2001.



Gjennom RegClim og andre forskningsprogrammer har vi altså fått en første indikasjon på hvilke klimaendringer vi kan forvente oss i tiårene som kommer.



**Figur 3.19** I RegClims tredje brosjyre fra 14. september 2005 ble beregnede klimaendringer i Norden ut fra scenarier for framtidige konsentrasjoner av drivhusgasser, illustrert skjematisk basert på endringer i fyringsbehov for husoppvarming. Det er her forutsatt at temperatur alene bestemmer fyringsbehovet. For eksempel kan man lese at Trondheim og Oslo rundt 2035 får samme fyringsbehov som Gøteborg har i dag, mens det i 2085 blir noe mindre enn København har i dag.



Det ble nye brosjyrer og pressemeldinger 21. november 2002,<sup>271</sup> og pressekonferanse 14. september 2005.<sup>272</sup> Det var nyhetsoppslag i medier og presse, men ikke med tilsvarende gjennomslag på nasjonalt nivå som i mai 2000.

Etter mai 2000 ble det en merkbar økning i den jevnlig etterspørselen etter innspill fra presse og media og etter foredrag fra organisasjoner. Volumet på formidlingen ble betydelig i årene som fulgte og har blitt en viktig del av det offentlige ordskiftet. Mange norske klimaforskere var og er gode formidlere, og blant dem var flere fra RegClim, men Helge Drange og Rasmus Benestad gjorde seg spesielt bemerket. Benestad var også en av grunnleggerne av nettstedet RealClimate.<sup>273</sup>

### 3.3.4 NorESM: Etablering av en norsk global jordsystemmodell

The Norwegian Earth System Model – NorESM – ble utviklet og anvendt i de to koordinerte prosjektene NorClim (2007–2010) og EarthClim (2011–2013), som suksessivt fulgte etter RegClim. Begge disse prosjektene ble ledet av Helge Drange, mens Trond Iversen og Mats Bentsen sammen ledet arbeidet med å utvikle og anvende modellen. NorESM er en ektefødt arv («legacy») fra RegClim, og den er bl.a. vært benyttet til å levere beregninger i tråd med protokollene for eksperimenter i CMIP5, for bidrag til IPCCs femte hovedrapport (2013), og CMIP6, for bidrag til IPCCs sjettede hovedrapport (2021).

#### **Hvorfor ble det satset på NorESM?**

En svært viktig milepæl fra RegClim var utviklingen av den fullt koblede Bergens klimamodell (BCM) som ble brukt til de globale beregningene for CMIP3 som var en viktig del av grunnlaget for den fjerde hovedrapporten fra IPCC i 2007. Klimaforskere i Bergen og i særdeleshet Bjerknessenteret stod bak BCM. Særlig var det havkomponenten i BCM som gjorde at simuleringene var et svært viktig bidrag til det internasjonale modellmangfoldet.

271 <http://regclim.met.no/presse/presse2002/RegClim8.pdf> og [http://regclim.met.no/presse/Pressemelding\\_2002.htm](http://regclim.met.no/presse/Pressemelding_2002.htm)

272 [http://regclim.met.no/presse/download/regclim\\_brosjyre2005.pdf](http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf) og [http://regclim.met.no/presse/Pressemelding\\_2005sept.pdf](http://regclim.met.no/presse/Pressemelding_2005sept.pdf)

273 <https://www.realclimate.org/>

Klimaforskere ved UiO arbeidet med en annen global klimamodell med fokus på prosesser i atmosfæren, men uten kobling til en tredimensjonal havmodell. Beregninger av klima når det er balanse mellom innkommende solstråling og utgående varmestråling fra jorda ved atmosfærens yttergrense, ble gjort med CAM-Oslo koblet til en forenklet modell av havet som en termodynamisk buffer («slab»). Dette var også en vellykket leveranse fra RegClim, der detaljrikdommen i beregningene av aerosolpartiklers vekselvirkning med solstråling og skyer var av særlig betydning.

Årsaken til denne todelingen av modellvalg fra starten i RegClim er forklart under kapittelet om Triaden-møtet i mars 1997. Etter noen år med RegClim ble det stadig tydeligere at denne todelingen ikke var hensiktsmessig for en fortsatt norsk satsing på global klimamodellering. Det norske forskningsmiljøet er svært lite og ville ha mer enn nok med å utvikle og operere én norsk global klimamodell som holder fremste vitenskapelige nivå. Moduler som norske miljøer ikke vil ha kapasitet til selv å vedlikeholde med nødvendig vitenskapelig kvalitet, må hentes inn fra internasjonalt ledende sentre, mens moduler der Norge holder genuint høyt nivå bør utvikles i forpliktende samarbeid med slike sentre. Da er det soleklart ikke regningsvarende å satse på to ulike modellverktøy i Norge.

I forbindelse med evalueringen av KlimaProgs fire koordinerte prosjekter i januar–februar 2002 ble også evnen til effektiv prosjektledelse av RegClim diskutert med evalueringskomiteen. I evalueringsrapporten ble derfor følgende formuleringer publisert:<sup>274</sup>

The present management structure really gives more coordination than leadership to the research project. The project leader, Trond Iversen, has done a good job of keeping the project tasks reasonably coherent and working towards a common goal, but he has very limited power if he wants to reshape parts of the project or implement decisions that may not please everyone involved.

---

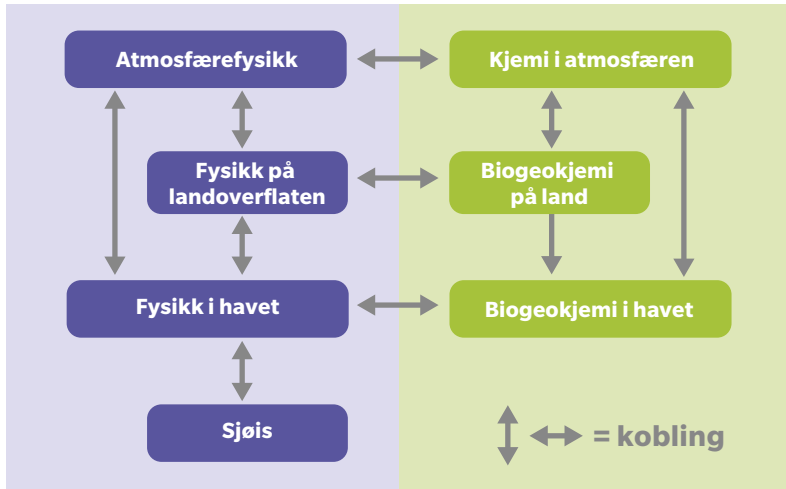
274 KlimaProg – Research Programme on Climate and Climate Change. Evaluation of the co-ordinated projects RegClim, NORPAST, COZUV and NOClim. Environment and Development the Research Council of Norway. 78 s., NILU OR 31/2002.

I lys av denne kommentaren og den nevnte tydelige utviklingen mot en suboptimal parallell utvikling av global klimamodellering i Norge, foreslo RegClim-prosjektlederen allerede på RegClims vårseminar på Olavsgård, Kjeller, 6.–7. mai 2002 å planlegge for en felles norsk global klimamodell. Det skulle søkes for tredje fase av RegClim tidlig på høsten 2002, og over fire år burde det være tid til å utvikle en felles modell der havdelen kunne tas fra BCM, atmosfæredelen fra CAM-Oslo mens hav-is og landmodell kunne tas fra NCAR CCM (som også CAM-Oslo var bygget på).

En viktig bakgrunn for i det hele tatt å tenke på å utvikle en norsk global klimamodell våren 2002, var vissheten om at norske forskere hadde genuint sterke vitenskapelige bidrag som ikke allerede var dekket av sentre som var de fremste i verden. Slik RegClims prosjektleder vurderte det etter fem år med RegClim, var havmodellen i BCM et slikt bidrag med sine særlige egenskaper knyttet til identifikasjon av vannmasser over lang tid. Ved UiO var det etablert sterke bidrag innen skyfysikk fra Jón Egill Kristjánsson, mens det var utviklet en parameterisering av aerosoler og deres vekselvirkning med stråling og dannelse av skydråper som det ikke fantes paralleller til i andre modeller. Dette var særlig Alf Kirkevågs fortjeneste i samarbeid med Øyvind Seland og Trond Iversen. Dessuten var Trude Storelvmos PhD-arbeid om kobling mellom aerosoler og skyer svært lovende.

Våren 2002, da det aller først ble diskutert å planlegge en utvikling av en felles norsk modell, var imidlertid BCM i en tidlig fase med produksjonen for IPCC. Det var nødvendig å la det arbeidet gå sin gang uforstyrret. Tanken bak forslaget var derfor ikke å stoppe eller forsinke arbeidet med BCM, men at nye planer burde utvikles mot slutten av RegClims fase 3 samtidig som fruktene av BCM-utviklingen ble tatt vare på.

Forslaget om én modell kom selvsagt overraskende på de fleste, og at det var mange motforestillinger, var å vente. Imidlertid lot det seg ikke gjøre å ta med planer om en felles norsk modell i fase 3. Ideen måtte modnes, og den ble diskutert underveis i prosjektet. I NorClim-forslaget fire år senere ble planene lagt inn, og det ble satset fullt på å utvikle en felles norsk jord-systemmodell. Dette var i tråd med det uformelle forslaget i mai 2002, men med det viktige tillegget at det skulle være en ESM (Earth System Model) med mulighet for å beregne karbonets syklus i tillegg til å beregne det fysiske klima. Derfor fikk satsingen navnet NorESM (se figur).



**Figur 3.20** Skjematisk framstilling av prosesser som modelleres matematisk i NorESM, og hvordan de kobles sammen til en enhet gjennom interne avhengigheter i beregningene. Skjemaet er hentet fra en brosjyre<sup>275</sup> laget for alle interesserte ved avslutningen av prosjektet Earth system modelling of climate Variations in the Anthropocene (EVA) finansiert av Norges forskningsråd 2014–2018.

I tillegg til Norsk klimaservicesenter, en annen arvtager fra RegClim som også er beskrevet i denne artikkelen, var NorESM en kjerneaktivitet i Norsk klimasenter, som i noen år fra 2008 var et samarbeidsorgan for norske forskningsinstitusjoner innenfor klimaforskning. NorESM har fungert og fungerer fortsatt i tråd med ideene i artikkelen til Randall fra 1996.<sup>276</sup> Siden 2018 har NorESM vært definert som infrastruktur for klimaforskning i Norge.<sup>277</sup>

Med NorESM har det norske samarbeidet mellom Oslo og Bergen blitt sterkt og tydelig. I de to første generasjonene av NorESM (1 og 2) har modellen inkludert nye prosessbeskrivelser i havet og atmosfæren. MET har overtatt og videreutviklet mye av kompetansen som i 2002 var utviklet ved UiO. Både Kirkevåg, Seland og Iversen ble tilknyttet Meteorologisk

275 [https://bjerkn.es.uib.no/sites/default/files/NorESM-brosjyre\\_04\\_skjerm.pdf](https://bjerkn.es.uib.no/sites/default/files/NorESM-brosjyre_04_skjerm.pdf)

276 Randall, D.A. (1996). A university perspective on global climate modeling. *Bull. American Meteorol. Soc.*, 77, 2685–2690.

277 Infrastructure for Norwegian Earth System modelling (INES). <https://www.ines.noresm.org/>

institutt, senere ble miljøet betydelig styrket da Michael Schulz ble ansatt og AeroCom-prosjektet kom til Meteorologisk institutt. Ved UiO har Trude Storelvmo blitt professor og er verdensledende på sitt felt. Dette miljøet har nå, 20 år etter, utstrakt internasjonal kontaktflate knyttet til modellering av aerosoler, skyer og stråling.

### **FoU-behov de kommende årene: NorESM og europeisk samarbeid**

NorESM har hittil bidratt med simuleringer av klima der prosesser er representert på måter som ikke er dekket av andre eksisterende modellberegninger. Dette prinsippet om komplementaritet bør være bærende for den videre satsingen på en egen globale jordsystemmodell i Norge. En internasjonal evaluering av norsk klimaforskning fra 2012 fremhevet dette.<sup>278</sup>

Norwegian scientists have played major roles in IPCC assessments and are thus well positioned to also help fill the gaps in scientific knowledge. The fact that the Bergen Climate Model (BCM) was one of four European models used in IPCC AR4 indicates the high quality of Norwegian research in this area. The development of the Norwegian Earth System Model – NorESM, building on BCM with additional components from Oslo on aerosols, clouds, and atmospheric chemistry will provide important input to IPCC AR5. This provides a major opportunity for Norwegian science to play an internationally leading role, if sufficient and stable long-term funding is provided in support of the Earth system modeling efforts.

Bortsett fra havmodellen og beregningene av biogeokjemi har de to første hovedversjonene av NorESM vært basert på den amerikanske modellen CESM (utviklet desentralisert med NCAR som nav). Da det ble bestemt å satse på en felles norsk modell, NorESM, for drøyt 15 år siden, hadde CESM (og dens forløper CCSM) lite eller ingen representasjon av de prosessene som UiO og Meteorologisk institutt spesielt har utviklet moduler for. Nå har imidlertid de nyere versjonene av CESM-modellen full representasjon av slike prosesser, dog ennå med en annen tilnærming enn i NorESM.

---

278 Norwegian climate research. An evaluation. The Research Council of Norway. Oslo, June 2012.

Hvis alternative norske tilnæringer blir vanskelig å opprettholde i en oppdatert NorESM, kan det være riktig å justere strategien for å bidra til global modellering av prosesser i jordsystemet med betydning for jordas klima. Dette må ta hensyn til betydningen og nødvendigheten av at NorESM kan fortsette som et digitalt laboratorium for forskningsmiljøer som studerer spesielle prosesser (UD og LD) eller som studerer virkninger av klimaendringer og variasjoner (UA og LA). Det vellykkede samarbeidet mellom de sterke miljøene innen klimamodellering i Oslo og Bergen er etablert over en 25-årsperiode, og bør bygges videre på. Det er vesentlig raskere og lettere å bygge ned et slikt samarbeid. Men, Meteorologisk institutt må kanskje mer enn sine samarbeidspartnere i NorESM vektlegge rollen som leverandør av relevante resultater av høy vitenskapelig kvalitet til det norske og det internasjonale samfunn. Innen klima omfatter dette også det vellykkede samarbeidet i KSS (Klimaservicesenteret).

Fra starten av RegClim-prosjektet og oppfølgingene på global skala med Bergen klimamodell (BCM) og NorESM, har det uten tvil vært gitt viktige bidrag til forskningen og til samfunnet i en snau generasjon. De videre planene må imidlertid ta hensyn til de storstilte utfordringene som nå er til stede i samfunnet samtidig som arbeidet bidrar med genuint ny kunnskap. Kanskje trengs det de kommende årene andre typer informasjon og data, og med det en noe annen kompetanse enn det NorESM-samarbeidet hovedsakelig har bidratt med hittil, for eksempel for å tilpasse seg og bekjempe klimaendringer?

I tillegg til å gjennomføre og evaluere store modelleksperimenter på avansert maskinvare er vekselvirkning mellom klima og aerosoler, skyer og atmosfærekjemi hovedkompetansen ved Meteorologisk institutt og UiO knyttet til NorESM. Denne kompetansen er antagelig nå sterkere enn noen sinne med Michael Schulz og Trude Storelvmo i ledende roller. I Norden er det også flere vitenskapelig sterke miljøer innen temaer knyttet til aerosoler og klima, og det har også NorESM-utviklingen tjent på gjennom samarbeid med universitetene i Stockholm og Helsingfors.

Til gjengjeld er det relativt mindre nordisk satsing med kraft på betydningen av adekvat representasjon av dynamiske prosesser i atmosfæren. For eksempel har det vært få studier som søker å forstå og å redusere konsekvensene av den dårlige romlige oppløsningen av dynamikken i klimamodellene sammenlignet med de fremste globale værvarslingsmodellene. Dette berø-

rer kvaliteten av beregninger av værforhold som er samfunnsmessig svært viktige når verden blir varmere, slik som stormbaner, fordeling av ekstrem nedbør og tørke, arktisk forsterkning av global oppvarming og skjebnen til «det hvite Arktis». Samtidig har Meteorologisk institutt betydelig kompetanse innen dynamiske prosesser i atmosfæren og havet, og god vitenskap er også publisert på dette feltet basert på NorESM-simuleringer.

Det er mye som tyder på at verden nå (2022) er kommet ganske langt inn i klimaforandringene; de er ikke lenger hypotetiske eller «noe som kan komme». Økt havoverflatetemperatur i subtropene bidrar til mer vanndamp i atmosfæren som igjen frigjør mer energi til lufta når det dannes nedbør. Transport av vanndamp i atmosfæren – atmosfæriske elver – og dynamikken assosiert med stormbaner og utløsning av nedbør, er prosesser som krever høy romlig oppløsning i modellene, både horisontalt og vertikalt. Når nedbørintensiteten øker, øker også risikoen for lange perioder med tørke. Tørke på midlere og høye bredder knyttes til langvarig høytrykksvær som blokkerer den fremherskende østover forflytning av lavtrykk som bringer nedbør. Slike høytrykk kan også knyttes til vedvarende transport av luft til og fra Arktis. Det har lenge vært kjent at pålitelig beregning av struktur og hyppighet av blokkerende høytrykk i numeriske modeller krever vesentlig høyere romlig oppløsning enn det som har vært vanlig i globale jordsystemmodeller.

Klimaendringene øker behovet for å varsle potensielt farlig ekstremvær med pålitelighet på alle tidsskalaer, fra timer til måneder og sesong. Når «sjeldne værhendelser» ikke lenger er sjeldne, vil slike prognoser være svært nyttige for å forberede seg på værmessige farer det sjelden har vært behov for å tenke på tidligere. I store deler av verden øker usikkerheten hva gjelder tilgang på rent vann, matproduksjon, fornybar energi, helse og politisk stabilitet. Verdens energibehov må i nær framtid i stor grad høstes fra vannkraft, vindkraft og solceller. Dette flytter også behovet for meteorologisk varslingskompetanse inn i kjernen av sikkerheten for tilgang på, og investeringer i, fornybar energi. Mens dette før (med noen unntak) har vært en kuriositet, vil det være nyoppståtte behov for pålitelige prognoser på tidsskalaer fra uker og måneder opp til noen få dekadere. Slikt vil kreve utbygging av jordsystemorienterte observasjoner og nye utfordringer for den globale modelleringen for å redusere samfunnsrisiko.

For at vær- og klimavarsler skal være pålitelige, må varslene inneholde mest mulig relevant informasjon, men ikke mer enn det forutsigbarheten

legger til grunn. Siden forutsigbarhet av vær og klima varierer med værtype, sesong og geografisk område, må prognosene også beregne den aktuelle usikkerheten. ECMWF er verdensledende på dette feltet, og Meteorologisk institutt har også høy kompetanse på den delen av problematikken som gjelder modellbaserte værprognoser for de første par døgn og statistisk modellering lenger fram. ECMWF er sentrale i den nye storsatsingen Destination Earth,<sup>279</sup> som omfatter såkalte Digital Twin-eksperimenter der alle tilgjengelige jordobservasjoner brukes for å studere historisk klima og nåtidens klima, mens klimaprognoser for de neste 50 år skal gjøres med høy oppløsning. Meteorologisk institutt er med på de delene som knyttes til værprognoser.

Internasjonalt peker mange tegn i retning av at det kan være bedre å samle ressursene til å arbeide med noen få hovedsatsinger innen klimaprognoser og -projeksjoner enn å spre dem på flere modeller slik det har vært gjort hittil.<sup>280</sup> Slik er det ennå betydelig grad av tilfeldighet mht. hvordan usikkerheter i modellenes formuleringer av prosesser kommer til uttrykk i resultatene. Erfaringene fra global NWP i Europa (ECMWF) tilsier at svært gode resultater har vært oppnådd ved å la modelldiversiteten vike til fordel for én hovedmodell som er knyttet til et omfattende forskersamfunn, og der det er adgang til å bruke den operasjonelle infrastrukturen som forskningsinfrastruktur. Er vi kommet til et veiskille? Bør valget nå være å samarbeide mer internasjonalt og la modell-navet være i ett sterkt senter i Europa med ekstraordinær tilgang og ekspertise på regnekraft?<sup>281</sup> En «NorESM3» med høy oppløsning av atmosfæredynamikken kan være én vei videre, men kanskje kan Destination Earth være et alternativ dersom samarbeidet åpner for dette.

### 3.3.5 Empirisk-statistisk nedskalering for studier av lokale konsekvenser av globale klimaberegninger

Rasmus Benestad

Klima kan tolkes som en statistisk beskrivelse av været over tid. Hvordan vil global oppvarming endre værstatistikken i Norge? Utfordringen er å beregne hva klimaendringene betyr for de statistiske egenskapene for lokal tempera-

279 [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_1977](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_1977)

280 <https://cerncourier.com/a/a-cern-for-climate-change/>

281 <http://eggmqtz.unixer.de/publications/img/bauer-digital-twin.pdf>



tur, vind og nedbør, og med dette som grunnlag gi råd om klimatilpasning. Lokale effekter må beregnes ved å øke detaljeringsgraden i resultatene fra globale klimamodeller gjennom ulike måter å nedskalere på. Dessuten får vi sikrere resultater når vi knytter beregningene til de store trekkene («storskala») som modellene gjengir på en mer realistisk måte enn punktvis detaljer, derav begrepet «nedskalering» som omfatter måten ulike skalaer henger sammen på. I RegClim-prosjektet ble som nevnt over to ulike tilnærminger valgt: dynamisk og empirisk-statistisk nedskalering. Her følger en nærmere beskrivelse av arbeidet med å utvikle empirisk-statistisk nedskalering.

I starten av RegClim-prosjektet ble det tatt kontakt med to av gruppene som arbeidet med statistisk nedskalering i nordområdene – Max Planck-instituttet i Hamburg (Hans von Storch og Eduardo Zorita) og Danmarks Meteorologiske Institut (Egill Kaas). Senere ble utviklingen av det som nå er kalt empirisk-statistisk nedskalering, også påvirket av forskningsmiljøet ved Atmospheric Oceanic and Planetary Physics ved University of Oxford med forskere som David Anderson, Rowan Sutton og Myles Allen. De brukte ensembler og empirisk ortogonale funksjoner. I tillegg satset de på netCDF-dataformatet som nå er standard innen World Climate Research Programme. Dette dataformatet gjør det mulig å jobbe med klimadata på en effektiv, dynamisk og fleksibel måte. Arbeidet med empirisk-statistisk nedskalering ved Meteorologisk institutt anvendte tidlig både ensembler og netCDF-formatet for å håndtere store datamengder.<sup>282</sup> Se resultater i Meteorologisk institutts klimarapport 24/98. Videre utvikling av metodene skjedde i samarbeid med David Stephenson ved University of Exeter, Doug Nychka<sup>283</sup> ved NCAR i USA, Thordis Thorarinsdottir ved Norsk Regnesentral og statistikere i Norden i 2015–2018 gjennom samarbeid innen Nord-Forsk, og med Deliang Chen ved universitetet i Göteborg. Sammen med ham ble det skrevet en lærebok i empirisk-statistisk nedskalering.<sup>284</sup> Flere nedskaleringsmåter ble testet ut, blant annet såkalt kanonisk korrelasjonsanalyse

---

282 Benestad, R.E. (2000). Fifteen Global Climate Scenarios: The conversion to netCDF and quality control, DNMI, Klima, 16/00. Benestad, R.E. (1999). Conversion and quality control of the ECHAM4/OPYC3 GSDIO data to the netCDF format and a brief introduction to Ferret, DNMI Klima, 27/99.

283 <https://www.image.ucar.edu/overview.shtml>

284 Benestad, R.E., Hanssen-Bauer, I. & Chen, D. (2008). *Empirical-Statistical Downscaling*, World Scientific Publishers.

(Meteorologisk institutts klimarapport 28/98), dekomponering av singulære vektorer (Meteorologisk institutts klimarapport 30/98), multivariat regresjon (Meteorologisk institutts klimarapport 02/99) og analogmodeller som baserer seg på historiske målinger for dager med atmosfæretilstand som ligner på den som skal nedskaleres. En vesentlig svakhet ved analogmodeller er at de svikter i situasjoner med temperatur eller nedbør høyere enn tidligere målte maksimumsverdier.

Under RegClim-prosjektet ble arbeidet med empirisk-statistisk nedskalering utført ved hjelp av R-programpakken «clim.pact» som også ble gjort tilgjengelig for resten av verden gjennom Comprehensive R Archive Network (CRAN). Fordelen med en slik R-pakke var at koden ble mer transportabel og anvendelig for mange, og nødvendige data og dokumentasjon var knyttet til. Senere er dette verktøyet blitt etterfulgt av et mer avansert og allsidig verktøy, «esd», som har vekt på brukervennlighet.<sup>285</sup>

Arbeidet med empirisk-statistisk nedskalering tok en dreining fra å nedskalere hver dag eller måned til å nedskalere parametrene som bestemmer den statistiske fordelingskurven,<sup>286</sup> og som kan tallfestes på en sikrere måte enn dags- eller månedsverdier.<sup>287</sup> Hvis døgntemperaturen for en utvalgt sesong kunne beskrives som normalfordelt, er det tilstrekkelig å nedskalere gjennomsnittet og standardavviket for å kunne beskrive temperaturstatistikken. Nedbøren var annerledes, men statistikken for døgnnedbør viste seg å kunne tallfestes tilnærmet ved hjelp av gjennomsnittlig nedbørmengde og frekvens for de dagene det regnet.<sup>288</sup> Beregningene basert på normal- eller eksponentiell fordeling var ikke ment brukt til å nedskalere informasjon for ekstreme hendelser. For å nedskalere informasjon om ekstreme tilfeller som hetebølger og styrtregn brukte Meteorologisk institutt en ny tilnærming der informasjonen i matematiske kurver for sannsynligheten

285 <https://github.com/metno/esd>

286 Benestad, R.E. (2021). A Norwegian Approach to Downscaling, *Geosci. Model Dev. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/gmd-2021-176>

287 Benestad mfl. (2016). «Climate change and projections for the Barents region: what is expected to change and what will stay the same?», ERL-102170.R2, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054017>

288 <https://www.realclimate.org/index.php/archives/2017/03/predictable-and-unpredictable-behaviour/>; Benestad, R. (2021). *Været, Klima og Jeg*, [https://ebok.no/ebok/vaeret-klima-og-jeg\\_rasmus-benestad-2/](https://ebok.no/ebok/vaeret-klima-og-jeg_rasmus-benestad-2/)

for slike hendelser, ble nedskalert. I et konkret eksempel i India ble sannsynligheten for hetebølger og deres varighet nedskalert for å vurdere konsekvensene av hetebølger for hveteavlingene.<sup>289, 290</sup> En litt annen tilnærming ble brukt når det gjaldt informasjon om styrtregn, der Meteorologisk institutt utviklet metoder for å nedskalere parametere som beskriver den matematiske formen til intensitet-varighet-frekvens-kurver (IVF) for nedbør.<sup>291</sup>

Arbeidet med empirisk-statistisk nedskalering ved Meteorologisk institutt gikk i en annen retning enn det som var vanlig internasjonalt. Erfaringer ble utvekslet gjennom internasjonalt samarbeid i regi av COST (2012–2015) og WCRP om Empirical-statistical-downscaling, og som fulgte etter en serie med møter i Trieste (september 2013), Buenos Aires (august 2014) og Cape Town (2015). Metodikken ved Meteorologisk institutt ble brukt til å beregne lokale projeksjoner framover for temperatur i en rekke sammenhenger og på en slik måte at resultatene kunne anvendes i klimatilpasning og utgjorde noe av datagrunnlaget for Norsk klimaservicesenter. Erfaring med empirisk-statistisk nedskalering ble vunnet gjennom ulike nasjonale og internasjonale forskningsprosjekter.<sup>292</sup> Annet internasjonalt samarbeid fant sted i regi av European Academies' Science Advisory Council (EASAC) med en syntese-rapport om ekstremvær i 2013,<sup>293</sup> samarbeid med landene rundt Østersjøen og BALTEX,<sup>294</sup> og samarbeidet med Polen 2014–2017 finansiert gjennom

---

289 CixPAG-prosjektet 2015–2019 ledet av CICERO og finansiert av Norges forskningsråd.

290 Benestad, R.E., van Oort, B., Justino, F., Stordal, F., Parding, K.M., Mezghani, A., Erlandsen, H.B., Sillmann, J. & Pereira-Flores, M.E. (2018). Downscaling probability of long heatwaves based on seasonal mean daily maximum temperatures, *Adv. Stat. Clim. Meteorol. Oceanogr.*, 4, 37–52, <https://doi.org/10.5194/ascmo-4-37-2018>

291 KlimaDigital-prosjektet 2018–2021 ledet av SINTEF og finansiert av Norges forskningsråd.

292 EALAT (2007–2011), ReinClim (2012–2015) og Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP) for Arktisk klima (henholdsvis rapportene Arctic Climate Impact Assessment i 2005, Snow Water Ice and Permafrost in the Arctic i 2017 og Adaptive Actions in a Changing Arctic i 2017).

293 Hov, Ø., Cubasch, U., Donat, M., Fischer, E., Höppe, P., Iversen, T., Kvamstø, N.G., Kundzewicz, Z.W., Leckebusch, G.C., Rezacova, D., Rios, D., Santos, F.D., Schädler, B., Ulbrich, U., Veisz, O., Zerefos, C., Benestad, R. & Murlis, J. (2013). *European Academies Science Advisory Committee – Report on Changes in Extreme Weather in Europe due to Climate Change*. Published by the Norwegian Academy of Science and Letters and the Norwegian Meteorological Institute, October 2013. 136 p. <http://www.easac.eu/home/reports-and-statements/detail-view/article/extreme-weat.html>

294 Wibig, J., D. Maraun, R. Benestad, E. Kjellström, P. Lorenz & O. Bossing Christensen (2015). *Projected change-models and methodology. Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, Springer, Cham. pp. 189–215.

Norges EØS-kontingent (CHASE-PL-prosjektet). Nedskaleringskompetansen ved Meteorologisk institutt ble også brukt i prosjekter i India og Himalaya organisert via den norske ambassaden i Delhi og Forskningsrådet (INDNOR-programmet 2010–2019 og INDICE 2012–2016). Via deltagelse i EU-prosjektet FP7-SPECS (2012–2017) med nedskalering av temperaturer i Latin-Amerika for sesongvarsling og dekadearsler for temperatur og nedbør over Europa, utviklet Meteorologisk institutt en «nedskaleringsnisje», og resultatene fra de internasjonale prosjektene viste at metoden var robust og ga gode resultater mange steder på kloden.<sup>295</sup> Denne kunnskapen ble så tatt i bruk i bistandsprosjekter i Bangladesh og Mosambik, bl.a. gjennom et prosjekt (MIMOZA) ledet av UK Meteorological Office i perioden 2017–2022, finansiert av Nordic Development Fund. Meteorologisk institutts tilnærming til nedskalering krever bare små dataressurser og er dermed vel egnet for forskere som ikke har tilgang til tungregnemaskiner, slik som ofte er tilfelle i bistandsprosjekter. Men det er nødvendig med store ensembler fra globale klimamodeller for å lage robuste lokale klimascenarier for fremtiden, siden tilfeldige naturlige variasjoner lett kan gi inntrykk av en svakere eller sterkere endring enn hva endret drivhuseffekt i seg selv tilsier. Simuleringer med globale klimamodeller i World Climate Research Programme (WCRP) gjennom Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) har gitt tilgang til slike ensembler. De første CMIP-kjøringene som ble brukt i nedskalering ved Meteorologisk institutt, kom fra CMIP fase 3.<sup>296</sup> Senere kom CMIP5 med større ensembler på rundt 100 ulike kjøringar med omkring 20 ulike globale klimamodeller, mens den sjette hovedrapporten fra FNs klimapanel i 2021 bygget på CMIP6, som omfattet mer enn 35 ulike klimamodeller og flere hundre parallelle simuleringer basert på ulike Shared Socioeconomic Pathways (SSP) for fremtidige drivhusgassutslipp. Nedskaleringen brukte imidlertid sesongstatstikk fra klimamodellene, og resultatene ble dermed lite plasskrevende, de nødvendige dataene fra simuleringene fikk plass på en stor minnepinne. Men utgangspunktet var resultatene av ensemblekjøringar fra globale klimamodeller og som krevde petabyte (PB, peta =  $10^{15}$ ) med datalagringsplass. Ensembleresultatene fra CMIP6 gjør det mulig

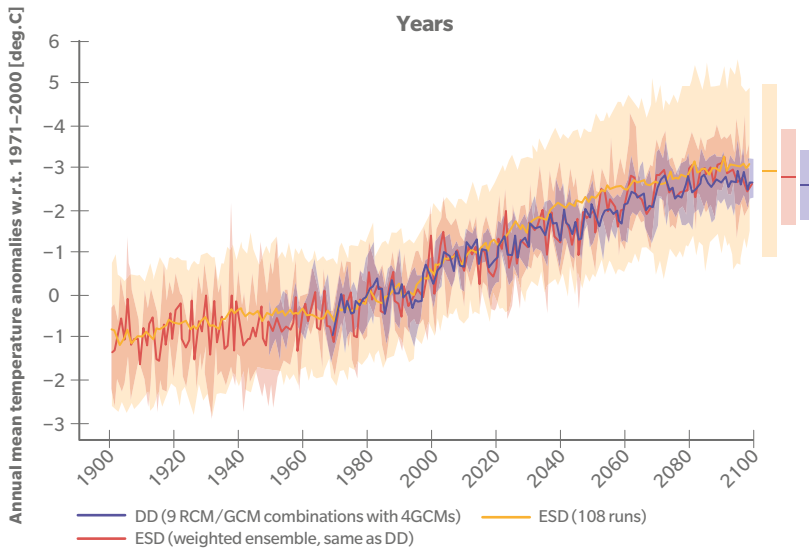
---

295 Benestad, R.E. (2021). A Norwegian Approach to Downscaling, *Geosci. Model Dev. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/gmd-2021-176>

296 [https://www.wcrp-climate.org/wgcm/references/CMIP3\\_BAMS\\_2007.pdf](https://www.wcrp-climate.org/wgcm/references/CMIP3_BAMS_2007.pdf)

å fremskaffe statistikk over mulige resulterende klimaendringer på grunnlag av et stort antall beregninger som fanger opp det store spennet som forårsakes av naturlige klimasvingninger, og deres vekselvirkning med endringer som følge av drivhusgassutslippene i de ulike samfunnsøkonomiske utviklingsbanene. Empirisk-statistisk nedskalering har også vist seg å være egnet for ekstreme klimahendelser som stormfrekvens<sup>297</sup> og intensitet-varighet-frekvens (IVF)-analyser.<sup>298</sup> Estimeringen var basert på en stormbaneanalyse utført i et internasjonalt samarbeid i IMILAST-prosjektet<sup>299</sup> og som ble etterfulgt av aktiviteter i fellesprosjekter mellom Meteorologisk institutt og Statkraft. Arbeidet med nedskalering av store ensembler førte til nye ideer for evaluering av resultatene som bl.a. ble anvendt innen dekadevarsling i regi av EU-prosjektet FP7-SPECS.<sup>300</sup> Erfaringene fra empirisk-statistisk nedskalering øker den statistiske forståelsen i klimaforskningen.<sup>301</sup>

- 
- 297 Parding, K.M., R.E. Benestad; A. Mezghani; H. Birkelund Erlandsen (2019). Statistical projection of the North Atlantic storm tracks, *J. Appl. Met. Clim.*, <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0348.1> og Benestad, R.E. (2009). On Tropical Cyclone Frequency and the Warm Pool Area *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 635–645.
- 298 Benestad, R., Lutz, J., Dyrddal, A., Haugen, J.E., Parding, K. & Dobler, A. (2021). Testing a simple formula for calculating approximate intensity-duration-frequency curves, *ERL*, 16, 044009, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd4ab>
- 299 Neu, U., M.G. Akperov, N. Bellenbaum, R. Benestad, R. Blender, R. Caballero, A. Cocozza, H.F. Dacre, Y. Feng, K. Fraedrich, J. Grieger, S. Gulev, J. Hanley, T. Hewson, M. Inatsu, K. Keay, S.F. Kew, I. Kindem, G.C. Leckebusch, M.L.R. Liberato, P. Lionello, I.I. Mokhov, J.G. Pinto, C.C. Raible, M. Reale, I. Rudeva, M. Schuster, I. Simmonds, M. Sinclair, M. Sprenger, N.D. Tilinina, I.F. Trigo, S. Ulbrich, U. Ulbrich, X.L. Wang, H. Wernli. (2012). IMILAST – a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms: assessing method-related uncertainties. *Bull. Am. Met. Soc.*, 94, 529–547, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00154.1>
- 300 Benestad, R.E., Caron, L.-P., Parding, K.M., Iturbide, M., Gutierrez Llorente, J.M., Mezghani, A. & Doblas-Reyes, F.J. (2019). Using statistical downscaling to assess skill of decadal predictions, *Tellus A*, 71(1), <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1652882>
- 301 Benestad, R., Sillmann, J., T.L. Thorarinsdottir, Guttorp, P., Mesquita, M.d.S., Tye, M.R., Uotila, P., Maule, C.F., Thejll, P., Drews, M. & Parding, K.M. (2017). New vigour involving statisticians required to overcome ensemble fatigue, *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3393>



**Figur 3.21** Norgeskurven. Temperaturen for Norge vist som avvik fra gjennomsnittsverdien 1971–2000 («normalen»). Meteorologisk institutt har brukt både dynamisk (DD) og empirisk-statistisk nedskalering (ESD) for å beregne hvordan temperatur lokalt blir påvirket av en global oppvarming beregnet i globale klimamodeller (GCM). Her fremstilles projeksjoner for temperaturen i Norge basert på simuleringer i regi av Climate Model Intercomparison Project-5 (CMIP5) simuleringer, og utslippsscenarioet RCP4.5 som tilsvarer omtrent en fordobling av atmosfærens innhold av karbondioksid i år 2100 sammenlignet med førindustriell tid. Kurvene for dynamisk nedskalering (DD) skiller seg noe fra resultatene med empirisk-statistisk nedskalering (ESD) fordi i ESD kalibreres variasjonene med observerte målinger, mens i DD beregnes variasjonene på grunnlag av de matematiske ligningene som beskriver klimaet. ESD er dessuten brukt på hele ensemblet av CMIP5 RCP4.5-kjøringer (gule kurver), og omfatter dermed mange flere modeller enn DD, og ESD-beregningene har derfor en større spredning. Ensemblet som er brukt DD, er kanskje for lite til å gi et tilstrekkelig statistisk utvalg. Disse resultatene viser også hvordan DD og ESD komplementerer hverandre. Kilde: Abdelkader Mezghani, Meteorologisk institutt.

### 3.3.6 Oseanografisk klimaforskning

Lars Petter Røed

I tillegg til tradisjonelle meteorologiske data, som for eksempel vind og nedbør, krever all aktivitet til sjøs også informasjon om oseanografiske parametere som bølger, vannstand (stormflo og tidevann), strøm, sjøtemperatur og isforhold og også i noen grad saltholdighet. Viktigheten av å ha slike data ble tydelig da oppbyggingen av olje- og gassvirksomheten på norsk kontinentalsokkel begynte på 1960- og 1970-tallet. Ikke minst var det avgjørende å ha meteorologiske og oseanografiske data for risikovurderinger, planlegging og drift av slik virksomhet. Mens risikovurderinger og planlegging krever lange tidsserier tilbake i tid (klimadata), krever driftsvirksomheten også varsler fram i tid av de samme parametrene. Meteorologiske og oseanografiske varsler er i tillegg viktig for all annen aktivitet til sjøs, f.eks. ved uhell som mann over bord, forurensningsutslipp til sjø, drivende objekter (fartøy, flåter o.l.), eller andre ulykker.

Å kunne gi slike varsler krever numeriske modeller av samme type som man har for å varsle været. Slik ble derfor oppbyggingen av en havvarslings-tjeneste på linje med værvarslings-tjenesten, en naturlig del av aktivitetene ved Meteorologisk institutt. Som påpekt ble denne aktiviteten trappet kraftig opp i forbindelse med olje- og gassvirksomheten på norsk sokkel. I tillegg har havvarsling på samme måte som for værvarsling nære bånd til klimaforskning, idet varslingsmodellene også kan brukes som klimaforskningsmodeller som beskrevet i kapittel 3.3.3. Klimaet bestemmes i stor grad av utvekslingen av varme og fuktighet mellom de to sfærene luft og hav, og det er derfor nødvendig å ha modeller som kobler dem sammen.

Som for værvarsling er det også for havvarsling nødvendig med måledata. Fra tidlig på 1970-tallet tok offentlige myndigheter i samarbeid med oljeselskapene ansvaret for å samle og vurdere både eksisterende måledata og for å kartlegge behovet for utvidede og nye målinger. I kapitlet om «marine observasjoner» (se kapittel 3.2.11) er det gjort nærmere rede for dette. Statistikk for frekvensen av observasjoner av vind, bølgehøyde, vannstand, strøm, luft- og sjøtemperatur over eller under bestemte grenser er av stor betydning både for offshorevirksomheten og for annen aktivitet til sjøs. Dagens måleserier offshore dekker nå mange tiår og har etter hvert stor verdi også i klimasammenheng for kartleggingen av systematiske og tilfeldige variasjoner over mange tiår.

### 3.3.6.1 Hindcast-arkivet

I kapittel 3.2.11 er utviklingen av Meteorologisk institutts hindcast-beregninger og -arkiv beskrevet. Ved bruk av numeriske værvarslings- og bølgevarslingsmodeller med høy oppløsning for et begrenset område, slik som den norske kontinentalsokkelen, nedskaleres globale reanalyser i første rekke fra ECMWF. Med det oppnås langt mer detaljert informasjon enn hva en global reanalyse kan gi, og er av stor nytte i studier av lokalt klima og klimækstremere knyttet til viktige parametere som vind, nedbør, lufttemperatur og bølger. Slike reanalyser er foretatt for store deler av tidsperioden med tilgang på observasjoner fra satellitter (fra 1979). For perioden 2004–2019 er hindcastarkivet basert på beregninger som inkluderer konvekktive prosesser (ikke-hydrostatisk dynamikk) og med tre kilometers horisontal oppløsning (NORA3). Det er en stor forbedring fra de tidligere arkiver, og størst er forbedringene i komplisert terreng og langs kysten. Ikke minst vindenergiindustrien trenger nå informasjon om vær- og bølgeklime av høy kvalitet og med stor nøyaktighet for bl.a. å kunne dimensjonere offshoreinstallasjoner. Hindcastarkivet er blitt en viktig ressurs i planlegging av all virksomhet på norsk kontinentalsokkel både i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet.<sup>302</sup>

Oppbyggingen av observasjonsdekningen på kontinentalsokkelen og nedskaleringen av globale reanalyser til høyere oppløsning i tid og rom på kontinentalsokkelen og som er tilgjengelige fra hindcastarkivet, viser hvordan klimarelevant oseanografisk forskning ved Meteorologisk institutt har vært drevet av marine næringers og virksomheters behov for tjenester. Det gjelder i kartlegging og utvikling av marine levende ressurser; søk og redning; miljøforurensning; kystforvaltning inklusive oppdrett; bølger; stormflo; sjøisutbredelse, kort sagt forhold som påvirker ferdsel på sjøen, havmiljøet, ressursfangst, olje- og gassutvinning, sikkerheten til havs, havrelaterte investeringer, og forvaltning av kystsonen. Forskningen har vært observasjons- og modellrettet. Kombinasjon av observasjoner og modeller gjennom dataassimilasjon har tilført reanalysene betydelig kvalitet og verdi.

Sett over tid utgjør observasjonsseriene og hindcastberegningene en viktig klimaforsknings-infrastruktur som fra 1970-årene ble bygd opp med et

---

302 Haakenstad, H. (2022). *Norway's marine and terrestrial climate mapped with dynamical downscaling*, PhD-avhandling ved Universitetet i Bergen, 174 s.



operasjonelt, tjenesteorientert sikte for aktiviteten i maritim sektor. Med tiden og med utviklingen i alvoret i klimaendringene har denne infrastrukturen også blitt viktig i klimasystemforskningen og i vurderinger av systematiske endringer som er i gang og som kan utvikle seg videre over tidsrom som f.eks. dekker investeringshorisontene i maritim sektor (50–100 år) og enda lenger. Tjenesteaspektet er en viktig motivasjon også i klimasystemforskningen som Meteorologisk institutt bidrar i.

### 3.3.6.2 *Utvikling av havvarslingsmodeller*

Som beskrevet i kapittel 3.2.11 var det før 1970 ganske få oseanografiske observasjoner som ble samlet inn regelmessig fra norsk sokkel. Før 1970 var disse begrenset til visuelle observasjoner av bølgehøyde fra de bemannede fyrene langs kysten sammen med sjøtemperatur. Ellers ble data for oseanografiske parametere i norske farvann samlet inn forholdsvis regelmessig gjennom tokt foretatt av Havforskningsinstituttet samt i uregelmessige forskningstokt foretatt av norske og utenlandske universiteter og forskningsinstitutter. Med det økende behovet for informasjon, særlig av bølgehøyde utover på 1960-tallet, tok forskerne Odd Haug og Lars Haaland ved Meteorologisk institutt allerede da initiativ til, og utviklet, en varslingsmodell for bølger i norske farvann. Denne ble satt i operativ drift. Denne modellen er senere skiftet ut med de mer avanserte internasjonalt utviklede bølgemodellene WAM og WaveWatch. Forskerne Magnar Reistad og Øyvind Breivik, begge ved Meteorologisk institutts bergenskontor, og Ana Carrasco ved hovedkontoret i Oslo, har vært sentrale i denne utviklingen.

Etter at olje- og gassindustrien etablerte seg på norsk sokkel på 1970-tallet, økte også faren for å få uhell og store oljeutslipp. Som en del av beredskapen ved Meteorologisk institutt ble en modell for oljedrift utviklet på 1970-tallet av forskerne Odd Haug og Lars Haaland. Den manglet dog en viktig parameter, nemlig strøm. For å bøte på dette satte forskere ved Meteorologisk institutt, under ledelse av forsker Eivind A. Martinsen, i 1980 i gang operasjonalisering av en barotrop havmodell (en dybdemidlet, todimensjonal havmodell, også kalt stormflomodellen) utviklet ved Universitetet i Oslo.<sup>303</sup>

---

303 Martinsen, E.A., B. Gjevik & L.P. Røed. (1979). A Numerical Model for Long Barotropic Waves and Storm Surges along the Western Coast of Norway. *J. Phys. Oceanogr.*, 9(6), 1126–1138.

Denne modellen beregnet dybdemidlet strøm i tillegg til vannstand drevet av vinden og trykket ved havoverflaten, og ble satt i operasjonell drift i 1982. Strømberegningen fra denne modellen, sammen med samtidig beregnet vind ved havoverflaten, ble så brukt som pådrag til oljedriftsmodellen i tilfelle av uforutsette oljeutslipp på havet.<sup>304</sup> Fordelen av å operasjonalisere stormflomodellen var at den også ga Meteorologisk institutt mulighetene for i tillegg til værvarselet å varsle ekstrem vannstand eller stormflo, noe som fram til da hadde vært gjort empirisk.<sup>305</sup> Oljeselskapene ønsket seg imidlertid en fullt tredimensjonal, baroklin havmodell som operativ havvarslingsmodell ved Meteorologisk institutt. Det innebar å beregne også den vertikale strukturen av temperatur og saltholdighet i havet slik at strømmen i ulike dyp kunne varsles. Det førte til at et felles prosjekt finansiert av oljeselskapene kalt Metocean Modeling Project (MOMOP) ble satt i gang mot slutten av 1980-tallet.<sup>306, 307</sup> Prosjektet ble ledet av forskerne Bruce Hackett og Lars Petter Røed, og resulterte i at en modell utviklet ved Princeton University i USA kalt ECOM3D (Estuarine, Coastal, and Ocean Circulation Model) ble den nye, operative havmodellen ved Meteorologisk institutt i 1993. Siden ECOM3D kunne anvendes både som en barotrop (todimensjonal) og en baroklin (tredimensjonal) havmodell, ble den brukt både til å varsle vannstandendringer og strømprofilenes variasjon med dypet. Den erstattet dermed den tidligere stormflomodellen. Forskerne Eivind A. Martinsen, Leiv Håvard Slørdal og Harald Engedahl var sentrale i operasjonaliseringen av ECOM3D. Mot andre halvdel av 1990-tallet og begynnelsen av 2000-tallet var særlig forskerne Jens Debernard, Øyvind Sætra og Harald Engedahl under ledelse av Lars Petter Røed sentrale i å få inn nye elementer i ECOM3D, særlig den vertikale blandingsdelen som var viktig for vars-

---

304 Det norske meteorologiske institutt. Årsberetning 1985, s. 116, årsberetning 1986 s. 108.

305 Johansen, S. (1959). «On the effect of meteorological conditions upon the height of the sea level at the coast of southern Norway». In: *Met. Ann.* 14, Det norske meteorologiske institutt.

306 Røed, L.P., Hackett, B., Gjevik, B. & Eide, L.I. (1995). A Review of the Metocean Modeling Project (MOMOP). Part 1: Model Comparison Study. In: *Quantitative Skill Assessment for Coastal Ocean Models* (Red. D.R. Lynch & A.M. Davies, Coastal and Estuarine Studies, American Geophysical Union), 47, 285–305.

307 Hackett, B., Røed, L.P., Gjevik, B., Martinsen, E.A. & Eide, L.I. (1995). A Review of the Metocean Modeling Project (MOMOP). Part 2: Model Validation Study. In: *Quantitative Skill Assessment for Coastal Ocean Models* (red. D.R. Lynch & A.M. Davies, Coastal and Estuarine Studies, American Geophysical Union), 47, 307–327.

lingen av tetthetsfordelingen med dypet. Det førte til at modellversjonen av ECOM3D som Meteorologisk institutt brukte, etter hvert ble kalt MIPOM (Meteorologisk institutts Princeton Ocean Model).

Utviklingen av havvarslingsmodeller inklusive modeller for varsling av forekomst av sjøis for kontinentalsokkelen, ble ut over på 1990-tallet og 2000-tallet gjort i fellesprosjekter finansiert delvis av oljeindustrien, Norges forskningsråd (f.eks. gjennom RegClim beskrevet i kapittel 3.3.3) og EUs rammeprogram for forskning. I disse prosjektene ble også andre barokline havmodeller enn MIPOM testet ut, bl.a. OSMOM (Oslo Multilayer Ocean Model)<sup>308</sup> som senere ble erstattet av Miami Isopycnic<sup>309</sup> Coordinate Ocean Model (MICOM)<sup>310</sup>, og Hybrid Coordinate Ocean model (HYCOM). Sentrale her var forskerne Xiaobing Shi, Bruce Hackett og Arne Melsom. Bruce Hackett var også sentral i utviklingen av en modell for vurdering av vannkvalitet og havforurensning i Nordsjøen.<sup>311</sup> Dette arbeidet kom i stand for å støtte forvaltningens oppfølgingsansvar bl.a. i forbindelse med avrenning fra elvene rundt Nordsjøbassenget og spredning av forurensninger som var en del av det nasjonale rapporteringskravet i OSPAR-konvensjonen ([www.ospar.org/about](http://www.ospar.org/about)). Utover på 1990-tallet og fram til i dag er havmodelleringen (i tillegg til bølgemodellering) ved Meteorologisk institutt knyttet til vannstand (stormflo og tidevann), strøm, havtemperatur, sjøis, oljedrift og transport av ulike uønskede utslipp til sjø innbefattet radioaktivitet i norske farvann.<sup>312</sup> Havmodelleringen er dermed blitt en viktig og nødvendig del av Meteorologisk institutts tjenesteyting i forbindelse med varsler av ekstreme vannstandshendelser<sup>313</sup> og som pådrag til ulike beredskapsmodeller i tilfelle av uhell til sjøs. For eksempel er redningstjenesten, representert ved Hovedredningssentralen og Kystvakten, helt avhengig av mest mulig korrekte vær-

308 Røed, L.P. (1995). *Documentation of the Oslo Mesoscale Ocean Model – OSMOM. Part 1: The governing equations*, DNMI Research Report, No. 24, Oslo, July 27.

309 Flater med konstant tetthet.

310 Det norske meteorologiske institutt. Årsberetning 1990, s. 95.

311 Hackett, B., Røed, L.P., Ulstad, C. & Engedahl, H. (1995). *Numerical simulation of the circulation of the Outer Oslofjord, with budget calculations for passive tracers*. DNMI Research Report, No. 26, Oslo, December 1.

312 Det norske meteorologiske institutt. Årsberetning 1991 s. 116–118.

313 Kristensen, N.M., Røed, L.P. & Sætra, Ø. (2022). A forecasting and warning system of storm surge events along the Norwegian coast. *Environ Fluid Mechanics* s. 1–23, <https://doi.org/10.1007/s10652-022-09871-4>

og havvarsler i forbindelse med mann over bord, drivende objekter (skip, flåter) eller uhell som medfører uønskede utslipp til sjø. Til dette trenges modeller som kan beregne trajektorier for hvor utslipp til sjø havner. Til dette formålet er det i de siste ti år utviklet en avansert modell kalt OpenDrift ved Meteorologisk institutt. I denne utviklingen har forskerne Knut Frode Dagestad, Johannes Röhrs og Øyvind Breivik ved Meteorologisk institutt og Bjørn Ådlandsvik ved Havforskningsinstituttet vært sentrale.<sup>314</sup>

Utover på 2000-tallet ble det klart at MIPOM måtte erstattes av en mer moderne tredimensjonal havmodell. Det var da allerede tre slike modeller i bruk i Norge. Det var MIPOM ved Meteorologisk institutt, ROMS (Regional Ocean Modeling System) ved Havforskningsinstituttet og HYCOM ved NERSC. Med finansiering fra oljeselskapene ble det satt i gang et prosjekt (CONMAN) for å sammenligne disse tre modellene. Resultatet av prosjektet pekte på ROMS<sup>315</sup> som den beste kandidaten, og denne ble så operasjonalisert, men ikke satt i operasjonell drift før i 2013. Den dag i dag er ROMS Meteorologisk institutts operasjonelle, tredimensjonale havmodell for varsling av vannstand (inklusive tidevann), strøm, havtemperatur og saltholdighet, men er i dag koblet til en moderne sjøismodell CICE (den samme sjøismodellen som i NorESM, se kapittel 3.3.4), samt at dataassimilering av in situ og satellittobservasjoner av oseanografiske parametere er utviklet.<sup>316, 317</sup> Forskerne Ann Kristin Sperrevik, Kai Håkon Christensen og Nils Melsom Kristensen, Øyvind Sætra mfl. ved Meteorologisk institutt, og med bidrag fra forskere ved Havforskningsinstituttet (særlig Bjørn Ådlandsvik, Einar Svendsen, Lars Asplin, Vidar Lien og Frode Vikabø) og Nansen senter for miljø- og fjernmåling (NERSC) (særlig Johnny Johannessen og Laurent Bertino) har vært sentrale i denne utviklingen.

314 Dagestad, K.-F., Röhrs, J., Breivik, Ø. & Ådlandsvik, B. (2018). OpenDrift v1.0: a generic framework for trajectory modelling, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1405–1420, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-1405-2018>

315 LaCasce, J.H., Røed, L.P., Bertino, L. & Ådlandsvik, B. (2007). *CONMAN Technical Report No. 2: Analysis of model results*. MET Report no. 5/2007 Oceanography, Norwegian Meteorological Institute.

316 Röhrs, J., Sperrevik, A.K. & Christensen, K.H. (2018). *NorShelf: A reanalysis and data-assimilative forecast model for the Norwegian Shelf Sea: Documentation of ocean model setup*. MET report No. 04/2018, Oceanography, p. 37.

317 Christensen, K.H., Sperrevik, A.K. & Broström, G. (2018). On the Variability in the Onset of the Norwegian Coastal Current. *J. Phys. Oceanogr.*, 48(3), <https://doi.org/10.1175/JPO-D-17-0117.1>

ROMS i operasjonell drift ved Meteorologisk institutt anvendes nå i et oppsett der modellen har ulike oppløsninger hvor den groveste dekker et større område (kalt NorShelf) og hvor andre mindre områder med høyere oppløsning såsom Baltic-2.5 (2,5 km oppløsning), NorKyst800<sup>318</sup> (800 m oppløsning) og FjordOs (40–200 m oppløsning) er nøstet inn slik at resultatene fra den groveste modellen blir brukt som randbetingelser for modellene med suksessivt høyere oppløsning.

### 3.3.6.3 *Oseanografisk modellering som bidrag til Meteorologisk institutts tjenesteyting*

Meteorologisk institutt har nasjonalt ansvar for varsling av bølger, ekstrem vannstand (stormflo) og varsler for spredning og drift av oljeutslipp. Disse tjenestene utføres ved Vervarslinga på Vestlandet. Instituttet har også ansvaret for overvåking av isforholdene i de nordlige havområder gjennom Istjenesten ved Vervarslinga for Nord-Norge i Tromsø. Forskningen i oseanografi ved instituttet har som oppgave å sørge for at de numeriske modellene som benyttes i tjenesteproduksjonen, er i samsvar med de beste internasjonalt.

### 3.3.6.4 *Internasjonalt og nasjonalt samarbeid om havvarsling*

Det er stor bevissthet om hvilke havrelaterte verdikjeder som Meteorologisk institutt har ansvaret for. En vesentlig del av den nasjonale, operasjonelle beregningen av 4-dimensjonal informasjon for marin fysikk og dynamikk i nære og til dels også i fjernere farvann som er relevant for norske marin forvaltning, utføres ved Meteorologisk institutt. De operasjonelle tjenestene er brukerinformerte og forskningsdrevne, og ofte er det slik at lange tidsserier basert på oseanografiske tjenester er viktige både for planlegging og drift av marine aktiviteter og investeringer, og fungerer også som klimaforskningsinfrastruktur.

Den tjenesteorienterte, oseanografiske forskningen er utviklet i et samarbeid med nasjonal og internasjonal forskning. Marin sektor, ikke minst knyttet til olje- og gassproduksjonen, har vært en viktig kilde til pre-

---

318 Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A.D., Vikebø, F. & Asplin, L. (2011). Nor-Kyst-800 Report No. 1: User manual and technical descriptions. *Fisken og havet* 2/2011.

misser, erfaringer og finansiering av forskningen. Nasjonalt er samarbeidet med Havforskningsinstituttet og NERSC i Bergen av særlig stor viktighet. Mens samarbeidet med Havforskningsinstituttet raskt ble etablert allerede på 1990-tallet, ble samarbeidet med NERSC for alvor først etablert på 2000-tallet gjennom prosjektet OPNet finansiert av Norges forskningsråd (2007–2010). Meteorologisk institutt, Havforskningsinstituttet og NERSC prøvde for eksempel under ledelse av Johnny A. Johannessen ved NERSC å få til et Senter for fremragende forskning (SFF) omkring operasjonell oseanografi, men uten å lykkes. Det ga imidlertid spiren til et tett nasjonalt samarbeid om det som i dag er det EU-finansierte Copernicus-programmet innen havmiljøovervåking og -varsling, og som er av økende betydning for utviklingen i internasjonal havovervåking. Meteorologisk institutts viktigste rolle i dette samarbeidet er å sørge for at varsler for nordlige, havområder foreligger og distribueres 24/7, og samtidig samarbeide tett med de to andre institusjonene om å utvikle både tjenesten og modellgrunnet videre.

### 3.3.6.5 *Oseanografi som bidrag til Meteorologisk institutts klimaforskning*

Oseanografisk klimaforskning har først og fremst vært en del av oseanografisk forskning og tjenesteproduksjon med en kort tidshorisont på dager til uker og kanskje sesong (is), og der klimaaspektet først blir tydelig når tidsseriene blir lange (sesonger og år).

Det var først med etableringen av RegClim-prosjektet i 1997 at oseanografi ved Meteorologisk institutt for alvor ble en del av klimasystemforskningen (se kapitlene 3.3.2 og 3.3.3 om RegClim). Drivmekanismene bak og mulige endringer i de varme overflatestrømmene i De nordiske hav var det ene hovedfokuset i RegClim. Den observerte temperaturøkningen i dypet under værskipet «Polarfront» i Norskehavet, gjorde dette til et tema med opplagt tyngdepunkt i Bergen (UiB, Havforskningsinstituttet, NERSC) og blant oseanografene ved Meteorologisk institutt.

Observasjonsteknologi er et viktig element i Meteorologisk institutts oseanografiske klimarelaterte forskning, først og fremst fjernmåling fra satellitt og gjennom samarbeidet i Satellite Application Facility on Ocean and Sea Ice (OSI-SAF) i EUMETSAT, men i økende grad også basert på in situ observasjoner eller andre typer fjernmålte data enn de satellittbaserte, som glidere, Argos-floats, HF-radar osv. Det er vesentlig å utvikle observa-

sjonssystemene for marine tjenester og klima ytterligere, med vekt på jordsystemforståelsen og interoperabilitet mellom jordsystemkomponentene. Nasjonalt betyr det at det ligger et særlig ansvar på Meteorologisk institutt, Havforskningsinstituttet, Norges vassdrags- og energidirektorat og Norsk Polarinstitutt om samarbeid og samordning av prioriteringer.

Meteorologisk institutts oseanografiske forskning har en gjennomgående klimarelevans. Den operasjonelle infrastrukturen for modeller og observasjoner er i stor grad også forskningsinfrastrukturen, og er dermed en «tykk» erfaringsbasis under Meteorologisk institutts forskning og tjenesteproduksjon. Dette er i prinsippet en fruktbar basis både for å finne de beste veiene framover i utviklingen av tjenester av høy kvalitet og relevans, og i identifisering og utforskningen av mer grunnleggende problemstillinger knyttet til viktige prosesser i klimasystemet.

Meteorologisk institutt har et jordsystemperspektiv framover i forskningen på modell- og observasjonssystemer som sett under ett beskriver eksplisitt de viktigste prosessene som bestemmer variasjon og utvikling i fysiske og dynamiske egenskaper i havet. Den operasjonelle infrastrukturen inneholder også «verktøykassen» for forskning. Her har det vært en større grad av spredning i ressursbruk og innsats tidligere på ulike, konkurrerende systemer, men instituttet har i dag modelloppsett konsentrert over to operasjonelle systemer, for henholdsvis kystnære farvann og for Arktis.

### 3.3.7 Atmosfærekjemisk forskning i klimasammenheng

Øystein Hov

I atmosfærekjemisk klimaforskning er målet å bestemme konsentrasjonsfordelingen av drivhusgasser og partikler og bestemme deres bidrag til energibudsjetten i jord-atmosfæresystemet. Metan, lystgass, ozon og klorfluorkarboner er de viktigste kjemisk aktive drivhusgassene. CO<sub>2</sub> omdannes ikke i atmosfæren. Atmosfærekjemi er et forholdsvis ungt forskningsfelt der det bare var en håndfull forskere på verdensbasis på 1950-tallet, ofte kjemikere som gjorde eksperimentelle bestemmelser av hastighetskonstantene for kjemiske reaksjoner som ble vurdert å være av relevans for den kjemiske omsetningen i atmosfæren. Fra midten på 1960-tallet og framover utviklet atmosfærekjemi seg langsomt til et mer sentralt fag innenfor meteoro-

logi og jordsystemforståelse. Luftforurensninger, sur nedbør, eutrofiering og vannkvalitet, miljøgifter, ozonlagsnedbrytning, klimaforandringer, havforurning, artsmangfold, avlingsskader i landbruket, helsepåvirkning, atmosfærisk sikt, spredning av radioaktivitet og vulkansk aske, i alle disse temaene utgjør atmosfærens kjemiske omsetning en viktig kjerne, og den er i mange tilfeller tett sammenkoblet med resten av jordsystemet – både den kultiverte og den naturlige delen av landjorda, hav, is og antropogen aktivitet.

Atmosfærekjemisk klimaforskning i Norge har først og fremst hørt hjemme ved Institutt for geofag ved Universitetet i Oslo, ved NILU og etter hvert ved CICERO og Meteorologisk institutt. Atmosfærekjemisk klimaforskning har utviklet seg i forlengelsen av både modellbasert og observasjonsbasert forskning. Dette gjelder i første rekke NILUs kartlegging av lokale forurensninger i norske byer og industristeder fra begynnelsen av 1970-tallet, og sur-nedbør-forskningen ved NILU som også begynte tidlig på 1970-tallet og der Meteorologisk institutt har vært involvert fra slutten av 1970-tallet. Forskningen ved Institutt for geofag (daværende Institutt for geofysikk) ved Universitetet i Oslo begynte på slutten av 1960-tallet og var knyttet til ozonlagsutviklingen og andre atmosfærekjemiske forurensnings-spørsmål. Dette ble også en del av CICEROs agenda fra opprettelsen i 1990. Både ved NILU, Meteorologisk institutt, Institutt for geofag ved UiO og CICERO er det i dag en ganske omfattende atmosfærekjemisk klimaforskning, modellbasert ved de tre siste institusjonene, mens NILU ikke minst driver et viktig atmosfærekjemisk observasjonsarbeid av stor klimarelevans i Norge, i Ny-Ålesund på Svalbard og i de senere år også på Trollstasjonen i Antarktis.<sup>319</sup>

### 3.3.7.1 *Tilbakeblikk, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo og Meteorologisk institutt*

Framveksten av disse miljøene er i liten grad dokumentert, samtidig som enkelte i perioder har vært verdensledende og har hatt stor betydning for fremforhandlingen og opprettholdelsen av flere internasjonale utslippsavtaler. Det gjelder først og fremst Convention on Long Range Transport of Air Pollutants (CLRTAP) under UN Economic Commission for Europe,

---

319 [https://www.nilu.no/wp-content/uploads/2020/11/strategi-kort-NILU-2018\\_endelig\\_web.pdf](https://www.nilu.no/wp-content/uploads/2020/11/strategi-kort-NILU-2018_endelig_web.pdf)



Montrealprotokollen under Wienkonvensjonen om reduksjon av utslipp av ozonlagsnedbrytende kjemikalier og Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) under United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Videre gjelder det Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic (OSPAR-konvensjonen), HELCOM-Baltic Marine Environment Protection Commission som er en mellomstatlig organisasjon som styrer konvensjonen om beskyttelse av det marine miljøet i Østersjøområdet, Stockholmkonvensjonen under FN om persistente organiske forurensninger og Minamata-konvensjonen under UN Environment (UNEP) om beskyttelse av menneskers helse og miljøet mot menneskeskapt utslipp og utslipp av kvikksølv og kvikksølvforbindelser. I det følgende skisseres utviklingen av norsk atmosfærekjemisk forskning med hovedvekt på perioden fra slutten av 1960-tallet og fram til årtusenskiftet.

Professor Eigil Hesstvedt (1920–1979) startet modellbasert atmosfærekjemisk forskning i Norge, ved institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo. Han var anvendt matematiker, flyværmeteorolog 1949–1961 og dr.philos. ved Universitetet i Oslo i 1961 på en avhandling om dannelse av perlemorskyer, som kan skje ved kondensasjon av vanndamp ved svært lave temperaturer. På 1950-tallet var han flymeteorolog på Fornebu og knyttet til Vitenskapsakademiets institutt for teoretisk vær- og klimaforskning som Einar Høiland ledet.

Kanskje han valgte et helt «nytt» forskningsfelt fordi det allerede var verdensledende forskere i Norge i dynamisk meteorologi, og ikke så lett å slippe til? I 1961–1962 var han lektor ved Meteorologiska institutionen ved universitetet i Stockholm, og fra 1962 til sin død i 1979 var han ansatt ved UiO, fra 1966 som professor (etter Halvor Solberg). Hesstvedt var tidlig interessert i hvordan atmosfærisk transport var medbestemmende for den kjemiske sammensetningen av stratosfæren. Fra tidlig på 1970-tallet deltok han i The Climatic Impact Assessment Program (CIAP) of the U.S. Department of Transportation,<sup>320</sup> der målet var å vurdere miljøpåvirkningen av fremtidige fly i stratosfæren. Sluttrapporten som han bidro til, gir en oversikt, stort sett fra et eksperimentelt synspunkt, av hva som var kjent i 1974 om

---

320 <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1975ida..reptQ...../abstract>

den «naturlige» stratosfæren, om stratosfæredynamikk, fotokjemien som er viktig for ozonmengdene og deres fordeling, solinnstråling og total strålingsenergi-balanse, kjemisk reaktive sporgasser i tillegg til ozon, og hvordan utslipp fra stratosfærefly i første rekke av nitrogenoksider og vanddamp, kunne påvirke kjemisk sammensetning og strålingsbalanse. Hesstvedt bidro med todimensjonale modellberegninger av ozonfordelingen fra pol til pol og med høyden i stratosfæren, og hvordan utslipp av vanddamp og nitrogenoksider fra en flåte med overlydsfly kunne endre ozonlagets tykkelse og høydefordeling. Dette hadde en klar klimarelevans i og med at ozon og vanddamp er viktige klimagasser, dette var imidlertid ikke særlig påaktet på den tiden, og hovedvekten i CIAP var på ozonlagets endring og konsekvensene for nivået av ultrafiolett stråling ved jordoverflaten.

Professor Ivar Isaksen (1937–2016) var Eigil Hesstvedts student, cand.real. i meteorologi 1967 og dr.philos. ved Universitetet i Oslo i 1973.<sup>321</sup> Han overtok professoratet etter Hesstvedt i 1981<sup>322</sup> og førte fagfeltet videre først og fremst gjennom utviklingen av atmosfærekjemiske modeller som ble anvendt på ulike problemstillinger. Slike modeller beskriver den kjemiske omvandlingen av utslipp av nitrogenoksider, flyktige organiske stoffer, svovelkomponenter, ammoniakk, partikler og halogener, til sekundære komponenter som ozon, nitrat- og sulfatpartikler, organiske partikler, hydrogenperoksid og en rekke andre forurensninger. Titalls og i større modeller hundretalls koblede partielle differensialligninger må løses, en for tendensen av hvert kjemisk sporstoff. Differensialligningene uttrykker hvordan vindhastigheten (adveksjon), turbulent blanding, kjemisk produksjon og tap inkludert virkningen av fotokjemi, avsetning og andre tapsmekanismer som opptak i nedbørdråper, endrer konsentrasjonen av hver enkelt kjemisk komponent som en funksjon av tid og posisjon. Den numeriske løsningen av et slikt sett differensialligninger er vanskelig fordi tidskonstantene varierer sterkt ligningene imellom, fra nanosekunder til måneder eller år eller lenger.

321 Diurnal variations of atmospheric constituents in an oxygen-hydrogen-nitrogen-carbon atmospheric model, and the role of minor neutral constituents in the chemistry of the lower ionosphere.

322 Det var strid om professoratet skulle gå til den fremste søkeren innenfor dynamisk forskning (Hans Økland) eller til Ivar Isaksen i atmosfærekjemi, som var et ubetydelig fagfelt innen meteorologi i manges øyne. Under diskusjonen om ansettelsen i fakultetsrådet kom flertallet på Isaksens og atmosfærekjemiens side da professor Ivar Rosenqvist slo fast at «Nytt land brytes ikke midt på jorden, men i utkanten».

Det betyr at tradisjonelle numeriske integrasjonsmetoder bryter sammen fordi tidsskrittet i starten tvinges til å bli en brøkdel av den korteste tidskonstanten (nanosekunder). Professor Hesstvedt hadde matematikk hovedfag, og var en pioner i utviklingen av numeriske løsningsmetoder for slike ligninger,<sup>323</sup> og sammen med Ivar Isaksens og hans studenters videreutvikling<sup>324</sup> bidro dette til at norske forskningsmiljøer var internasjonalt ledende fra 1970- og til langt inn i 1990-årene i utviklingen og anvendelsen av atmosfærekjemiske modeller.

Ivar Isaksen spilte en viktig rolle som ekspert i fremforhandlingen av Montrealprotokollen om reduksjon av utslippene av kjemiske stoffer som bryter ned ozonlaget og i oppfølgingen av internasjonale tiltak i etterkant, ikke minst i Kina som rådgiver for Det globale miljøfondet, GEF, som ble opprettet i 1991 for å delfinansiere miljøprosjekter med global betydning i u-land og noen tidligere østblokkland. Fondet kanaliserte statlig støtte fra giverland til prosjekter og programmer i utviklingsland og som tjener det globale miljøet.

I 1980 hadde Ivar Isaksen og kolleger et innlegg i *Nature* om hvordan økningen i atmosfærisk CO<sub>2</sub> kan påvirke ozonlaget,<sup>325</sup> og i 1985 var Ivar Isaksen medforfatter av en gjennomgang av kunnskapen om «Trace gas effects on climate» i regi av NASA,<sup>326</sup> altså hvordan sporgasser som har en drivhuseffekt påvirker temperaturutviklingen i troposfæren og stratosfæren. Metankonsentrasjonen i atmosfæren har vært økende i mange tiår, og den kjemiske nedbrytningen av metan blir langsommere når konsentrasjonen øker, altså en selvforsterkende effekt.<sup>327</sup> Etter opprettelsen av

---

323 Hesstvedt, E., Hov, Ø. & Isaksen, I.S.A. (1978). Quasi steady state approximations in air pollution modelling. Comparison of two numerical schemes for oxidant prediction. *International Journal of Chemical Kinetics*, X, 971–994.

324 Ivar Isaksens to første doktorgradsstudenter var Øystein Hov, dr.philos. (1982). *Models of the chemical turnover in the atmospheric boundary layer*, og Frode Stordal, dr.scient. (1983). *The stratospheric ozone layer: Numerical model investigations of human influences*.

325 Isaksen, I.S.A., E. Hesstvedt & F. Stordal (1980). Stratospheric cooling from CO<sub>2</sub> on the ozone layer, *Nature*, 283, 189–191, <https://doi.org/10.1038/283189a0>

326 Ramanathan, V., L.B. Callis Jr., R.D. Cess, J.E. Hansen, I.S.A. Isaksen, W.R. Kuhn, A. Lacis, F.M. Luther, J.D. Mahlman & Reck, R.A. (1985). Trace gas effects on climate, in *Atmospheric Ozone 1985. Assessment of our Understanding of the Processes Controlling its Present Distribution and Change*, Volume 3, 76 p. (SEE N86-32897 24-46), <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1985aozu....3....R/abstract>

327 Isaksen, I.S.A. & Hov, Ø. (1987). Calculation of trends in the tropospheric concentration of O<sub>3</sub>, OH, CH<sub>4</sub> and NO<sub>x</sub>. *Tellus*, 39B, 271–285.

CICERO i 1991 tok Ivar Isaksen i en bistilling en aktiv rolle i oppbyggingen av den naturfaglige forskningen der og la vekt på kartleggingen av klimabetydningen av ulike sporgasser der storparten av utslippene ofte er menneskeskapte. Dette var kunnskap som var etterspurt av norske myndigheter i forbindelse med kartleggingen av nasjonale klimabidrag i form av strålingspådriv, som en oppfølging av begynnende internasjonale forpliktelser i tilknytning til UNFCCC.<sup>328</sup> Beregninger av endring i strålingspådriv som en følge av endringer i konsentrasjon og fordeling av drivhusgasser og partikler ble etter hvert et viktig element i IPCCs vurderinger av klimaeffekter av ulike drivhusgasser og i rangeringen av hvilke drivhusgasser som det var mest om å gjøre å regulere utslippene av, og her var det viktige bidrag fra miljøet ved CICERO.<sup>329</sup> Klimaresponsen på endring i strålingspådriv var foreløpig utenfor rekkevidde å beregne siden det krever anvendelse av koblet dynamikk og beregning av strålingspådriv slik som det gjøres i globale sirkulasjonsmodeller, GCM. Ivar Isaksen orienterte seg her i retning av samarbeid med et amerikansk forskningsmiljø ved State University of New York i Albany i USA.<sup>330</sup>

I en oversiktsartikkel om europeisk atmosfærekjemisk klimaforskning med Ivar Isaksen som hovedforfatter<sup>331</sup> er det medforfattere fra Meteorologisk institutt (Rasmus Benestad og Michael Gauss).<sup>332</sup> Michael Gauss har også vært medforfatter av en AMAP-vurderingsrapport om klimapådrivet fra metan og med hovedvekt på konsekvensene av endringer i metanutslippene i Arktis.<sup>333</sup> Som påpekt annetsteds i denne artikkelen så var Mete-

328 Isaksen, I.S.A. (1991). *Betydningen av CF<sub>4</sub> og C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> som klimagasser*. CICERO Policy Note, 1991 – core.ac.uk.

329 Fuglestedt, J.S., I.S.A. Isaksen & W.-C. Wang (1994). *Direct and indirect global warming potentials of source gases*, CICERO Research Report 1994:1, 76 p.

330 Wang, W.-C. & I.S.A. Isaksen (1994). A Report on Workshops: General Circulation Model Study of Climate–Chemistry Interaction, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 75, 1671–1675.

331 Isaksen, I.S.A., C. Granier, G. Myhre, T.K. Berntsen, S.B. Dalsøren, M. Gauss, Z. Klimont, R. Benestad, P. Bousqueti, W. Collins, T. Cox, V. Eyring, D. Fowler, S. Fuzzi, P. Jöckel, P. Laj, U. Lohmann, M. Maione, P. Monks, A.S.H. Prevot, F. Raes, A. Richter, B. Rognerud, M. Schulz, D. Shindell, D.S. Stevenson, T. Storelvmo, W.-C. Wang, M. van Weele, M. Wild, D. Wuebbles (2009). Atmospheric composition change: Climate–Chemistry interactions. *Atmospheric Environment*, 43, 5138–5192.

332 Michael Gauss var Ivar Isaksens PhD-student nr. 8, «Impact of aircraft emissions and ozone changes in the 21st century: 3-d model studies» og ble ansatt på Meteorologisk institutt i 2006 som en del av EMEP-prosjektgruppen.

333 AMAP Assessment 2015: Methane as an Arctic climate forcer. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. vii + 139 pp.

orologisk institutt ikke nevneverdig involvert i klimasystemforskning før på slutten av 1990-tallet gjennom RegClim. Kontakten med Ivar Isaksens gruppe ved Institutt for geofysikk og CICERO skjedde bl.a. gjennom rekruttering av forskere derifra særlig til det europeiske forurensningsarbeidet i EMEP-prosjektet. Etter hvert har arbeidet i EMEP omfattet mange problemstillinger som også er klimarelevante (knyttet til observasjonssystemet, ozon og partikkeldannelse, nitrogenkretsløpet, deponisjon på bakken, verifikasjon av modellberegninger), og omvendt så har klimaendringene konsekvenser for regionale forurensningsspørsmål, og områdene som er felles og overlappende er økende – f.eks. er biodiversitetsutviklingen og energiomstillingen fra fossilt til fornybart, sterkt koblet til klimaendringene. I energiomstillingen må høstingen av energi fra fossile kilder under bakken flyttes til høsting av vær- og klimaavhengig energi på jordoverflaten (vind, sol, vann, biomasse) og vil få store konsekvenser for arealdisponeringen og økosystemforvaltningen i alle land.

Et godt eksempel på hvordan EMEP-arbeidet og klimasystemforskningen konvergerer, er en undersøkelse av hvordan de europeiske forurensningene, først og fremst av utslipp av  $\text{SO}_2$ , nitrogenoksider og flyktige organiske gasser og partikler, fra begynnelsen av industrialiseringen og fram til i dag kan ha bidratt betydelig til den realiserte oppvarmingen av Arktis i løpet av de siste 30–40 år. Den arktiske regionen varmes opp mye raskere enn resten av kloden. Som et resultat av tiltak for å forbedre luftkvaliteten har menneskeskapte utslipp av svevestøv og dets forløpere gått drastisk ned på deler av den nordlige halvkule siden 1980. Simuleringer i et samarbeid mellom Stockholms universitet og Meteorologisk institutt med jordsystemmodellen NorESM viser at sulfataerosolreduksjonene i Europa siden 1980 kan forklare en betydelig del av arktisk oppvarming i denne perioden. Nærmere bestemt mottar den arktiske regionen ytterligere  $0,3 \text{ W m}^{-2}$  energi, og varmes opp med  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  i årlig gjennomsnitt i simuleringer med synkende europeiske svovelutslipp i tråd med historiske observasjoner, sammenlignet med en modellsimulering med faste europeiske utslipp på 1980-nivå. Arktisk oppvarming forsterkes hovedsakelig om høsten og vinteren, men oppvarmingen initieres om sommeren av en økning i innkommende solstråling og marin og atmosfærisk varmetransport nordover. Energoverskuddet om sommeren reduserer havisdekket og øker med det overføringen av varme fra polhavet til atmosfæren. Reduksjon av luftforurensningene på den nordlige

halvkule, havet og atmosfærisk sirkulasjon, og arktisk klima er iboende knyttet sammen.<sup>334</sup>

### 3.3.7.2 NILU og Meteorologisk institutt

Omtrent samtidig som Eigil Hesstvedt begynte å interessere seg for atmosfærisk fotokjemi på slutten av 1960-tallet, ble NILU etablert som et forskningsinstitutt i 1969 under Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd, NTNF, på linje bl.a. med NIVA som ble etablert i 1957. NILUs første lokalisering var på samme tomt som Institutt for atomenergi (IFA), og dit vendte NILU tilbake i eget bygg i 1994. IFA var da blitt til Institutt for energiteknikk (IFE, fra 1980). Forsvarets forskningsinstitutt er nærmeste nabo.

Brynjulf Ottar (1918–1989) var instituttets første direktør (1969–1989). Han var fysikalsk kjemiker, og var assistent for professor og nobelprisvinner i kjemi (1969), Odd Hassel, rett etter andre verdenskrig. Ottar var forsker ved Forsvarets forskningsinstitutt og ledet avdelingen for stridsgasser, og på 1960-tallet stod han i spissen for feltforsøk for å finne ut hvordan stridsgasser og tåkelegging i selvforsvar kan spres i norske fjorder f.eks. i Nord-Troms. NILU ble bygget opp med to hovedmål, det ene var å forstå og deretter foreslå tiltak som kunne redusere forurensningsbelastningen i norske byer og rundt kjemisk og metallurgisk industri. Det andre var å forstå og finne tiltak som kunne redusere langtransporten av sur nedbør til Norge og Skandinavia.

Ottar var en entreprenør og organisasjonsbygger.<sup>335</sup> Han forsto hvordan analysen av et så komplekst problem som sur nedbør måtte basere seg på teknologiutvikling (instrumenter, dataforvaltning), politisk innsikt og oppfølging gjennom forvaltningen, økonomisk grunnlag via involverte institusjoner og forvaltningen, forskningssamarbeid mellom anvendt instituttsektor og akademia, og med internasjonal forankring som stod i forhold til miljøproblemets utstrekning (Europa inkludert den europeiske delen av Sovjetunionen; i dag, Russland, Belarus, Ukraina og landene i Kaukasus).

334 Acosta Navarro J.C., V. Varma, I. Riipinen, Ø. Seland, A. Kirkevåg, H. Struthers, T. Iversen, H.-C. Hansson & A.M.L. Ekman (2016). Amplification of Arctic warming by past air pollution reductions in Europe. *Nature Geoscience*, 9, [www.nature.com/naturegeoscience](http://www.nature.com/naturegeoscience)

335 Grennfelt, P. & Hov, Ø. (2022). How a small international organisation Nordforsk and Nordic Council of Ministers became instrumental for policy development and forming legacy within the field of air pollution. Manuskript under utarbeidelse.

Ottar, B. (1975). *Årsakene til nedbørens forsurening*. Nordforsk 1975:10, 114 p.

Bakgrunnen for Ottars organisatoriske innsikter har nylig vært gjenstand for en omfattende drøfting utgitt i bokform, og de stammer trolig i ikke liten grad fra hans erfaring som hemmelig agent under andre verdenskrig og i den strengt hemmelige oppbyggingen av selvorganiserte forsvarsceller etter krigen. Dette er ny (2021) innsikt som ikke var kjent tidligere fordi den var underlagt streng taushet i hvert fall fram til Brynjulf Ottars død i 1989.<sup>336</sup>

Under hans ledelse vokste det nordiske og etter hvert det europeiske sur-nedbør-samarbeidet fram med NILU og etter hvert Meteorologisk institutt i sentrale roller som hhv. Chemical Coordinating Centre (CCC) og Meteorological Synthesizing Centre-West (MSC-W) i EMEP.<sup>337</sup> Anton Eliassen var den første lederen av MSC-W og deltok i flere tiår som ekspert i policyforhandlingene i Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP, som EMEP var forsknings- og utredningsorganet for.

Fram til utpå 1990-tallet var den klimarelaterte delen av NILUs forskningsvirksomhet knyttet til oppbyggingen av observasjoner, i første rekke på Birkenes nord for Kristiansand og i Ny-Ålesund på Svalbard.<sup>338, 339</sup>

### 3.3.7.3 Internasjonale forbindelser

Det norske forskningsmiljøet i atmosfærekjemi har hatt et omfattende internasjonalt engasjement både i sammenhenger med en tydelig klimaoverskrift og i sammenhenger med klimaforskningsrelevans, fra begynnelsen av 1980-tallet og framover. På nordisk plan kan nevnes Arbeidsgruppen for hav og

336 Arnulf, J.K. (2021). *Den norske atomlandsbyen. Om tungtvannets tause forsvarsverk*. Universitetsforlaget, 367 s.

337 The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe (inofficially 'European Monitoring and Evaluation Programme' = EMEP) is a scientifically based and policy driven programme under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) for international co-operation to solve transboundary air pollution problems. <https://emep.int/> Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E) ligger i Moskva.

338 [https://www.nilu.no/wp-content/uploads/2020/11/strategi-kort-NILU-2018\\_endelig\\_web.pdf](https://www.nilu.no/wp-content/uploads/2020/11/strategi-kort-NILU-2018_endelig_web.pdf)

339 Platt, S.M., Hov, Ø., Berg, T., Breivik, K., Eckhardt, S., Eleftheriadis, K., Evangelou, N., Fiebig, M., Fisher, R., Hansen, G., Hansson, H.-C., Heintzenberg, J., Hermansen, O., Heslin-Rees, D., Holmén, K., Hudson, S., Kallenborn, R., Krejci, R., Krognes, T., Larssen, S., Lowry, D., Lund Myhre, C., Lunder, C., Nisbet, E., Nizzetto, P. B., Park, K.-T., Pedersen, C.A., Aspö Pfaffhuber, K., Röckmann, T., Schmidbauer, N., Solberg, S., Stohl, A., Ström, J., Svendby, T., Tunved, P., Tørnkvist, K., van der Veen, C., Vratolis, S., Yoon, Y.J., Yttri, K.E., Zieger, P., Aas, W. & Tørseth, K. (2022). Atmospheric composition in the European Arctic and 30 years of the Zeppelin Observatory, Ny-Ålesund, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 3321–3369, <https://doi.org/10.5194/acp-22-3321-2022>



luft, senere Arbeidsgruppen for luft og klima (Anton Eliassen, Øystein Hov), Nordisk miljøforskningsprogram 1993–1997 (Øystein Hov, Frode Stordal), CLRTAP og EMEP (Anton Eliassen, Brynjulf Ottar, Harald Dovland, Kjetil Tørseth, Øystein Hov, Trond Iversen, Erik Berge, Leonor Tarrason, Hilde Fagerli, David Simpson mfl.), det europeiske EUREKA-samarbeidet «Transport and chemical transformation of pollutants in the troposphere (Eurotrac)» fra slutten av 1980-tallet og til tidlig 2000-tallet (Ivar S.A. Isaksen, Øystein Hov, Kjetil Tørseth, Anton Eliassen, Kari Kveseth),<sup>340</sup> Montreal-protokollen og WMO stratospheric ozone assessments (Ivar Isaksen, Frode Stordal, Geir Ole Braathen), Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP, arbeidsgruppe under Arctic Council (Inger Hanssen-Bauer, Eirik J. Førland, Rasmus Benestad, Michael Gauss mfl. med mange bidrag i Arctic assessments; Øystein Hov co-chair AMAP climate group), EU-kommisjonens Science advisory panel for atmospheric chemistry research 1992–2003 (Øystein Hov), EU-kommisjonens Task Force on stratospheric ozone 1988–2003 (Ivar Isaksen, Øystein Hov), IPCC (Ivar Isaksen, Jan Fuglestedt, Terje Berntsen, Trond Iversen, Øyvind Seland, Alf Kirkevåg, Michael Schulz, Bjørn Samset og andre fra UiO, CICERO og Meteorologisk institutt), WMO Global Atmosphere Watch GAW (Anton Eliassen på 1990-tallet, Øystein Hov leder 1998–2013), president for WMO Commission for Atmospheric Sciences (Anton Eliassen 1998–2005, Øystein Hov 2013–2020), European Academies Science Advisory Council (EASAC, Rasmus Benestad og Øystein Hov),<sup>341</sup> CORDEX under WCRP (Andreas Dobler, Rasmus Benestad, Oskar A. Landgren).

340 EUREKA var et felleseuropeisk forskningssamarbeid før EUs rammeprogrammer for forskning tok over som hovedarena for europeisk forskningssamarbeid tidlig på 1990-tallet, og hadde først og fremst et teknologisk sikte. Eurotrac-1 og -2 la grunnlaget for en rekke prosjekter med til dels stor klimarelevans i regi av EUs rammeprogrammer fra 1990 og utover og med norsk deltagelse først og fremst fra UiO og NILU, og etter hvert Meteorologisk institutt. Engelsk tittel: «EUREKA European Experiment on the Transport and Transformation of Environmentally Relevant Trace Constituents in the Troposphere over Europe». Eksempler på referanse: Borrell, P., Builtjes, P., Grennfelt, P. & Hov, Ø. (1997). *Photo-oxidants, acidification and tools: Policy applications of EUROTRAC results*. The report of the EUROTRAC Application project. Vol. 10 in Series: Transport and Chemical Transformation of Pollutants in the Troposphere, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg and New York, 216 pp.

341 Hov, Ø., U. Cubasch, M. Donat, E. Fischer, P. Höppe, T. Iversen, N.G. Kvamstø, Z.W. Kundzewicz, G.C. Leckebusch, D. Rezacova, D. Rios, F.D. Santos, B. Schädler, U. Ulbrich, O. Veisz, C. Zerefos, R. Benestad & J. Murlis (2013). *European Academies Science Advisory Committee – Report on Changes in Extreme Weather in Europe due to Climate Change*. EASAC policy report 22, November 2013, <http://www.easac.eu/home/reports-and-statements/detail-view/article/extreme-weat.html>



### 3.3.8 Norsk klimaservicesenter (KSS)

Inger Hanssen-Bauer

#### 3.3.8.1 Nasjonal forankring og etablering av KSS

Regjeringen satte ved kongelig resolusjon 5. desember 2008 ned et utvalg som skulle utrede samfunnets sårbarhet og behov for tilpasning til konsekvensene av klimaendringer. Klimatilpasningsutvalget (Flæte-utvalget) konstaterte fort at det var behov for et felles klimavitenskapelig grunnlag for å gjennomføre oppdraget, og bestilte en rapport som skulle oppsummere kunnskapsgrunnlaget om klimaendringer i Norge fram mot år 2100. Fristen var kort, og rapporten<sup>342</sup> baserte seg for det meste på en sammenstilling av eksisterende relevante forskningsresultater fra RegClim-prosjektet og oppfølgeren NorClim. Å samle resultater fra flere prosjekter ga et bedre grunnlag for å vurdere usikkerheter. I tillegg til Meteorologisk institutt bidro Bjerknessenteret, Havforskningsinstituttet, NERSC, NVE og UiB til rapporten, som omhandlet både atmosfære, hav, hydrologi, kryosfære og skred. Rapporten ble brukt som grunnlag for klimatilpasningsutvalgets videre arbeid, men den viste klart gapet mellom hva slags resultater klimamodeller gir og hva forskere på konsekvenser av klimaendringer og samfunnsplanleggere har behov for. Et sentralt råd i utvalgets sluttrapport,<sup>343</sup> «Tilpassing til eit klima i endring», var derfor å foreslå å opprette et norsk klimaservicesenter ledet av Meteorologisk institutt, og med NVE og Bjerknessenteret for klimaforskning som samarbeidspartnere. Klimaservicesenteret skulle ha ansvar for å gjøre forskningsresultater tilgjengelige og brukbare i samfunnsplanlegging og i forskning på effekter av klimaendringer.

I kjølvannet av NOU-en ble det startet virksomhet ved alle tre institusjoner med sikte på opprettelse av et slikt senter. Meteorologisk institutt og NVE besluttet å gå sammen om å opprette Norsk klimaservicesenter (KSS) 1. september 2011.<sup>344</sup> Styringsgruppen besto ved starten av seks medlemmer fra

342 Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog & B. Ådlandsvik (2009). *Klima i Norge 2100*. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo.

343 Tilpassing til eit klima i endring. Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane. NOU 2010:10.

344 Visjon, mandat, organisering og virkemidler, <https://klimaservicesenter.no/kss/om-oss/om-kss>

Meteorologisk institutt og to fra NVE med direktør Anton Eliassen som leder, og med Eirik J. Førland som senterets første leder. Høsten 2013 ble KSS utvidet med Uni Research (som senere ble en del av NORCE) som aktiv partner fra Bjerknessenteret, og senteret ble offisielt åpnet av miljøvernminister Bård Vegar Solhjell. Anton Eliassen fortsatte som styreleder og med to representanter fra Meteorologisk institutt, en hver fra NVE og Uni Research i tillegg til en fra Miljødirektoratet, Audun Rosland (1956–2019), som ledet direktoratets klimaavdeling. Fra 2016 ble i tillegg Bjerknessenteret representert ved direktør Tore Furevik, og fra 2014 fikk senteret bevilget midler (ca. tre årsverk per år) fra Miljødirektoratet. Partnerne har hele tiden dekket en betydelig del av arbeidet gjennom sine ordinære budsjetter. KSS er prosjektorganisert med prosjektleder fra Meteorologisk institutt. Inger Hanssen-Bauer ledet senteret fra 2013 til 2019. Da overtok Anita Verpe Dyrddal ledelsen.

### 3.3.8.2 Mandat og visjon

Hovedmålet for KSS var fra starten av å bidra til å fylle oppdraget som ble skissert i NOU-2010–10, nemlig å gi et felles nasjonalt beslutningsgrunnlag for tilpasning til et klima i endring. Meteorologisk institutt og NVE hadde allerede ansvar for å utarbeide og formidle dimensjonerende verdier for henholdsvis korttidsnedbør og flom, basert på historiske data. Men resultater fra klimamodeller må etterbehandles og tilrettelegges for å kunne brukes i praktisk klimatilpasning og i videre forskning på effekter på natur og samfunn av klimaendringer. De må dessuten formidles på en form som er tilpasset brukernes behov. Dette ble viktige oppgaver for KSS. Visjonen for KSS er nå formulert slik: «Kunnskap for et klimarobust samfunn. KSS skal gjennom formidling av kunnskap om fortidens og framtidens klima, gi et godt beslutningsgrunnlag for klimatilpasning.» Gjeldende mandat og strategi for Norsk klimaservicesenter ligger på KSSs nettsider.<sup>345</sup> «Norsk klimaservicesenter har i sitt mandat fått følgende oppgaver:

- 1) Kjenne brukerbehov hos statlig forvaltning, fylkeskommuner, kommuner og prioriterte sektorer.
- 2) Fremskaffe klima- og hydrologiske data til bruk som beslutningsgrunnlag for klimatilpasning.

---

345 <https://klimaservicesenter.no/kss/om-oss/om-kss>

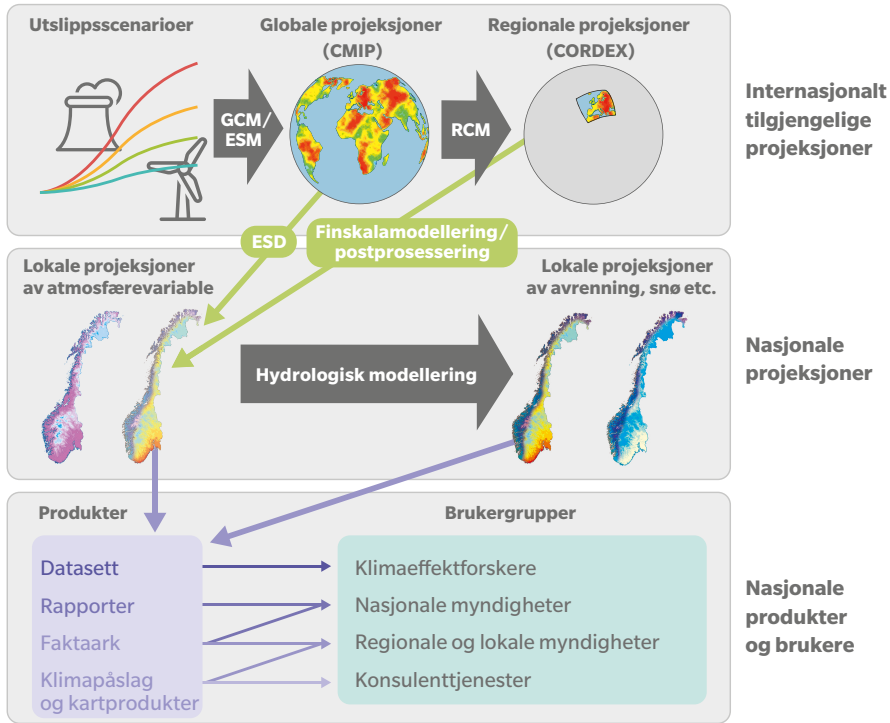
- 3) Gi enkel tilgang til norske klima- og hydrologiske observasjoner, framskrivninger og avledede produkter.
- 4) Omsette forskning til tjenester for klimatilpasning og initiere relevante eksternt finansierte FoU-prosjekter.
- 5) Delta i nasjonalt og internasjonalt samarbeid om klima og hydrologiske tjenester.»

### 3.3.8.3 *Klimaservicesenterets bidrag i produksjonskjeden*

Figur 22 viser skjematisk hvordan KSS plasserer seg i verdikjeden fra global klimamodellering til produkter som er anvendbare i praktisk lokal klimatilpasning og effektforskning. Den øverste linjen viser fremstilling av det internasjonale modellbaserte datagrunnlaget som KSS bygger videre på. Her bidrar Meteorologisk institutt uten at det er organisert som en del av KSS. GCM og ESM betegner globale klimamodeller og jordsystemmodeller, RCM regionale klimamodeller som nedskaleres til større detalj fra globale modellresultater ved dynamisk nedskalering. De globale klimaberegningene er en del av WCRP-prosjektet Climate Model Intercomparison Project CMIP, mens CORDEX er nedskaleringsprosjektet i WCRP.

Midterste linje i figuren viser bidraget fra KSS i fremstillingen av nasjonale klimaprojeksjoner. Produktene fra øverste linje må i de aller fleste tilfeller etterbehandles før de kan anvendes i praktisk klimatilpasning. KSS bruker empirisk-statistiske metoder til å nedskalere resultater direkte fra de globale modellene, mens resultatene fra de regionale modellene blir oftest bias-justert, og i noen tilfeller nedskalert videre med finskala klimamodeller, før de benyttes i NVEs hydrologiske modeller.

Nederste linje gir en skjematisk beskrivelse av produkttyper og brukere. Dette er fremhevet som en egen linje fordi KSS helt fra starten vektla nær kontakt med brukergruppene under utviklingen av de forskjellige produktene. Dette er i tråd med tradisjonen fra klimaavdelingens praksis, og er i tråd med «Science for service» som vurderes etter relevans, kvalitet og brukerbetydning. Det å vektlegge kontakten med brukergruppene uttrykker at «forskeren må finne brukeren der han er og begynne der». Dette er en grunnleggende erkjennelse i tjenesteorientert forskning som er etterspørselsstyrt, og er ikke en vanlig innstilling i academia der publisering i vitenskapelige tidsskrifter er det overordnede målet, og der kvalitet er det eneste kriterium, og som er tilbudsstyrt og ikke etterspørselsstyrt.



**Figur 3.22** Plasseringen av klimaservicesenteret i verdikjeden fra global klimamodellering til produkter som er anvendbare i praktisk lokal klimatilpasning og effektforskning

Den første store oppgaven for KSS var å inkludere resultater fra femte hovedrapport fra FN's klimapanel<sup>346</sup> i en oppdatering som kom i 2015 av den norske klimarapporten fra 2009 for det norske fastland.<sup>347</sup> Her ble atmosfæriske og hydrologiske framskrivninger samordnet. Ti regionale klimafamskrivninger (RCM-er) og to utslippsscenarioer (representative climate pathways RCP4.5 og RCP8.5) var tilgjengelige via den europeiske delen av CORDEX-prosjektet. Modellresultatene ble fordelt på et finere romlig grid og deretter bias-justert for å kunne brukes som input i hydrologiske

346 <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

347 [https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/rapporter-og-publikasjoner\\_2](https://klimaservicesenter.no/kss/rapporter/rapporter-og-publikasjoner_2)

modeller. En tilsvarende rapport for Svalbard ble utgitt i 2019 basert på Arctic-CORDEX, CORDEX-prosjektets arktiske del.<sup>348</sup> Den romlige oppløsningen i Arctic-CORDEX er grov, og de postprosesserte resultatene fra regional klimamodellering ble supplert med resultater fra en finskala klimamodell.<sup>349</sup> Både i arbeidet med datagrunnlaget for fastlands-Norge og Svalbard ble empirisk-statistisk nedskalering brukt for å fremskaffe statistikk som ikke så lett kan beregnes gjennom dynamisk nedskalering og for å sette de regionale klimaberegningene inn i et større perspektiv. En fordel med den statistiske metoden er at den inkluderer en evaluering av de globale klimamodellene som ikke dynamisk nedskalering omfatter. Havforskningsinstituttet, Statens kartverk, Nansensenteret, Polarinstituttet, universitetene i Bergen og Oslo og UNIS bidro i tillegg til KSS i arbeidet med rapportene. Det at de viktigste nasjonale faginstitusjonene står bak rapportene, gir dem høy troverdighet.

#### 3.3.8.4 *Forskningsprosjekter*

KSS leverer forskningsbaserte tjenester. Det kan være stor avstand mellom tilgjengelig klimainformasjon i form av resultater fra globale og regionale klimamodellberegninger og behovet for relevant informasjon hos sentrale brukere, som kommunesektoren og jordbrukssektoren. KSS har initiert og deltatt i en rekke forskningsprosjekter med brukerinvolvering for å redusere denne avstanden.

Noen eksempler:

- Før KSS var i funksjon deltok Meteorologisk institutt og NVE i «Klimaprojekt Troms» ledet av fylkesmannen i Troms, der formålet var å integrere klimatilpasning i regional og lokal planlegging etter plan- og bygningsloven.<sup>350</sup> Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) deltok i prosjektet, i tillegg til representanter fra regionalt og lokalt forvaltningsnivå. Hovedresultatet fra prosjektet var konseptet «regional klimaprofil» og utarbeidelsesprosessen, der den regionale forvaltningen deltar aktivt sammen med NVE og Meteorologisk institutt. Klimaprofilene peker

---

348 Ibid.

349 Dobler A. (2019). Convection permitting simulations for Svalbard. NCCS report 2/2019.

350 <https://dibk.no/regelverk/Building-Regulations-in-English/>

på de viktigste regionale klimautfordringene, og gir råd om såkalte «klimapåslag» for korttidsnedbør, flom og havnivåøkning. Innholdet i profilene varierer noe fra region til region i tråd med brukerønsker, og de blir stadig videreutviklet i takt med nye forskningsresultater. I 2018 fastsatte regjeringen nye statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging, der for første gang klimatilpasning er inkludert.<sup>351</sup> Klimaprofilene utgjør hovedreferansen i retningslinjene for klimatilpasning.

- EU-prosjektet CLIPC var en forløper for Copernicus Climate Change Service C3S,<sup>352</sup> som i stor grad bestod i å bygge opp nettbaserte klimatjenester. Meteorologisk institutt var involvert, blant annet når det gjaldt å beskrive brukerbehov. Disse erfaringene har vært nyttige i forbindelse med oppbyggingen av KSS.
- Korttidsnedbør som fører til overvann og flom i mindre vassdrag, er en av de største klimautfordringene for norske kommuner, og alle KSS-partnerne deltok i forskningsprosjektet ExPrecFlood som ble ledet av Bjerknæssenteret for å bestemme anbefalinger om klimapåslag for korttidsnedbør i nåværende klimaprofiler, og sørge for at det er samsvar mellom klimapåslagene for korttidsnedbør og flomvurderingene i små nedbørfelt.<sup>353</sup>
- For jordbrukssektoren er jordfuktighet viktig, og det er da viktig at ikke bare hver enkelt klimavariabel er realistisk modellert, men også at samvariasjonen mellom temperatur og nedbør er riktig, slik at fordeling mellom regn og snø, samt fordampning blir realistisk. KSS tok ledelsen i to prosjekter finansiert av Forskningsrådet der det ble utviklet og forbedret metoder for å gjøre modelldata mer anvendbare for sentrale brukergrupper.<sup>354</sup>

351 <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/statlige-planretningslinjer-for-klima--og-energi-planlegging-og-klimatilpasning/id2612821>

352 <https://climate.copernicus.eu/>

353 Sorteberg, A.D. Lawrence, A.V. Dyrddal, S. Mayer, K. Engeland (red.) med bidrag fra A.V. Dyrddal, K. Engeland, E. Førland, S. Johansen (UiB), A.D. Lawrence, S. Mayer, N.K. Orthe, M.I. Sandvik, L. Schlichting, R.G. Skaland, T. Skaugen, A. Sorteberg (UiB), A. Voksø, K. Vormoor & T. Væringstad (2018). *Climatic changes in short duration extreme precipitation and rapid onset flooding – implications for design values*, KSS report 1/2018.

354 Mayer, S., R. Benestad, A. Dobler, I. Hanssen-Bauer, S. Huang, D. Lawrence, A. Mezghani, I. Brox Nilsen, M. Pontoppidan, W.K. Wong (2021). *A short technical summary of the RCN-financed research projects Postclim and R3*. NCCS report 1/2021.

For eksempel er det utviklet metoder for å beholde konsistens mellom forskjellige variabler (som temperatur og nedbør) når modelldata etterbehandles. Dette har betydning bl.a. for vurdering av tørke i landbruket.

- Internasjonalt har KSS deltatt i EU-initiativet ERA<sup>355</sup> for Climate Services (ERA4CS), og derved blant annet støttet prosjektet WINDSURFER, som har utviklet relevante datasett, særlig for vind og bølger.
- Meteorologisk institutt deltok i prosjektet Data Evaluation for Climate Models,<sup>356</sup> som er en del av EU-kommisjonens klimatenester C3S, blant annet med en app der resultatene fra ulike modelleksperimenter kan sammenlignes (CMIP5 og CMIP6).

### 3.3.8.5 Kobling til internasjonal utvikling

Norge er ikke alene om et økende behov for klimatenester. Ved World Climate Conference-3 i regi av WMO i 2009 ble det etterlyst et globalt rammeverk for klimatenester<sup>357</sup> og forslaget om Global Framework for Climate Services (GFCS) ble bifalt av WMO-kongressen i 2012. Norge fikk en sentral rolle med Anton Eliassen som første leder. Norge hadde på forhånd gitt et vesentlig bidrag til et klimatilpasningsfond i WMO/FN-regi via Utenriksdepartementet og bistandsbudsjettet. GFCS måtte fokusere på grunnleggende klimatenester som i stor grad var etablert i Norge og i mange andre land. Sesongvarsling og «early warning systems» ble sentrale tema i GFCS. Meteorologisk institutt har senere deltatt i flere bistandsprosjekter der målsettingen er å bygge opp klimatenester i bistandsland.

Utviklingen av europeiske klimatenester gjennom Copernicus Climate Change Service (C3S) har vært relevant for KSS. Innenfor C3S har det blitt utviklet produkter myntet på sektorer som for eksempel jordbruk.<sup>358</sup> Flere av KSS-partnerne har deltatt i C3S-prosjekter, og slikt prosjektsamarbeid har

355 European Research Area (ERA).

356 <https://climate.copernicus.eu/data-evaluation-climate-models>

357 Hewitt, C., Mason, S. & Walland, D. (2012). The Global Framework for Climate Services. *Nature Clim Change*, 2, 831–832. <https://doi.org/10.1038/nclimate1745>

358 Buontempo C., Hutjes, R., Beavis, P., Berckmans, J., Cagnazzo, C., Vamborg, F., Thepaut, J.-N., Bergeron, C., Almond, S., Amici, A., Ramasamy, S. & Dee, D. (2020). Fostering the development of climate services through Copernicus Climate Change Service (C3S) for agriculture applications. *Weather and Climate Extremes*, 27, 100226. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094719300994>

vært viktig for KSS, både for å øke forståelsen av forskjellige brukergruppers behov og for å vurdere hvordan nasjonale klimaservicesentra best kan bruke sine mer begrensede ressurser til å fylle de behovene som vanskelig kan dekkes av en felles europeisk tjeneste.

Nordic Framework for Climate Services ble startet som en del av det etablerte nordiske klimaforskningssamarbeidet fra 2011. Organiseringen og oppbygningen av klimatjenestene er nokså forskjellig i de nordiske landene. SMHI i Sverige baserer sine klimaframskrivninger på nedskaleringer med egen regional klimamodell av resultatene fra et knippe globale klimamodeller. FMI i Finland har i større grad benyttet statistisk nedskalering fra globale modeller. Meteorologisk institutt og KSS har benyttet både tilgjengelige regionale klimamodellresultater fra Euro-Cordex<sup>359</sup> og Arctic-Cordex<sup>360</sup> og statistisk nedskalerte projeksjoner fra alle tilgjengelige globale modeller.

### 3.3.8.6 Nasjonale versus internasjonale klimatjenester

Det har skjedd en betydelig utvikling innen internasjonale klimatjenester siden KSS ble startet i 2011, og et legitimt spørsmål er om KSS yter tjenester som ikke dekkes vel så godt for eksempel gjennom C3S. Internasjonalt klimasamarbeid har vært en viktig forutsetning for KSS' virksomhet. Våre erfaringer tilsier likevel at nasjonale tjenester har en lokalkunnskap, både klimafaglig og i forhold til myndigheter og brukergrupper, som gjør at vi kan tilpasse produkter og tjenester ut over det som kommer fra en internasjonal instans.

Klimafaglig: Det har vist seg at lokal klimakunnskap er viktig for å vurdere realismen i modellresultater. Et eksempel er beregnet endring i flomfare i det C3S-relaterte pilotprosjektet EDgE.<sup>361</sup> Snømengden som modellene beregner for dagens klima i mange nedbørfelt i Norge, er for stor, og det fører til at simulerte flomstørrelser beregnes å avta i fremtiden, ettersom snømengdene avtar.<sup>362</sup> Dette skyldes antagelig en «kald bias» i modellensemblet.

359 <https://www.euro-cordex.net/>

360 <https://cordex.org/domains/region-11-arctic/>

361 <https://climate.copernicus.eu/decision-making-water-sector-europe>

362 Samaniego, L., Thober, S., Wanders, N., Pan, M., Rakovec, O., Sheffield, J., Wood, E.F., Prudhomme, C., Rees, G., Houghton-Carr, H., Fry, M., Smith, K., Watts, G., Hisdal, H., Estrela, T., Buontempo, C., Marx, A. & Kumar, R. (2019). Hydrological Forecasts and Projections for Improved Decision-Making in the Water Sector in Europe, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(12), 2451–2472. Retrieved Apr 13, 2022, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/100/12/bams-d-17-0274.1.xml>



I virkeligheten er mange av disse nedbørfeltene dominert av regnflommer, som ifølge KSS' beregninger vil øke ettersom nedbøren øker. Også analyser av endringer i antall dager i året der temperaturen passerer null er svært sensitive for systematiske feil og romlig oppløsning i modellene. Nasjonale tjenester har tilgang både til lokal kunnskap og gode datasett som gjennom ytterligere nedskalering kan være til stor nytte i anvendelser.

Samordning: KSS samordner råd og forholdsregler ved flere typer naturfarer, som kraftig nedbør, flom, skred og havnivåøkninger. Tiltakene må stå i forhold til hverandre, slik at ressursbruken til klimatilpasning kan optimaliseres. Slik rådgivning krever kunnskap om lokale forhold.

Hensynet til nasjonalt lovverk: Nær kontakt med nasjonale myndigheter har vært viktig for å tilpasse rådgivningen til gjeldende lovverk, og for å gi råd til lovgivende myndigheter om hvordan klimatilpasning kan tas inn i lovverket.

Språk: Alle brukerundersøkelser vi har sett – både nasjonalt og internasjonalt – viser at KSS' prioriterte brukergrupper ønsker informasjon og brukerveiledning på sitt eget språk.

### 3.3.9 Formidling og konfrontasjoner i klimaforskningen i internettalderen

Rasmus Benestad og Øystein Hov

Meteorologisk institutts formidling av klimakunnskap har i praksis hatt som hovedoverskrift «forskning til samfunnsnytte», som er overskriften til den første artikkelen i denne boken og er nærmere drøftet og karakterisert der.

Tradisjonelt har Meteorologisk institutt formidlet ut fra en posisjon som ekspertinstitusjon som hadde oversikten over saksfeltet og dermed også over hva som er de faktiske forhold og hva folk bør vite og mene om vær og klima. Klimaspørsmålet har i løpet av IPCC-generasjonen blitt et strids-spørsmål og et konfrontasjonstema og er dermed blitt mer personfiksert. Klimaspørsmålet er også til dels blitt en stråmann for dyptgående samfunnsendringer og konflikter som er en konsekvens av at naturen er blitt underkastet menneskeheten i dominerende grad. Klimautviklingen og klimaforskningen har også ført til at gapet er redusert mellom den tradisjonelle klimatologiske kunnskapsfrembringelsen ved Meteorologisk institutt

og formidlingen av klimaforskningsresultater. Det er blitt naturlig og nødvendig å knytte nasjonal klimatologiinformasjon til de globale klimaendringene siden de har ganske stor påvirkning på klimaet også her i Norge.

Meteorologisk institutt har og har hatt et godt omdømme i befolkningen, og har en lang tradisjon i formidling av informasjon til befolkningen og med spesialisert klimakunnskap i samfunnssektorer der den kan ha stor betydning både for risikobildet og for langsiktige investeringer. Dette gjelder for energibransjen, transport til vanns, på land og i lufta, landbruket, fiskerier og annen næring til havs, turisme, miljøproblematikk, arealdisponering og byutvikling, helse, forsvaret, utformingen av internasjonal politikk. Nøkkelbegreper er f.eks. returperioder, normaler og ikke-stasjonære sannsynlighetsfordelinger av værhendelser. Formidling av slik informasjon med utgangspunkt i nasjonale behov har vært Meteorologisk institutts spesialitet i mye over 100 år. Formidlingen fra Meteorologisk institutt har stått i en særstilling fordi den har vært basert på data og informasjon som instituttet selv har samlet inn og vurdert. Formidlingen har tatt utgangspunkt i materiale som instituttet har hatt kontroll på og med innsikt i alle deler av prosessen fra «råmateriale» fram til informasjon og kunnskap. Formidlingen har hatt et nasjonalt perspektiv, informert av nyttehensyn, og basert på metodikk som ikke minst er utviklet gjennom WMO-samarbeidet (Commission of Climatology) og i nordisk meteorologisk samarbeid. Formidlingen har i liten grad vært preget av en helhetsoppfatning av klimautviklingen. Det forandret seg i noen grad med RegClim og senere forskning. Klimarapportene opp gjennom årene har vært saksorienterte, hensikten har vært å bidra til risikoreduksjon for spesifikke samfunnsanvendelser inkl. investeringer og tiltak.

Formidlingen av kunnskapen om klimaendringene har også motivert forskning på spørsmål som er blitt trukket frem i klimadebatten og om grunnleggende forhold forbundet med klimavariasjoner og drivhuseffekten. En del av vitenskapsformidlingen som forskere på Meteorologisk institutt har engasjert seg i, startet på hjemmebane, men er blitt internasjonal gjennom kontakt og samarbeid med kolleger over landegrensene. En diskusjon som fikk medieoppmerksomhet på begynnelsen av 2000-tallet, gjaldt påstanden om at global oppvarming skyldtes solen og ikke økningen i drivhuseffekten. Enkelte journalister rapporterte på grunnlag av dette at klimakunnskapen hviler på et tynnere grunnlag og er mer usikker enn f.eks. formidlet gjennom IPCC. Kanskje klimaet er styrt av kosmisk stråling?

Et dokumentarprogram vist på NRK satte dette på spissen. Hvordan skal klimaforskere forholde seg når formidling blir oppmuntret, mens debattklimaet er forvirrende? Det oppstår en forventning til at Meteorologisk institutt som en forskningsbasert institusjon med et godt omdømme burde bidra i diskusjonen.

I 2007 hadde regjeringen en satsing som ble kalt «Klimaløftet». Siri Kalvig ved Storm Weather Centre var som en dyktig og engasjert fagperson og formidler, frontfigur i formidlingsprosjektet «Himmel og hav». Hun inviterte Inger Hanssen-Bauer og Cecilie Mauritzen, forskere ved Meteorologisk institutt, til å bidra i prosjektets utforming og til at informasjonen fra prosjektet stod på solide føtter. Prosjektets mål var populærvitenskapelig formidling av kunnskap om menneskeskapte klimaendringer globalt og særlig i Norge, og hvordan utslipp av drivhusgasser kan begrenses. Meteorologisk institutt ble deltaker i prosjektet, og i løpet av det første året ble det holdt mer enn 60 foredrag for allmennheten, blant annet ved mange skoler.

Meteorologisk institutt har ikke hatt som institusjonell formidlingspolitikk å engasjere seg i den mer konfronterende, individorienterte diskusjonen om klimaendringene. Enkeltpersoner ved instituttet har imidlertid spilt en viktig rolle, i første rekke Rasmus Benestad som i lange perioder har gitt kunnskapsbaserte bidrag og som heller ikke har veket unna for konfrontasjoner, og med en grunnholdning om at misforståelser kan ryddes av veien. Andre kan mene at det ikke nytter å slukke et «bål av klimaskepsis» med vitenskapelige publikasjoner.

Rasmus Benestad har publisert en lang rekke artikler der «klimaskeptiker»-innvendinger mot gjeldende klimaforskningsresultater behandles vitenskapelig<sup>363</sup> samtidig som han har engasjert seg i internettbasert for-

---

363 Benestad, R.E. (2004). Are Temperature Trends Affected by Economic Activity? Comment on McKittrick & Michaels. *Climate Research*, 27, 171–173.

Benestad, R.E., Hygen, H.O., van Dorland, R., Cook, J. & Nuccitelli, D. (2013). Agnotology: Learning from Mistakes. *Earth System Dynamics Discussions*, 4(1), 451–505. <https://doi.org/10.5194/esdd-4-451-2013>

Benestad, R.E. & Schmidt, G.A. (2009). Solar Trends and Global Warming. *JGR*, 114, <https://doi.org/10.1029/2008JD011639> (D14101)

Benestad, R.E. (2018). Implications of a Decrease in the Precipitation Area for the Past and the Future *Environmental Research Letters*, 13(4), 044022, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab375>

Benestad, R.E. (2015). 1.6 The Debate about Solar Activity and Climate Change. In *Earth's Climate Response to a Changing Sun*, edited by Jean Liliensten, Thierry Dudock de Wit, and Katja Matthes. EDP Sciences, <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-1733-7.c106>

midling og diskusjon. Han ble bl.a. invitert til å være med og starte bloggen RealClimate.org i 2004 sammen med internasjonalt kjente klimaforskere som Michael Mann, Gavin Schmidt og Stefan Rahmsdorf. RealClimate.org har gjort en stor innsats i formidling av klimaforskningsresultater. En gjenganger i listen over innvendinger mot gjeldende klimaendringsforståelse har vært hvilken rolle solaktiviteten har for klimaendringene. Dette spørsmålet fikk økt oppmerksomhet etter at danske solforskere publiserte en analyse i *Science* som ga inntrykk av en nær sammenheng.<sup>364</sup> Dette avstedkom et langt engasjement fra Rasmus Benestad, Jón Egill Kristjánsson og andre i klimaforskningsmiljøet i Oslo og Tromsø. En gjennomgang av statistikken og dataene viste manglende trend i solaktiviteten.<sup>365</sup> Dette resultatet var viktig også for premissene som lå til grunn for nedskaleringen av globale klimamodeller. Senere publiserte Rasmus Benestad en lærebok om solaktivitet og klima.<sup>366</sup> Det ble etablert et europeisk Concerted Action (COST) fagnettverk om sammenhengen mellom solaktiviteten og jordens klima 2011–2015.<sup>367</sup> Et av bidragene til dette fagsamarbeidet var en fagartikkel om kosmisk stråling og klima<sup>368</sup> som også fikk et oppslag i *The Guardian*<sup>369</sup> 12. november 2013. Gjennom RealClimate.org ble det skrevet en oppsummerende artikkel med tittelen «Learning From Mistakes in Climate Research»<sup>370</sup> som ble angrepet av IPCCs motstandere. Dette arbeidet ble omtalt i *Scientific American*<sup>371</sup> 1. desember 2015 og ga stoff for NRKs Folkeopplysningen Klimakrisa i 2018.<sup>372</sup> Det internasjonale formidlingsamarbeidet mellom klimaforskere er nå samlet i ClimateFeedback.org som overtok etter RealClimate.org.

364 Friis-Christensen, E. & Lassen, K. (1991). Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate. *Science*, 254, 698–700.

365 Benestad, R.E. (2005). A Review of the Solar Cycle Length Estimates. *Geophys. Res. Lett.* 32.

366 Benestad, R.E. (2006). *Solar Activity and Earth's Climate*. Chichester, U.K.: Springer/Praxis.

367 'The debate about solar activity and climate change' in Jean Lilensten, Thierry Dudok de Wit, Katja Matthes (2015) 'Earth's climate response to a changing Sun', *EDP Science*, <https://doi.org/10.1051/978-2-7598-1733-7>.

368 Benestad, R.E. (2013). Are There Persistent Physical Atmospheric Responses to Galactic Cosmic Rays? *Environmental Research Letters*, 8(3), 035049, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035049>

369 <https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2013/nov/12/global-warming-humans-not-cosmic-rays>

370 Benestad, R.E., Nuccitelli, D., Lewandowsky, S., Hayhoe, K., Hygen, H.O., van Dorland, R. & Cook, J. (2015). Learning from Mistakes in Climate Research. *Theoretical and Applied Climatology*, August, <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1597-5>

371 <https://www.scientificamerican.com/article/why-climate-skeptics-are-wrong/>

372 <https://tv.nrk.no/serie/folkeopplysningen/2018/KMTE50002518>

Beregningene av globale middeltemperaturer har vært utsatt for kritikk og står høyt på listen hos «klimaskeptikere». Forskere ved Meteorologisk institutt publiserte en artikkel i 2019 om hvordan termometerens utbredelse påvirker beregning av jordens globale middeltemperatur.<sup>373</sup> Denne artikkelen ble nevnt i *New Scientist* 5. juli 2019.<sup>374</sup>

### 3.4 Klimaforskningens videre rolle for Meteorologisk institutts kartlegging og formidling av Norges klimatologi

Øystein Hov og Anton Eliassen

Fram til på 1960-tallet var det ingen med tittel forsker på Meteorologisk institutt, men instituttets arbeid bygget på naturvitenskapelig kunnskap og metode. Observasjonene var prosedyrebaserte og etterprøvbare, rutinene for behandling og presentasjon av dataene var fundert i naturvitenskapelig praksis, personalet var valgt ut for å få dette til, og det var åpen publisering i årbøker, rapporter og annet. Ingen dikterte hva instituttet skulle mene eller hvilke konklusjoner som skulle trekkes på basis av observasjonene som ble gjort.

I instituttets klimatologiarbeid var det kontakt med myndighetene i mange værutsatte sektorer, som for eksempel land- og skogbruk, forvaltning og kontroll av vannressursene i elver og breer i energiproduksjonen, energikravene i bygninger, utbygging av vei, bane, skips- og luftfart, forsvaret og i samfunnssikkerhet ved uvær, tørke eller flom. Samfunnsbehovene var forholdsvis godt kjent ved instituttet, og rutinene var tilpasset dette. Instituttets arbeid var ikke preget av eller rettet inn mot å nå teoretisk funderte nyvinninger. Men arbeidet var preget av solid håndverk som i mange tilfeller ville vært publiserbart om publiseringspraksis den gangen hadde vært den som gjelder i dag.

373 Benestad, R.E., Erlandsen, H.B., Mezghani, A. & Parding, K.M. (2019). Geographical Distribution of Thermometers Gives the Appearance of Lower Historical Global Warming. *Geophysical Research Letters*, July. <https://doi.org/10.1029/2019GL083474>

374 <https://www.newscientist.com/article/2208726-climate-mistake-reveals-earth-warmed-more-than-we-thought-last-century/>

Instituttets overordnede samfunnsoppdrag har vært samlende og motiverende i utviklingen og anvendelsen av metodikk og arbeidsformer, og med værutsatte samfunnssektors behov for øye. Instituttet er ikke en del av akademisk sektor, der kulturen er annerledes og legger vekt på individuell forskemeritering og valg av tematikk. For Meteorologisk institutt er det viktig at forsknings- og utviklingsarbeidet før eller siden bidrar til å nå instituttets hovedmålsetting. I værvarslingen og klimatologiundersøkelsene var statsmeteorologene ganske enerådende fram til rundt 1970 som ledere av en løpende virksomhet med innsamling og sammenstilling av observasjoner, analyse av vær og klimatologi på basis av datamaterialet og styrt av formålet, og formidling av resultater og konklusjoner enten som et værvarsel formidlet via aviser, radio eller fjernsyn, eller som en skriftlig rapport ofte beregnet for en spesifikk samfunnssektor eller oppdragsgiver.

Klimaendringene gjør seg mer og mer gjeldende og er på ingen måte under kontroll. En praktisk konsekvens av dette er at værvarselet har økende betydning fordi været vi erfarer, ikke bare hører til «det vante», og det krever større årvåkenhet av oss. Det er et voksende behov for tiltak for å tilpasse alle deler av samfunnet til et vær og havnivå som rommer høyrisikosituasjoner som tidligere var ukjente eller som hadde en gjentakelsestid som var lengre eller mye lengre enn samfunnsinvesteringenes levetid, og som det dermed ikke var så viktig å bry seg om. Tradisjonelt har instituttets formidling av klimatologisk informasjon basert seg på verdikjeder som instituttet selv hadde kontroll over, enten innomhus eller gjennom samarbeid med meteorologiske institutter i Norden og ellers i Europa, eller i regi av WMO. Dette endrer seg ved at klimaendringene virker inn på alle samfunnsområder, og relevant informasjonstilfang og -behov dekker alle jordsystemets deler, inkl. vann, hav, terrestriske systemer, arealbruk og miljø. Dette stiller andre krav til samvirke på tvers av disipliner, organisasjoner og samfunnsområder.

Tilgangen på energi vil måtte flyttes fra å høste energiresurser under jorden til å høste dem på jordoverflaten i form av vind-, sol- og vannkraft, som vil gjøre energiforsyningen svært væravhengig. Dette flytter behovet for meteorologisk varslingskompetanse inn i kjernen av sikkerheten for tilgang på fornybar energi, for de neste timene og framover til tidshorizonten for investeringer i fornybar energiproduksjon. Dette legger et stort ansvar på meteorologisk forskning og tjenesteutvikling framover.

Men også indirekte vil væravhengigheten øke gjennom konsekvensene for arealdisponering og for biologisk mangfold når energiresursene må høstes på jordoverflaten. Konsekvensene av klimaendringene fører til store endringer i «naturlige» karbonflukser mellom terrestriske økosystemer og atmosfæren, og mellom havoverflaten og atmosfæren, ikke minst på våre breddegrader i barskogbeltet og i permafrostbeltet på høyere breddegrader. Dette er prosesser som har nær tilknytning til utvekslingen av latent og følbart varme og bevegelsesmengde mellom jordoverflaten og atmosfæren, prosesser av stor betydning for værvarsling og klimaprognoiser. Forståelsen av utviklingen av klimaendringene er nært tilknyttet ikke bare til endringene i antropogene CO<sub>2</sub>-utslipp fra brenning av karbonholdig materiale, men også til utviklingen i det «naturlige» karbonkretsløpet som var i tilnærmet balanse i århundrene før den industrielle tidsalder begynte, og som nå gjennomgår store endringer som en følge av effektene av klimaendringene. Disse endringene må overvåkes og forstås fordi de har konsekvenser for videre klimaendringer og tiltaksbyrden som må iverksettes.

En felleseuropeisk innsats på dette området skjer (2022) i regi av det EU-finansierte programmet Copernicus Carbon Dioxide Monitoring mission med satellittbasert instrumentering av en av Copernicus Sentinel Expansion missions der hensikten er å gjøre direkte målinger av CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til menneskelig aktivitet.<sup>375</sup>

Samfunnsbehovet for relevante tjenester og for ekspertbasert rådgivning vil øke kraftig, og dekke et bredt temafelt – meteorologi og oseanografi, klima, arealdisponering, biogeokjemiske kretsløp knyttet til terrestriske og marine økosystemer og ferskvannsressurser. Sektorinteresser må knyttes sammen. Seamless Earth System Forecasting and Projections er en særlig viktig utviklingsretning, i første omgang med særlig vekt på regionalt hydrologisk kretsløp, kryosfæren og biogeokjemiske kretsløp, og etter hvert hav. Interoperable observasjoner i et balansert observasjonsprogram for jordsystemet må utvikles på tvers av institusjoner og landegrensler. En særlig stor utfordring er å redusere gapet mellom tiltak som er teknologisk og økonomisk innen rekkevidde, og tiltak som er gjennomførbare sosialt og politisk. Utviklingen i den norske vindkraft på land-politikken er et relevant eksem-

---

375 [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2021/02/CO2M](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/02/CO2M)

pel der motstand lokalt og fra miljøverninteressene har bidratt til utsettelse eller skrinlegging av mange utbyggingsprosjekter. Samfunnsrisiko og de faglige utfordringene knyttet til vær og klima er svært brede og omfattende, det samme gjelder tjenestebehovet nasjonalt, regionalt og globalt.

Det er behov for å revurdere bruken av 30-årsnormaler som en «stabil» referanse for værrets variasjon over kortere tidsperioder. Nyten av 30-årsnormaler er størst når sannsynlighetsfordelingen av værhendelser er tilnærmet uavhengig av tiden (stasjonær). Denne forutsetningen og utsagnet «mot normalt» er ikke lenger gyldig.

Forskingsamfunnet må være villig til å la de viktigste utfordringene ha stor innflytelse på forskningens tematikk, arbeidsformer og organisering. Jordsystemorienteringen i forskningsinfrastrukturen må utvikles nasjonalt og internasjonalt, samtidig som den må sammenfalle med den operasjonelle infrastrukturen som kreves for vær- og koblede jordsystemprognoser. Dette kaller på reduserte institusjonsbarrierer og verdikjedeorganisering, og på forskningsinfrastruktur som i størst mulig grad er nært knyttet til operasjonell infrastruktur, slik som observasjoner, dataflyt og modeller ved Meteorologisk institutt, og med utvikling av datatolkning knyttet til begreper som «stordata» og «kunstig intelligens». En forutsetning her er at den operasjonelle infrastrukturen stilles til rådighet for forskning og utvikling også utenfor instituttet. Av naturlige årsaker var dette vanskelig tidligere, men det er mye å hente på at akademisk sektor i forskning og undervisning nærmer seg f.eks. Meteorologisk institutts infrastruktur. Dette kan støte mot individuelle preferanser i akademisk sektor, og møte praktiske vansker og holdninger ved Meteorologisk institutt i tilrettelegging, men i det lange løp og i det store bildet, når institusjoner i academia kobler seg nokså tett på infrastrukturen f.eks. ved Meteorologisk institutt, så vil det skje en kvalitetsheving over tid, og kandidater fra academia vil i løpet av sin utdanning bli fortrolige med hva som er muligheter og utfordringer i anvendt sektor, noe som er til gjensidig fordel både for kandidatene, for utdanningsinstitusjonene og for sektoren mange av dem vil finne ansettelse i.